



WP1-L1.8
Elaborarea Proiectului Conceptual pentru
instalația ELF
Pachet de Lucru: WP1
Activitatea: A1.2-2

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

Termen: 30.06.2020

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

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

CUPRINS

Rezumat	5
1. Introducere	6
2. Scop si obiective	9
3. Necesitatea si oportunitatea realizării investiției	10
4. Zona activa ALFRED si fenomenologia investigata	11
5. Rezultate așteptate	24
6. Performante tehnice	26
7. Proiectul conceptual al instalatiei ELF	28
7.1 Activități experimentale preconizate	28
7.2 Descrierea generală a structurii instalatiei experimentale ELF	29
7.3 Sistemul primar al instalatiei experimentale ELF.....	31
7.3.1 Aspecte operationale ale circuitului primar ELF	38
7.4 Evaluari termohidraulice pentru circuitul primar al instalatiei ELF	43
7.4.1 Simulatorul zonei active	43
7.4.2 Generatorii de abur	46
7.4.3 Sistemul de evacuare a caldurii reziduale, DHR	51
7.5 Sistemul intermediar si sistemul secundar	53
7.6 Rezistenta hidraulica a principalelor componente	60
7.6.1 Circulatia naturala	60
7.6.2 Circulatia fortata	62
7.6.3 Simulatorul de zona activa.....	62
7.6.4 Generatorul de abur cu tuburi baioneta (SGBT partea primara).....	63
7.6.5 Temperatura maxima la nivel de teaca	63
7.6.6 Evaluarea caderii de presiune	64
7.7 Sistemul de control chimic in ELF	65
7.7.1 Senzori de oxigen pentru mediul de plumb lichid	66
7.7.2 Pornirea si controlul pre-oxigen.....	67
7.7.3 Controlul chimic in vasul principal.....	69
7.8 Sistemul de control si achizitie date.....	71
7.8.1 Descrierea functionarii DACS	74
7.8.2 Infrastructura hard a DACS	75
7.8.3 Descrierea software DACS	77
7.9 Sistemul de alimentare cu electricitate	81
7.9.1 Arhitectura globala a partii electrice a instalatiei ELF	82
7.9.2 Descrierea generala a sistemului electric al cladirii.....	84
7.9.3 Descrierea sistemului de alimentare al instalatiei ELF	89
7.9.4 Dulapul simulatorului zonei active	93
7.9.5 Dulapul de sarcina.....	95
7.9.6 Dulapul de semnale	99

8. Cerinte constructive pentru cladire	101
9. Instalare si testare.....	105
10. Regimuri accidentale	106
11. Elemente de cost	107
11.1 ELF	107
9. Recomandări	110
10. Concluzii	112
11. Referinte.....	114
Glosar	115

Rezumat

Prezentul raport prezinta proiectul conceptual al instalației ELF rezultat din activitatea de proiectare conceptuala. Aceasta este o instalație tip piscina, cu plumb pur, operata in regim de circulație naturala sau forțată si este destinata testelor pentru funcționarea componentelor, echipamentelor si sistemelor aferente reactorului de demonstrație ALFRED, precum si a măsurării caracteristicilor de fiabilitate. Instalația ELF simulează prin încălzitoare electrice funcționarea reactorului ALFRED. Instalația va servi la testarea componentelor și a întregului ansamblu în regim de funcționare pe termen lung (regim de anduranță). Proiectul conceptual va constitui baza tehnică pentru realizarea, în cadrul proiectului de fata, a studiului de fezabilitate. Acesta face obiectul unui raport separat.

Raportul este structurat in descrierea completa a instalației, prezentarea caracteristicilor constructive, prezentarea elementelor de cost, a utilităților necesare, consumurilor estimate si soluțiilor pentru asigurarea utilităților, definirea regimurilor de funcționare operaționala, estimarea regimurilor accidentale, elemente privind punerea în funcțiune și testabilitatea, estimarea domeniului de experimente, precum si a cerințelor pentru construcția care va adăposti instalația.

1. Introducere

Proiectarea conceptuală este prima etapă a procesului de proiectare a unui produs. Scopul acesteia este să ofere o descriere a produsului, folosind un set de idei și concepte integrate despre ceea ce ar trebui să facă produsul, cum să se comporte și cum să arate într-un mod care să fie cât mai eficient utilizabil.

În mod uzual, în această etapă proiectarea vizează ansamblul interacțiunilor, funcționalităților componentelor, utilizarea integrată a produsului, identificarea regimurilor de funcționare, înțelegerea sustenabilității în contextul social, tehnic și cultural existent.

Proiectarea detaliată, denumită generic „Proiect tehnic și detalii de execuție”, este faza în care designul este rafinat și sunt create planurile, specificațiile și estimări cât mai exacte din punct de vedere tehnic și economic. Proiectarea detaliată poate include elemente rezultate din modele 2D și 3D, estimări ale creșterii costurilor, planuri de achiziții etc. În această fază, în majoritatea cazurilor, este identificat costul complet al proiectului.

Atât designul conceptual, cât și designul detaliat joacă un rol important în procesul de dezvoltare a produsului. Este posibil, în multe din situațiile din practica curentă, ca un proiect să rămână în stadiul de proiect conceptual și să nu se maturizeze la nivelul de proiect tehnic. Proiectarea conceptuală este menită să identifice soluții viabile din punct de vedere tehnic, constructiv, posibil și din punct de vedere economic care, ulterior, să fie rafinate, în măsura în care proiectul conceptual se dovedește robust și promițător. Pe parcursul proiectării conceptuale este posibil să fie identificate slăbiciuni și defecte care pot fi remediate printr-o soluție adecvată sau care rămân în acest stadiu și împiedică asupra viabilității produsului pe piață.

În cadrul proiectului PRO-ALFRED sunt propuse trei proiecte conceptuale:

- (1) pentru instalația experimentală HELENA2,
- (2) pentru instalația experimentală ELF,
- (3) pentru centrul de coordonare a activităților experimentale și pentru pregătirea profesională, HUB

Raportul de față este dedicat prezentării proiectului conceptual pentru instalația experimentală ELF.

În etapa 1 a proiectului PRO-ALFRED (încheiată în noiembrie 2019) au fost definite elementele necesare lansării activităților de proiectare conceptuală.

În lucrarea [1] sunt prezentate elementele conceptuale principale (structura geometrică a instalației, componente, funcționalitate, instrumentație). După realizarea proiectării conceptuale, prezentată în cadrul acestui raport, se va întocmi

studiul de fezabilitate ca document de baza pentru alcătuirea documentației necesare aplicării într-o competiție pentru obținerea finanțării necesare, în cadrul unuia dintre programele bazate pe fonduri structurale.

Instalația experimentală ELF este de tip piscină. Este destinată, în principal, testării în regim de anduranță a componentelor, echipamentelor și sistemelor reactorului de demonstrație ALFRED. Principalele echipamente vizate sunt pompele circuitului primar, generatorii de abur, sistemele de evacuare a căldurii reziduale (DHR). Funcționalitatea va fi testată atât în regim de circulație forțată a plumbului, precum și în situațiile accidentale de oprire a pompelor (circulație naturală). O atenție deosebită va fi acordată studiului comportării materialelor și componentelor în condiții de eroziune și coroziune, precum și în regimuri tranzitorii sau mixte.

Instalația ELF face parte din infrastructura suport pentru implementarea LFR și a demonstratorului ALFRED. Infrastructura ALFRED constă în construcția a 6 instalații experimentale (**ATHENA, ChemLab, HELENA2, ELF, HandsOn, Meltin'Pot**), **reactorul de demonstrație ALFRED** și un **Hub** de coordonare.

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

Infrastructura ALFRED este caracterizată de o înaltă complexitate și specializare. Este destinată dezvoltării tehnologice. Rezultatele sunt aplicabile direct în tehnologia reactorilor energetici bazați pe spectru de neutroni rapizi și răcire cu plumb pur, topit. Rezultatele preconizate au, în foarte mare măsură, potențial pentru transfer tehnologic.

În vederea realizării proiectului conceptual al instalației ELF, în lucrarea [1] au fost formulate următoarele recomandări:

- (1) realizarea proiectului conceptual prin care să fie definite detaliile constructive: dimensionarea instalației pe baza condițiilor necesare pentru simularea regimurilor de lucru pentru reactorul de demonstrație ALFRED, structura zonei active, soluțiile pentru încălzirea și controlul puterii pinilor combustibili,
- (2) investigarea posibilităților de amplasare pe platforma nucleară de la Mioveni ținând cont de setul complet de instalații experimentale propuse pentru investigațiile LFR, precum și de proximitatea altor instalații nucleare și non-nucleare, precum și de disponibilitatea utilităților necesare pentru funcționarea normală a instalației ELF,
- (3) investigarea posibilității de amplasare într-o clădire care să găzduiască și alte instalații experimentale ale infrastructurii ALFRED, în funcție de funcționalitatea integrată a acestora și de reducerea costurilor,



- (4) realizarea studiului de fezabilitate pentru implementarea instalației experimentale ELF, într-un studiu separat sau într-un studiu cuplat cu a altor instalații experimentale în funcție de varianta aleasă (ELF într-o clădire separată, ELF în clădire comună cu alte instalații experimentale),
- (5) pregătirea elementelor necesare pentru realizarea aplicației pentru accesarea de fonduri nerambursabile în vederea depunerii în cadrul primei competiții pentru care instalația experimentală ELF poate fi eligibilă.

În cadrul proiectului PRO ALFRED au fost contractate, prin achiziții publice, servicii de consultanță specializată în realizarea proiectului conceptual al instalației experimentale ELF. Raportul de față cuprinde atât eforturile proprii ale RATEN cât și rezultate oferite de către consultant [2].

Raportul cuprinde descrierea instalației, schițe și dimensiuni, caracteristici tehnice, funcționalitate și regimuri operaționale, utilități necesare și consumuri estimate, elemente de cost, regimuri accidentale, recomandări privind instalarea și testabilitatea, activități experimentale preconizate, cerințe pentru clădirea care va adăposti instalația. Lucrarea este completată cu proiectarea conceptuală a subsistemelor și a elementelor de suport de infrastructură necesare pentru operarea instalației precum camera de comandă, hală experimentală, controlul logic, componente pentru funcționarea în siguranță, sursa de electricitate în caz de avarie, servicii necesare, etc.

2. Scop si obiective

ELF este o instalație experimentală de tip piscină cu plumb pur, operată în regim de circulație naturală sau forțată, destinată **testelor de anduranță** pentru funcționarea componentelor, echipamentelor și sistemelor aferente reactorului de demonstrație ALFRED, precum și a măsurării caracteristicilor de fiabilitate.

Scopul instalației experimentale ELF este de a realiza toate testele de anduranță care să demonstreze funcționalitatea, pe termen lung, la nivelul parametrilor operaționali proiectați, a principalelor echipamente și sisteme ale reactorului de demonstrație ALFRED.

Obiectivele ELF constau în:

- (O1) **realizarea unei instalații capabila**, prin încălzire electrică a zonei active, **să simuleze în întregime regimurile de lucru ale reactorului ALFRED**, în condiții de stabilitate și control complet, pe termen lung,
- (O2) folosirea instalației pentru **testarea în regim de anduranță a principalelor echipamente** (pompe de circulație în primar, generatori de abur, sistemul DHR, etc.) în vederea demonstrării capabilităților de funcționare a acestora, pe termen lung, în domeniul operațional proiectat,
- (O3) **investigarea comportării, pe termen lung, a materialelor și acoperirilor.**

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 vor fi simulate un număr reprezentativ de casete, bare de control și bare de securitate.

3. Necesitatea si oportunitatea realizării investiției

Infrastructura ALFRED este caracterizata de o înaltă complexitate si specializare. Este destinata dezvoltării tehnologice. Rezultatele sunt aplicabile direct in tehnologie si se pretează in măsură foarte mare pentru transfer tehnologic.

In momentul de față experimentele realizate pentru tehnologia LFR sunt efectuate la scara de laborator. Pentru parcurgerea procesului de autorizare sunt necesare teste, demonstrații, încercări la scara 1:1 a componentelor, echipamentelor si sistemelor importante.

Realizarea testelor de anduranță este o etapa obligatorie in calificarea unor echipamente si sisteme nucleare. Implementarea demonstratorului ALFRED in Romania presupune parcurgerea tuturor etapelor de autorizare cerute de legislația si reglementările existente.

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

- (1) Testarea la scara reala 1:1 a funcționării echipamentelor principale ale reactorului de abur: pompe, generatori de abur, schimbătorii de căldura DHR,
- (2) Testarea comportării materialelor si componentelor in regimul de curgere din ALFRED (circulație forțată realizata prin intermediul pompelor, respectiv circulație naturala in regim de oprire a pompelor) pe termen lung,
- (3) Testarea, pe termen lung, a acoperirilor materialelor, pe măsura dezvoltării acestora in cadrul tehnologiei LFR,
- (4) Testarea unor noi materiale, demonstrarea capabilităților acestora de a-si menține integritatea structurala si proprietățile pe termen lung
- (5) Investigarea efectelor produse, pe termen lung, de stratificarea agentului de răcire.

Oportunitatea susținerii investiției este determinata de:

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



4. Zona activa ALFRED si fenomenologia investigata

În reactorul ALFRED circulația forțată a lichidului de răcire este asigurată de trei pompe mecanice verticale, în timp ce circulația naturală este mecanismul principala de eliminare a caldurii reziduale în cadrul scenariilor accidentale. Presiunea sistemului primar este de aproximativ 0,1 MPa, iar ciclul termic al plumbului este cuprins între 400°C și 520°C.

În Fig. 4.1 este prezentată schema conceptuală a sistemului primar ALFRED.

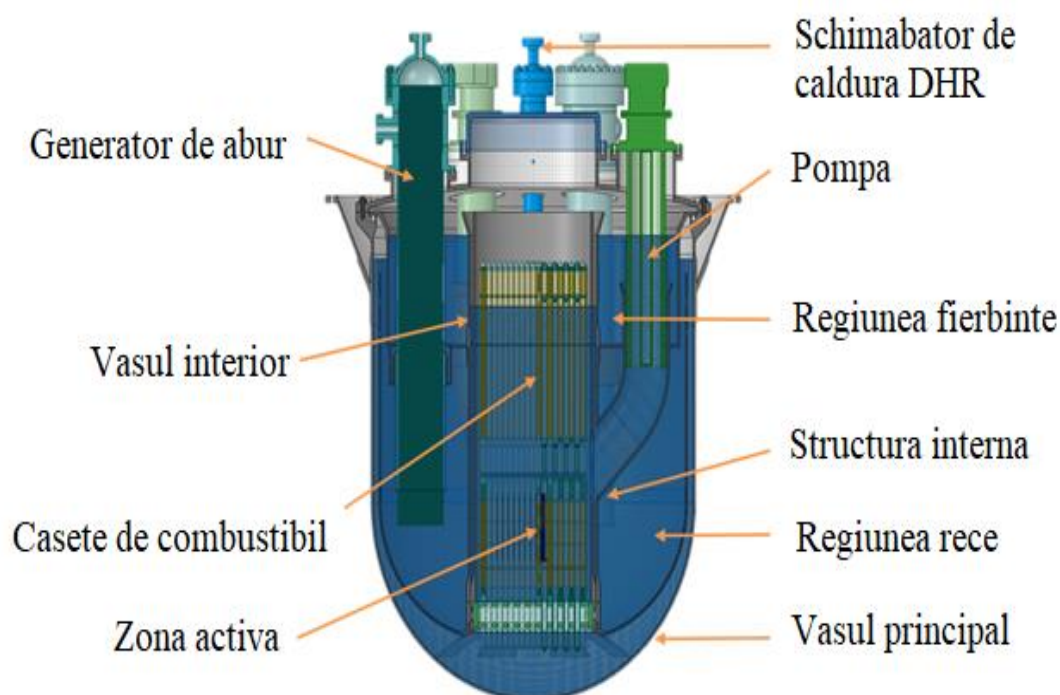


Fig. 4.1 Schma conceptuală a reactorului de demonstrație ALFRED

Figura prezintă configurația geometrică a sistemului primar (RCS) împreună cu structurile interne care ghidează mișcarea fluidului. Configurația sistemului primar este de tip piscină, caracterizată de o geometrie compactă cu generatorii de abur direct inserați în plumbul topit din piscină. Fiecare generator de abur este prevăzut cu o pompă de circulație forțată a agentului de răcire. Piscina este formată dintr-un vas principal (numit vasul reactorului, RV) cilindric având partea inferioară toro-sferică. Vasul este ancorat de cavitatea reactorului prin suportul de vas aflat în partea superioară.

Un al doilea vas (numit vasul de securitate, SV) este situat coaxial cu RV și solidar cu structura de beton a cavității reactorului. Între RV și SV este prevăzut un interstițiu suficient de mare pentru realizarea activităților de inspecție (ISI). De asemenea, prin intermediul interstițiului vasul SV poate fi răcit de către aceiași

sistem care răcește structura de beton a cavității. Sistemul este inserat în beton și este independent de sistemul de răcire al reactorului. Prezenta RV și SV este gândită să rezolve eventualitatea scurgerilor plumbului lichid din RV în cazul fisurării acestuia. Scurgerile vor fi reținute în SV, prevenind scăderea nivelului plumbului lichid în RV.

La ieșirea agentului de răcire din zona activă, plumbul este extras din vasul interior al reactorului prin intermediul a trei pompe de răcire pentru reactor, dispuse simetric. Acestea transferă plumbul către o regiune inelară superioară numită „hot pool” (regiunea fierbinte). De acolo, plumbul trece prin 3 generatoare de aburi aranjate simetric, în care are loc transferul de căldură către sistemul secundar, iar plumbul se răcește până la temperatura medie de intrare proiectată. În cazul în care sistemul secundar este nefuncțional (regim accidental) căldura este transferată către sistemul pasiv de eliberare a căldurii.

La ieșirea generatorului de abur, plumbul coboară într-un al doilea plan numit „cold pool” (regiune rece). În paralel cu generatoarele de aburi, există alte 3 schimbătoare de căldură destinate situațiilor urgență, denumite răcitoare de bazin, care sunt conectate la un sistem pasiv DHR care îndeplinește cerințele de redundanță și diversitate.

O structură internă separă regiunea fierbinte de cea rece, asigurând în același timp etanșarea componentelor principale; structura internă este echipată cu un deflector care împiedică întoarcerea imediată a plumbului în zona activă și îl obligă să se ridice vertical, să treacă printr-o serie de deschideri către regiunea superioară a deflectorului și să coboare în golul inelar dintre structura interioară și vasul reactorului. Odată ajuns în planul din partea inferioară a vasului reactorului, plumbul trece prin suportul radial al vasului interior înainte de a alimenta zona activă. Configurația piscinei RCS prezintă o periodicitate azimutală de 120°, unde fiecare sector include 1 SG, 1 RCP și 1 DC.

În Figura 4.2 este prezentată structura zonei active. Zona activă este formată din casete de tip hexagonal specifice reactorilor cu neutroni rapizi.

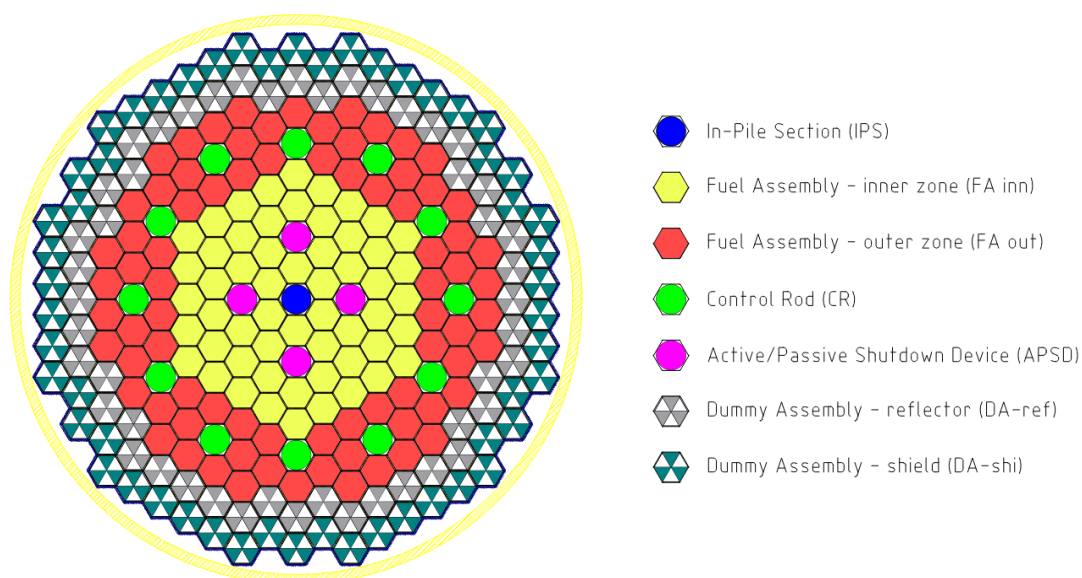


Fig. 4.2 ALFRED –configurația zonei active

Casetele au dimensiuni geometrice identice indiferent de poziționarea acestora în geometria radială. Zona activă este înconjurată de casete de reflector și casete absorbante cu rolul de a proteja structurile interne de impactul radiațiilor.

În Figura 4.3 este prezentată structura secțiunii transversale a unei casete de combustibil pentru reactorul ALFRED, în segmentul axial care corespunde zonei active.

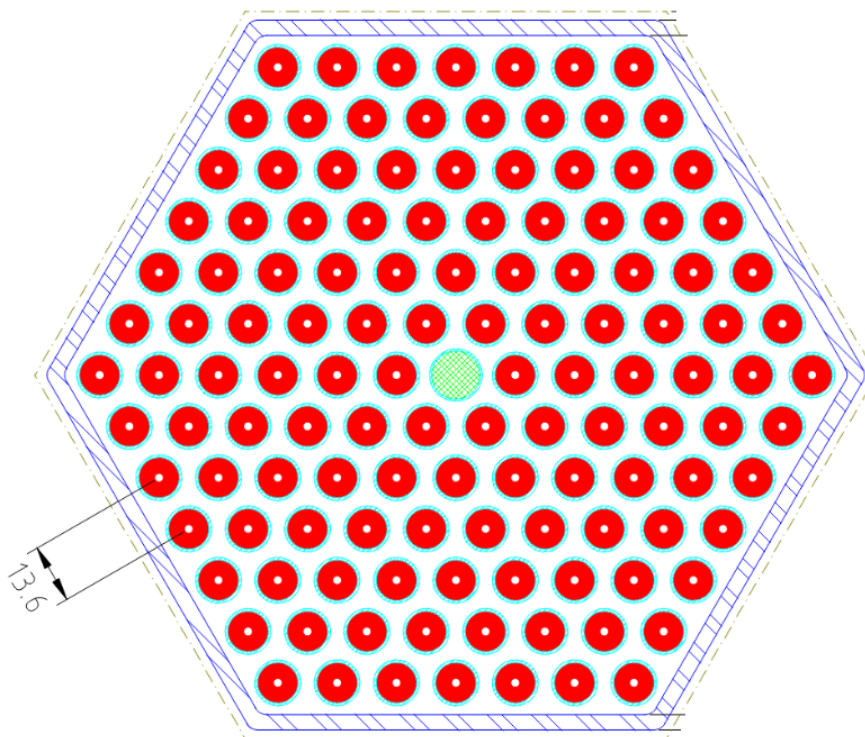


Fig. 4.3 Casetă de combustibil ALFRED – secțiune transversală [2]

Din punct de vedere axial casetă are o structură de segmente cu dimensiuni proprii și secțiune transversală proprie (Figura 4.4)

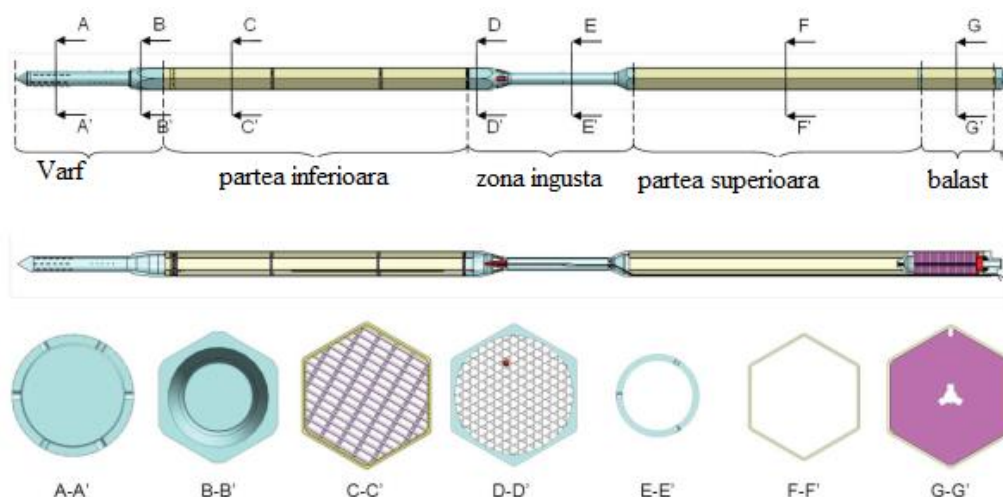


Fig. 4.4 Casetă de combustibil ALFRED – secțiune axială [2]

Din punct de vedere al comportarii casetei in regim de circulatie este de notat faptul ca plumbul intra ca „plumb fierbinte” prin orificiile inferioare ale casetei in sunbcanalele de curgere si iese in zona pompelor, fiind împins apoi in generatorii de abur.

Datorita caracterului demonstrativ al reactorului ALFRED a fost propusa o abordare gradata a punerii in functiune, de la putere zero catre puterea nominala si, corespunzator, un proces de autorizare in etape.

Astfel, reactorul pornește de la o condiție de putere mică, trecând prin mai multe etape înainte de a atinge condiția de putere maximă pentru care este destinat, astfel încât să permită autorizarea și testarea și să demonstreze, pas cu pas, siguranța concomitent cu acumularea de experiență operațională.

În acest sens au fost definite trei etape, fiecare caracterizată printr-un nivel de putere diferit, așa cum se arată în Tabelul 4.1.

Tabelul 4.1 Abordarea graduala a trecerii la parametri nominali

Parametrul	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3
Puterea termica [MW]	100	200	300
Debitul de circulatie in primar [kg/s]	17361.1	17361.1	17361.1
Temperatura de intrare a plumbului in zona activa [°C]	390	400	400
Temperatura de intrare a plumbului in zona activa [°C]	430	480	520
Presiunea aburului [bar]	170	175	180

Fiecare **element combustibil** din caseta ALFRED are o lungime de 1710,0 mm (din care lungime activă 810,0 mm). Pinul de combustibil este realizat dintr-un tub cilindric de tip teaca, inchis ermetic la ambele capete cu capace. În pinul de combustibil, de jos în sus sunt pozitionate:

- un tub cilindric, concentric cu teaca, care definește volumul plenumului de gaz și susține toate celelalte componente interne,
- o pastilă cilindrică din material izolator, pentru a proteja tubul de plenum de temperaturi excesive,
- o stiva de pastile de combustibil, prevazute cu orificiu central, constituind zona activă;
- o pastilă cilindrică din material izolant, identică cu cea inferioară, pentru a proteja structurile de deasupra la temperaturi excesive,
- un arc, pentru a menține toate componentele interne în poziție, permițând totodată dilatarea termică in interiorul tubului tecii.

Teaca este un tub de diametru interior $D_{int}= 9,3$ mm și de grosime 0,6 mm, ceea ce conduce la un diametru exterior de 10,5 mm. Lungimea sa totală este de 1630 mm, din care doar 1610 mm corespund zonei de componente interne (10 mm la ambele capete sunt pentru capacele de sigilare). Materialul tubului de teaca este AIM1, oțel inoxidabil austenitic stabilizat din clasa „15-15Ti”.

Dopurile de capat (capacele de capat) (Figura 4.5) sunt sudate la capetele fiecarui element combustibil. Pentru a permite o etanșare corectă, este prevăzută penetrarea capacelor cu 10 mm în teaca, astfel încât este prevăzută o secțiune mai subțire a dopurilor pentru cuplarea cu teaca. Ambele capace au, de asemenea, funcția de a conecta elementul combustibil la grila de susținere inferioară, precum și la cea superioară, astfel încât să formeze caseta.

Ambele dopuri sunt realizate în întregime din AIM1.



Fig. 4.5 Elementul combustibil, detaliu pentru dopurile de capat

Grila inferioară este o structură dură având funcția de susținere. Este realizată dintr-o serie de placute pe care este așezat dopul de capat inferior al elementelor combustibile. În Figura 4.6 este prezentată o vedere a componentelor grilei inferioare și o schemă conceptuală a așezării pinilor de combustibil pe placute.

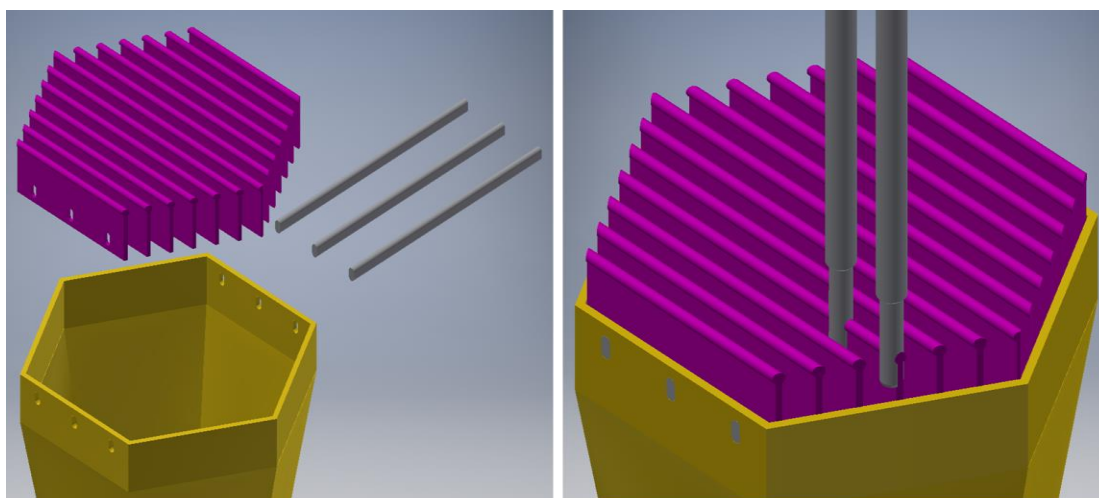


Fig. 4.6 Reprezentare 3D a grilei inferioare (stanga)
și schema de prindere a pinilor (dreapta)

Grila superioară este o structură de susținere din oțel care constrânge pinii combustibili de-a lungul axei lor (Figura 4.7, dreapta), pentru a permite dilatarea lor axială. În acest scop, structura este o grilă de cilindri cu același pas cu cel al casetei de pini (Figura 4.7, stanga); fiecare cilindru are aceeași rază interioară cu cea a capului dopului superior. Cilindrii sunt ancorați unul de celălalt pentru a da rigiditate rețelei. Întreaga grilă este realizată din AIM1.

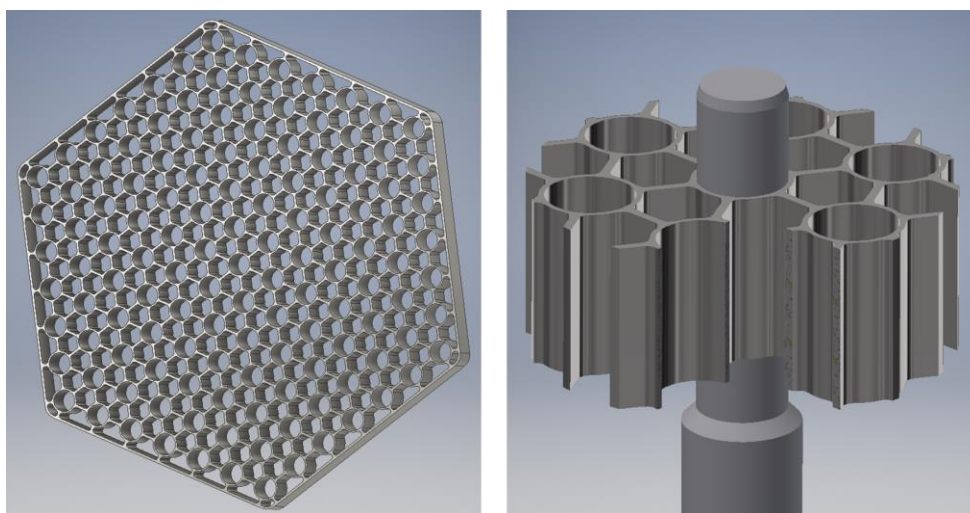


Fig. 4.7 Reprezentare 3D a grilei superioare (stanga)
și schema de prindere a pinilor (dreapta)

Grilele distanțiere sunt structuri de tip fagure (Figura 4.8) distanțând corect pinii de combustibil, formând astfel caseta de combustibil de-a lungul lungimii sale. Grilele distanțiere sunt realizate din benzi groase de 0,5 mm de AIM1, tăiate, îndoit și bombate pentru:

- a permită asamblarea simplă a rețelei de la distanță, bandă cu bandă;
- asigurarea a trei puncte de contact (cu simetrie de 120 °) cu pinii combustibili, dintre care două sunt fixe („bombeuri”) și una elastică („arc”) forțând pinul pe cele două caneluri, astfel încât să prevină, sau cel puțin să se reducă, frecarea indusă de vibrațiile cauzate de curgere.

Structura de susținere a zonei active este formată din patru componente, prezentate de asemenea, asamblate toate împreună, în Figura 4.9:

- un vas interior (cilindrul galben care înglobează toate celelalte elemente),
- baffle, o regiune cvasi-inelara cuprinsă de vasul interior (elementul portocaliu închis);
- o placă de bază inferioară („diagrid”, în partea de jos a structurii);

- o placă superioară a zoni activei.

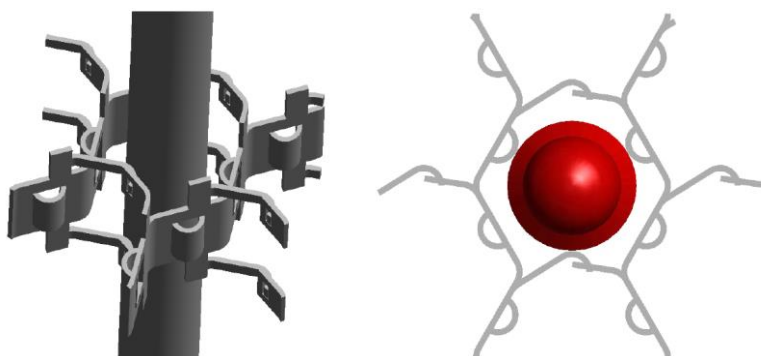


Fig. 4.8 Reprezentarea 3D a unei porțiuni din grilele de distantare (stanga) și vedere de sus (dreapta)

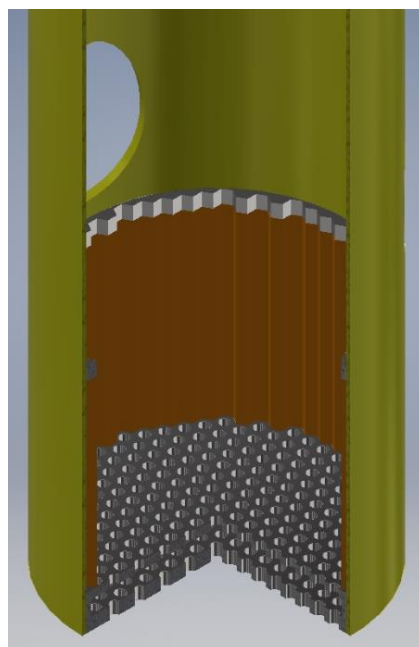


Fig. 4.9 Reprezentarea 3D a structurii de suport pentru zona activă ALFRED: vasul interior (galben), baffle (portocaliu), placa inferioară (gri)

Vasul interior este o structură rigidă din oțel care se extinde de la vârful până la partea inferioară a sistemului primar, adică de la capacul reactorului până la partea inferioară a vasului. Vasul are ca funcție susținerea zonei active. Vasul este o carcasă cilindrică cu diametrul interior de 3000 mm și diametru exterior de 3100 mm. Este realizat din oțel inoxidabil austenitic „AISI 316LN”.

Elementul de constrângere a curgerii (Baffle) constă dintr-un strat de oțel interpus între zona activă și vasul interior. Este confecționat dintr-o foaie de oțel inoxidabil

austenitic „AISI 316LN”, prelucrată pentru a urmări perimetrul zonei active (Figura 4.10) cu scopul dublu de:

- asigurare a unui mijloc pentru constrângerea laterală a zonei active,
- separarea curgerii bypass în regiunea dintre zona activa și vasul interior pentru a nu afecta ciclul termic.

Foaia are o grosime de 10,0 mm și este poziționată (suprafața interioară a reflectorului) la o distanță constantă de 2,0 mm față de invelisul exterior al casetelor DA. Structura se extinde de la placa inferioară a zonei active chiar sub înălțimea unde se realizează deschiderile din vasul interior. Pentru a preveni ocolirea curgerii și pentru a concura la forma zonei active, se realizează un disc rigid (partea dreaptă a Figurii 4.10) de prindere a părții superioare a structurii baffle.

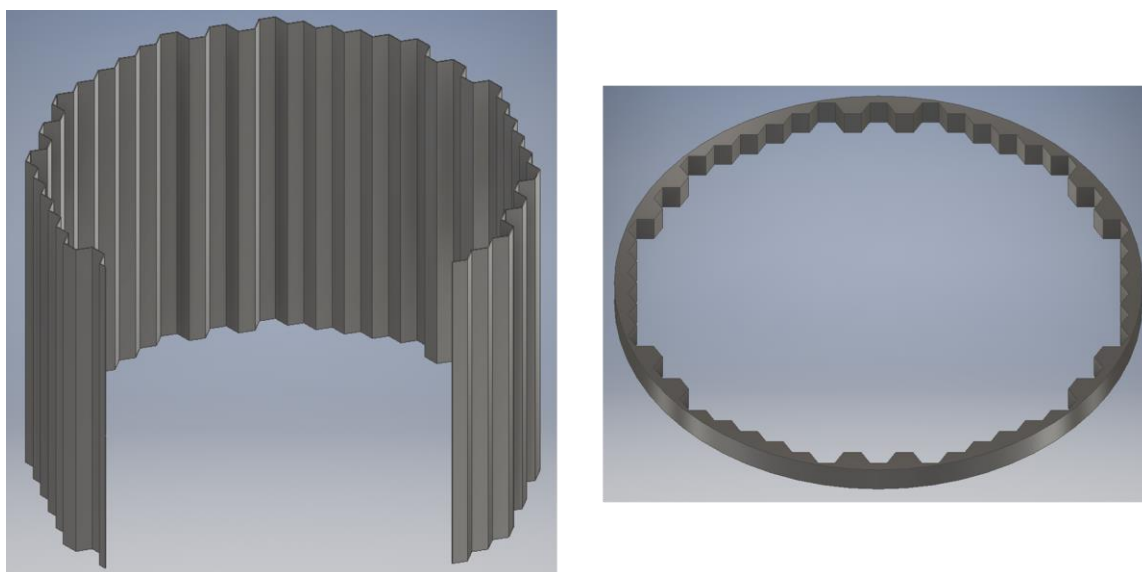


Fig. 4.10 Reprezentarea 3D a structurii baffle (stanga) și a inelului (dreapta)

Placa suport inferioară (diagrid) este amplasată în partea de jos a vasului interior. Este o structură de tip cutie cu formă cilindrică (astfel încât să se încadreze în vasul interior, la care este ancorată prin intermediul unor pini de blocare), realizată din (Figura 4.11): două plăci orizontale cu găuri cilindrice - aliniate pe cele două plăci - în care vârfurile casetelor (S/As) sunt inserate conform hărții de amplasare; o carcasă cilindrică care înglobează volumul între cele două plăci, astfel încât să izoleze fluxul care va alimenta regiunea de ocolire dintre casete (S/As); o serie de elemente structurale (care nu sunt prezentate în figura 4.11), poziționate vertical în volum și care se extind între plăcile orizontale, pentru a rigidiza structura. Întreaga structură este realizată din oțel inoxidabil austenitic „AISI 316LN”.

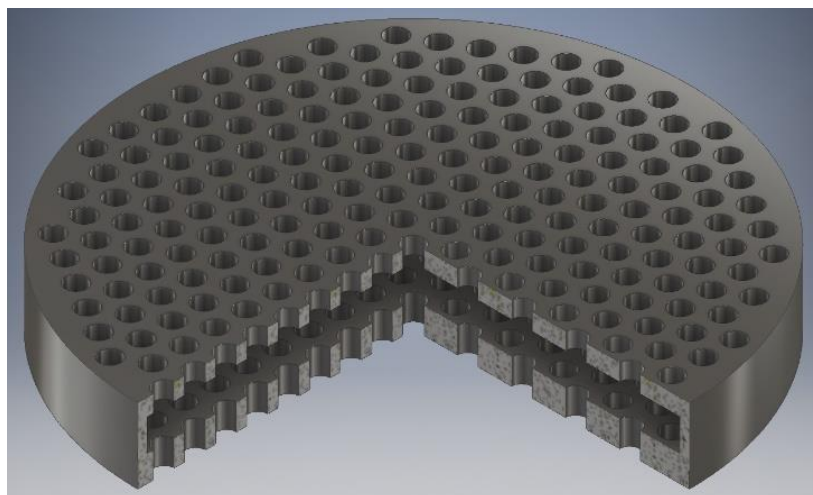


Fig. 4.11 Reprezentarea 3D a placii inferioare de suport a zonei active

Placa superioară a zonei active este plasată la capătul superior al vasului interior și are aceeași funcție de fixare (adică poziționarea S/As conform hărții zonei active), plus cerința suplimentară de a permite dilatarea S/As. Pentru aceasta, conexiunea cu fiecare S/As este realizată cu ajutorul unui locaș (schițat conceptual în Figuri 4.12 dreapta) realizat dintr-o cană care cuplează capul S/As, susținut de un pachet de arcuri. Arcurile sunt dimensionate astfel încât să asigure, de asemenea, forța verticală necesară pentru a menține S/As împins pe placa inferioară a zonei atunci când pompele primare sunt pornite (când acestea din urmă nu funcționează, într-adevăr, flotabilitatea S/As este echilibrată de balastul inclus în structura casetei). Placa superioară a zonei active este așadar o structură de tip cutie, asemănătoare cu cea a inferioară, dar mai înaltă și cu o placă superioară plină în loc de una prevăzută cu orificii (Figura 4.12, stânga). Întreaga structură este realizată din oțel inoxidabil austenitic „AISI 316LN”.

Principalele caracteristici ale reactorului ALFRED sunt prezentate în Tabelul 4.2.

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

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

Pentru ambele sisteme materialul absorbant utilizat este B_4C îmbogățit în B-10 (90%), iar tuburile de ghidaj sunt realizate din T91, tecile sunt din 15-15 Ti iar ZrO_2 (95%) - Y_2O_3 (5%) sunt utilizate pentru izolare și reflector.

Structura barelor CR constă dintr-un cluster de 19 pini absorbanți. Răcirea este asigurată prin circulația forțată/naturală a agentului din sistemul primar. Pinii sunt prevăzuți cu o zonă de acumulare a gazelor (gas plenum), în partea superioară, în vederea colectării heliului și tritiului produse în reacțiile nucleare ale B-10. Barele

sistemului CR sunt extrase în direcția inferioară (de sus în jos) și introduse prin deplasarea lor în sus datorită forței arhimedice.

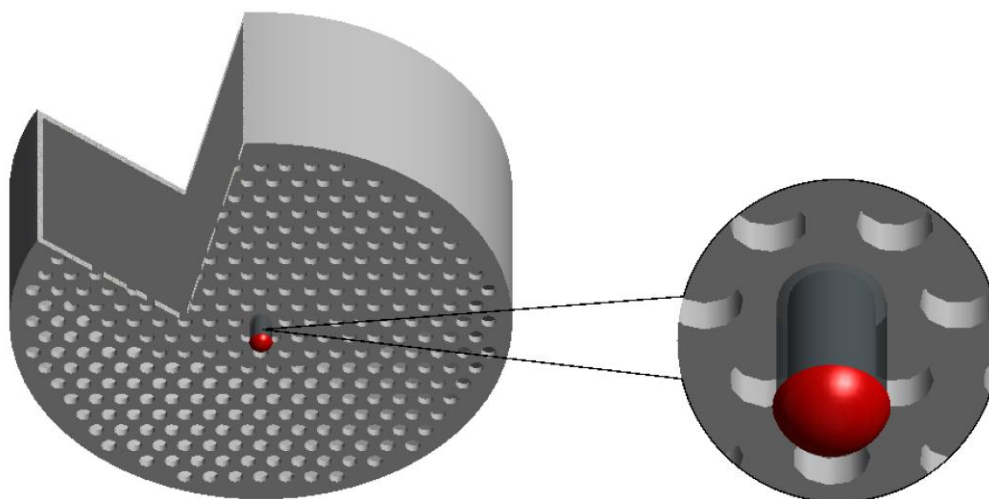


Fig. 4.12 Reprezentarea 3D a plăcii superioare (stanga) și schema conceptuală de prindere a cassettei (dreapta)

Tabelul 4.2 Caracteristicile principale ale zonei active a reactorului ALFRED

Casete de combustibil	171
Zona interioară	57
Zona exterioară	114
Combustibil	MOX
Îmbogățirea în Pu (zona interioară/exterioară)	21.7/27.8
Bare de control/oprire	12
Bare de securitate	4
Casete de reflector	110
Intervalul de manevrare al casetelor	1 an
Ciclul unei încărcături în reactor	5 ani

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

Generatorii de abur (SG) și pompele sistemului primar (PP) sunt integrate într-o unitate unică, dispusă vertical. Fiecare SG constă din 542 tuburi baioneta imersate în piscina reactorului, pe o porțiune de 6 m din lungimea totală. Numărul de SG,

precum si de PP, este de 8. Atât SG, cat si PP, sunt amplasate intre vasul interior si peretele RV. PP este plasata in partea calda a SG si antrenează prin partea de secțiune plumbul topit către SG. Acesta trece prin zona centrala a pompei (elicea de antrenare), apoi trece, prin orificiile de intrare, in SG, coboară prin tuburile baioneta si iese din SG. Motorul pompei este amplasat deasupra RV.

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

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

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

Plumbul topit oferă câteva avantaje importante pentru folosirea sa ca agent de răcire in sistemele nucleare bazate pe neutron rapizi. Spre deosebire de sodiu, care reacționează violent atât cu apa, cat si cu aerul, plumbul este inert chimic atât in raport cu atmosfera, cat si cu apa. Din acest motiv nu este necesara o bucla intermediara intre circuitul prima (zona activa) si cel secundar (turbina), ceea ce permite inserarea directa a SG in primar.

Plumbul are o temperatură de fierbere ridicata (1745°C) si o presiune de vapori scăzută ($3 \cdot 10^{-5}$ Pa la 400°C) [3]. Acest fapt reduce drastic riscul de creare a unei configurații cu zona activa ne-imersata in agent de răcire (obținută in majoritatea configurațiilor de reactor, prin intermediul vaporizării agentului de răcire sau prin ruperea unei conducte, accidentul LOCA).

Plumbul are proprietăți de moderare scăzute. Aceasta permite păstrarea unui spectru rapid dur cu efecte in realizarea unei performante ridicate a sistemului bazat pe neutroni rapizi. Pe de alta parte, plumbul are proprietăți absorbante scăzute pentru neutroni. Acest fapt elimina amplasarea foarte compacta a casetelor de combustibil si a barelor combustibile, permițând o circulație mai lejera a agentului de răcire. De asemenea căderea de presiune pe zona activa scade contribuind la o cerință mai scăzută pentru puterea de pompare, precum si la îmbunătățirea proprietăților care favorizează circulația naturala.

Plumbul este compatibil cu materialele de întecuire, precum si cu cele structurale (15-15 Ti, T91) [3]. Totuși este nevoie de controlul oxigenului pentru a preveni fenomenul de coroziune. De asemenea, in cazul ALFRED temperatura de operare normala este limitata sub valoarea de 500°C in vederea evitării intrării in zona de favorizare a coroziunii. In cazul folosirii unor acoperiri cu straturi adecvate (spre exemplu prin aluminizare) domeniul de lucru poate fi crescut in zona $550-600^{\circ}\text{C}$, cu efecte directe in performanta globala (creșterea randamentului centralei). Controlul oxigenului presupune prezenta senzorilor de măsurare a concentrației si a unui sistem de menținere a concentrației sub valoarea de prag.

Instalația experimentală ELF este destinata simulării condițiilor de funcționare cat mai realista a reactorului ALFRED. Instalația va fi in categoria instalațiilor ne-



nucleare, zona activa fiind simulata prin încălzire electrica. In acest mod instalația va putea testa, in condițiile de temperatura si presiune planificate de situațiile operaționale, comportarea in regim de anduranța a echipamentelor. Pe de alta parte instalația va putea fi pregătită pentru simularea unor condiții de accident (tranzienți) in vederea confirmării ipotezelor de scenariu, precum si a investigării comportării materialelor, componentelor, echipamentelor si sistemelor in astfel de condiții.

Funcționarea pe termen lung, in condițiile de performanta si siguranță proiectate, este dependenta de comportarea materialelor, componentelor, sistemelor si echipamentelor. In cazul reactorului ALFRED acestea sunt supuse la următoarele solicitări:

- (1) interacțiunea cu neutronii rapizi, generați in reacțiile de fisiune, caracterizata de fluențe mari,
- (2) câmp mare de radiații datorat radioactivității produșilor de fisiune si a celor de activare,
- (3) câmp de temperaturi înalte (peste 400°C),
- (4) mediu cu coroziune ridicata,
- (5) curgere caracterizata de declanșarea de procese de eroziune,
- (6) interacțiuni de tip chimic.

In cazul instalației ELF nu se va investiga impactul neutronilor si nici cel al iradierii, deoarece instalația simulează electric condițiile de temperatura din reactorul ALFRED.

Elementele vizate pentru cercetare prin **folosirea instalației experimentale ELF** constau in:

- (1) aspectele operaționale de funcționare pe termen lung, in regim de anduranță a componentelor, echipamentelor si sistemelor din ALFRED, in primul rând a celor considerate critice (pompele din circuitul primar, generatorii de abur, sistemele de evacuare a căldurii reziduale); in acest sens instalația va acoperi simularea regimurilor si ciclurilor de lucru planificate,
- (2) comportarea pe termen lung a materialelor si suprafețelor aflate in contact cu mediul de plumb topit, in special in ceea ce privește aspectele de coroziune si eroziune,
- (3) evoluția proprietăților mecanice ale materialelor structurale cu timpul de rezidenta in sistem,
- (4) influenta depunerii de impurități in interiorul sistemului,
- (5) capacitățile privind controlul oxigenului, in volume mari de plumb lichid, pe termen lung,
- (6) capacitățile de filtrare a impurităților, in volume mari de plumb lichid, pe termen lung,



- (7) evoluția performanțele echipamentelor, componentelor sistemelor reactorului ALFRED în funcție de regimul de operare și de influența factorilor de coroziune, eroziune, filtrare, controlul oxigenului.

5. Rezultate aşteptate

Instalatia experimentală ELF va contribui la următoarele tipuri de investigații și activități de testare și demonstrare:

(1) Termohidraulică:

- (1.1) Evaluarea regimurilor termohidraulice în piscină cu plumb, în principala testarea performanțelor sistemului primar și a comportării în regimuri tranzitorii,
- (1.2) Evaluări termohidraulice în zona activă:
 - (1.2.1) Teste de circulație forțată,
 - (1.2.2) Teste de circulație naturală,
 - (1.2.3) Analize de tranziții.
- (1.3) Teste integrale, în principal analiza regimurilor tranzitorii accidentale și operationale
- (1.4) Teste de durabilitate, în principala testarea performanțelor de fiabilitate ale circuitului primar
- (1.5) Termohidraulică la nivel de casetă de combustibil, în special trecerea de la regimul de circulație forțată la circulația naturală și la convecție mixtă

(2) Studii de eroziune/coroziune la nivelul pompelor din circuitul primar

- (2.1) Performanțele pompelor din circuitul primar și ale materialelor componentelor pompei
- (2.2) Teste de durabilitate pentru pompe și componentele acestora, performanțe de fiabilitate

(3) Validare și verificare coduri de sub-canal

- (3.1) Simularea corectă a curgerii pentru diverse regimuri
- (3.2) Distribuții de temperatură și entalpie în canalele de curgere, precum și pe suprafețele tecilor elementelor combustibile
- (3.3) Modelarea regimului turbulent prin algoritmi CFD
- (3.4) Simularea stratificării în piscină
- (3.5) Modelarea fenomenelor de termohidraulică în geometrii complicate implicând curgeri secundare

(4) Demonstrarea funcționării în regim de duranță pentru:



- (4.1) Pompele circuitului primar,
- (4.2) Generatorii de abur,
- (4.3) Sistemele DHR.
- (5) Studii privind efectivitatea filtrării și controlului oxigenului asupra performanțelor sistemelor

6. Performante tehnice

Instalația ELF va avea următoarele caracteristici și performante țintă:

- (1) Puterea electrică totală a zonei active simulate, 10 MW,
- (2) Instalația va cuprinde vasul principal continând zona activă, trei generatori de abur, trei pompe de circulație forțată a plumbului, o buclă secundară alimentată cu apă demineralizată și sistemul DHR (Decay Heat Removal, evacuarea căldurii de dezintegrare),
- (3) În vederea manevrării plumbului instalația va conține și un vas de topire, un rezervor de depozitare și unul de transfer
- (4) Configurația zonei active simulate (CS) va fi compusă din 31 de casete (S/As) din care 16 sunt casete de combustibil (fuel assembly, FA, în regiunea centrală), 1 canal reprezentând secțiunea In-pile (IPS), (în poziție centrală), 2 bare de control (CR) înconjurate de 12 casete de reflector (dummy assembly, DA).
- (5) Caseta va fi de tip hexagonal (distanța între pini de 13,53 mm), va avea un pin central (neîncălzit) și 36 pini încălziți electric (având diametrul exterior de 10,5 mm și o lungime activă de 810 mm). În total zona activă conține 576 de pini încălziți electric.
- (6) Rețeaua geometrică este de tip triunghiular/hexagonală eșalonată având un raport pas/diametru, $p/D = 1.295$,
- (7) Fiecare pin încălzit electric furnizează o putere maximă de 17,36 kW, cu o putere liniară de 21,4 kW/m, rezultând o putere totală în instalație de 10 MW,
- (8) Temperatura medie de intrare a plumbului în zona activă este de aproximativ 400°C, în timp ce temperatura medie la ieșirea CS este de aproximativ 520°C.
- (9) Circulația forțată va fi realizată cu pompe verticale instalate simetric în interiorul bazinului rece al ELF. În condiții nominale, debitul total preconizat este de 572,46 kg/s, ceea ce corespunde la aproximativ 65,4 m³/h (~ 191 kg/s) pentru fiecare pompă.
- (10) Fiecare generator de abur (SG) constă din 37 de tuburi de tip baionetă având o lungime de 6 m. Alimentarea cu apă se face sub presiune (180 bar). Fiecare SG are o putere termică de aproximativ 3,33 MW.
- (11) Sistemul de îndepărtare a căldurii de dezintegrare (DHR), este compus din trei schimbătoare de căldură, fiecare fiind proiectat pentru o putere termică

de 500 kW (reprezentând 5% din puterea termică maximă CS). Un singur DHR este compus dintr-un colector de alimentare cu apă, 61 de tuburi de baionetă, un colector exterior și un plenum de gaz, cu o geometrie similară cu cea a SG principal.

- (12) În condiții de lucru normale, apa din circuitul secundar este presurizată la ~ 180 bar ($T_{\text{sat}} \sim 357^{\circ}\text{C}$) și preîncălzită la 335°C la intrarea în SG
- (13) Controlul oxigenului din vasul principal include dispozitive de eliminare și furnizare a oxigenului pentru a controla concentrația oxigenului în apropierea valorii țintă pentru ALFRED (10^{-6} - 10^{-8} % wt.).
- (14) Din cauza cantității mari de plumb care se află în bazinul ELF controlul oxigenului se realizează cu ajutorul unei bucle externe lucrând continuu cu un debit fix (circa 2,5% din debitul nominal) de plumb, care este scos și apoi reintrodus în piscină. Debitul de masă al buclei externe este de aproximativ 15 kg/s.
- (15) Din punct de vedere al regiunilor piscinei temperatura plumbului din bazinul cald este de 520°C și respectiv de 400°C în bazinul rece.

7. Proiectul conceptual al instalatiei ELF

Instalatia experimentală ELF (Electrical Long-running Facility) este concepută pentru realizarea testelor de rezistență și fiabilitate a principalelor componente/echipamente/sisteme din tehnologia LFR, în regimuri termo-hidraulice staționare caracterizate de circulația forțată sau naturală a plumbului topit.

Rezultatele așteptate sunt necesare pentru demonstrarea funcționării îndelungate a sistemului primar ca sistem activ de răcire, în condiții de control al concentrației de oxigen, inclusiv pentru a investiga efectele pe termen lung ale plumbului lichid asupra acoperirilor și materialelor structurale, precum și pentru a demonstra fiabilitatea componentelor la o scară relevantă (de exemplu, tuburile generatorilor de abur la scara reală 1: 1).

Instalația experimentală va fi, de asemenea, exploatată pentru a reproduce trecerea de la circulația forțată la cea naturală care are loc în cazul unui tranzițiu de pierdere a circulației forțate, spre exemplu prin oprirea pompelor. Ca efect al tranzițiilor, are loc o stratificarea termică în interiorul piscinei. În acest context este necesară o analiză detaliată a distribuțiilor de temperatură din regiunea fierbinte („hot pool”, HP) precum și din regiunea mai rece („cold pool”, CP) pentru a investiga sarcinile termice induse în structuri, în relație directă cu sarcinile mecanice existente

Pe de altă parte, instrumentația din zona activă simulată (CS) va permite studierea cuplării termice între diferite cazete de combustibil (prin intermediul curgerii între cazete, precum și al transferului termic dintre acestea).

7.1 Activități experimentale preconizate

Scopul campaniilor experimentale din instalația experimentală ELF este de a caracteriza din punct de vedere termohidraulic sistemul ALFRED, în special:

- (1) evaluarea distribuției debitului de curgere și a distribuției de temperatură într-un sistem cu mai multe cazete de combustibil, inclusiv măsurarea căderilor de presiune, a debitelor în cazetele combustibile și a debitelor de bypass, precum și a temperaturilor pe țecile pinilor combustibili, în subcanal, în bypass și pe perețele cazetei,
- (2) evaluarea coeficientului critic de transfer al căldurii (HTC) în caseta (FA), generator de abur (SGBT) și sistemul de evacuare a căldurii reziduale (DHR),
- (3) distribuția temperaturii în cazetele active ale zonei active simulate,
- (4) verificarea prezenței punctelor fierbinți și a punctelor de temperatură maximă,



- (5) evaluarea stratificării termice axiale a plumbului în regiunea mai rece (CP),
- (6) caracterizarea comportamentului sistemului termohidraulic în condiții de echilibru și în timpul tranzițiilor de la circulație forțată la cea naturală și invers, analizând răspunsul sistemului în ceea ce privește debitul de masă, distribuții de presiune și temperatura,
- (7) să demonstreze funcționarea pe termen lung a sistemului primar din tehnologia LFR în prezenta unui sistem de control al oxigenului (OCS),
- (8) să demonstreze fiabilitatea pe termen lung a structurilor, sistemelor și componentelor principale ale sistemului primar în condiții reprezentative.

7.2 Descrierea generală a structurii instalației experimentale ELF

ELF este o instalație de tip piscină, răcită cu plumb pur, concepută pentru funcționare pe termen lung (teste de rezistență și fiabilitate) atât în circulație forțată cât și naturală, cu o putere totală instalată de 10 MW. Instalația este formată dintr-un vas principal (S100) care conține simulatorul de zonă activă, cele trei generatoare principale de abur, sistemul de îndepărtare a căldurii de dezintegrare și trei pompe mecanice pentru circulația forțată, poziționate simetric în interiorul piscinei. Componentele sunt realizate în principal din oțel inoxidabil (AISI 316L/321).

În Figura 7.2.1 este prezentată structura conceptuală a instalației experimentale ELF.

- (1) vasul principal (S100),
- (2) o zonă activă simulată electric (core simulator, CS) compusă din 31 de casete (S/As) din care 16 sunt casete de combustibil (fuel assembly, FA, în regiunea centrală), 1 canal reprezentând secțiunea In-pile (IPS), (în poziție centrală), 2 bare de control (CR) înconjurate de 12 casete de reflector (dummy assembly, DA). Fiecare caseta de combustibil este alcătuită dintr-un pin central și 36 de pini electrici având un diametru exterior de 10,5 mm și o lungime activă de 810 mm, așezat într-o grilă hexagonală. În total CS conține 576 de pini încălziti electric. Fiecare pin încălzit electric furnizează o putere maximă de 17,36 kW, cu o putere liniară de 21,4 kW/m, rezultând o putere totală în instalație de 10 MW,
- (3) trei generatoare de abur cu tuburi tip baioneta (SGBT) poziționate simetric în interiorul vasului principal, cuplând partea primară, răcită cu plumb, cu partea secundară, răcită cu apă. Fiecare SGBT conține un ansamblu de tuburi de tip baionetă operate în contra curent, debitul masic total fiind de 6,42 kg/s apă sub presiune la 180 bar, pentru a elimina din plumb o putere totală de 10 MW (3,33 MW pentru fiecare SGBT) cu o scădere a temperaturii de-a lungul lungimii active a tuburilor de 115°C,

- (4) un sistem de îndepărtare a căldurii rezidale (DHR), compus din trei schimbătoare de căldură poziționate simetric în interiorul bazinului rece, fiecare constituit din 61 de tuburi cu pereti dubli, alimentate cu apă la temperatura camerei, la o presiune de 3,5 bar, urmărind îndepărtarea căldurii de dezintegrare simulata electric (aproximativ 5% din valoarea puterii nominale);

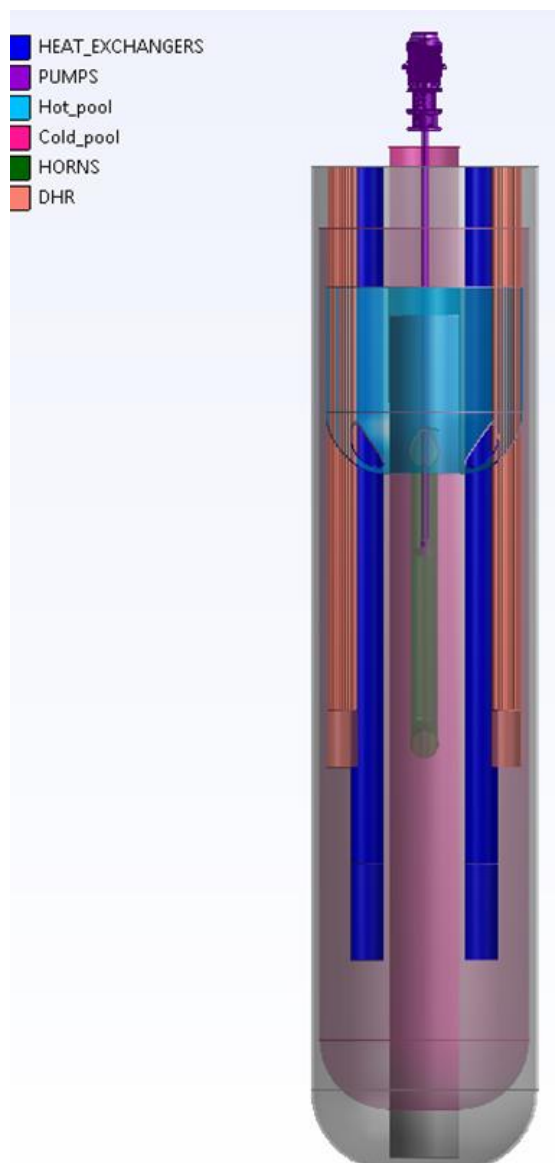


Fig. 7.2.1 Instalatia experimentală ELF, structura conceptuală

- (5) trei pompe verticale instalate simetric în bazinul fierbinte al vasului principal (S100), funcționând la aproximativ 520°C, fiecare cu un debit volumic nominal de aproximativ 65 m³/h, corespunzând la ~ 191 kg/s,

- (6) bucla secundară este alimentată de apă demineralizată. Contine o pompă centrifugă, un schimbător de căldură care conectează bucla secundară cu un circuit intermediar (apă industrială la 1 bar), un turn de răcire pentru eliminarea puterii produse de CS (~ 10 MW), un presurizor acționând și ca vas de expansiune, elementele de încălzire pentru încălzirea apei în faza de pornire, conductele și robinete de 4" (siguranță, reglare, pornire/oprire),
- (7) rezervorul de topire (S400), având ca rol topirea plumbului necesar pentru umplerea vasului principal; este prevăzut cu o secțiune de filtrare instalată în conducta de conectare la rezervorul de depozitare (S200), precum și vane pentru funcționarea corectă a sistemului,
- (8) rezervorul de depozitare (S200), pentru depozitarea topiturii pe termen scurt sau lung (pentru a menține topitura în perioadele dedicate întreținerii instalației sau pentru depozitare),
- (9) rezervorul de transfer (S300), pentru a transfera plumbul din vasul principal în rezervorul de depozitare. În timpul operațiunilor de umplere/drenare, plumbul este transferat treptat din rezervorul de stocare (S200) în vasul S300. Apoi, prin presurizarea gazului de acoperire S300, metalul lichid umple treptat vasul de testare (S100).

7.3 Sistemul primar al instalației experimentale ELF

În Figura 4.3.1 este prezentată schema funcțională a instalației ELF. În Figura 7.3.2 sunt prezentate liniile de înaltă și joasă presiune pentru procedurile de umplere și de golire a vasului principal, precum și pentru managementul gazului de acoperire, pentru topirea plumbului, transferul și depozitarea acestuia.

În fiecare dintre vase, sunt instalați senzori de oxigen pentru a măsura conținutul de oxigen din topitură, în timp ce discurile de rupere evită presurizarea accidentală. Sistemele de barbotare cu argon/hidrogen sunt instalate în rezervorul de stocare pentru a condiționa plumbul și pentru a reduce conținutul de oxigen dizolvat în plumbul topit.

Vasul principal S100 conține componentele sistemului primar; este realizat din oțel inoxidabil AISI-316L; are o înălțime totală de 10 m și un diametru de 2,3 m. Întregul vas este instrumentat în detaliu (Figura 7.3.3) pentru a investiga diferite fenomene fizice, cum ar fi fenomenele de amestecare și stratificare în bazinul cald și bazinul rece, transferul de căldură în caseta de combustibil și cuplarea termică între diferiți pini de combustibil din interiorul casetei. Mai mult, este prevăzută și o instrumentare separată pentru a asigura o funcționare eficientă a instalației. Inventarul total al plumbului din instalația ELF este de aproximativ 450 de tone.

S100 este format din două structuri concentrice: vasul extern (principal) și vasul interior (care înconjoară CS) (a se vedea și Figura 7.2.1). O zonă mai caldă (bazinul

cald) și una mai rece (bazinul rece) sunt situate între cele două structuri cilindrice (Figura 7.3.4); interstițiul dintre vasul principală și partea externă a bazinului rece constituie calea de curgere a plumbului din piscina rece până la intrarea în CS. În timpul funcționării normale, plumbul care circulă prin CS este transportat de pompe către bazinul fierbinte (situat în partea superioară).

Lichidul de răcire (plumbul din primar) schimbă căldura cu lichidul de răcire al circuitului secundar (care trece prin generatoarele de aburi) și revine la bazinul rece. Apoi, lichidul de răcire curge în sus ajungând în partea superioară a bazinului rece și intră în interstițiul dintre bazinul rece și vasul principal, trecând prin ferestrele dedicate. În cele din urmă, lichidul de răcire curge în jos prin zona de gol (în jos) spre intrarea în CS. Figura 7.3.4 prezintă calea principală de curgere a plumbului în interiorul S100.

În cazul unui scenariu accidental, reactorul va fi oprit automat de către semnalele de securitate (scram), adică zona activă nu va mai fi încălzită la puterea nominală. Presupunând o pierdere totală a pompelor, debitul de lichid de răcire se reduce, odată cu trecerea de la circulația forțată la cea naturală, iar variația mare a temperaturii va conduce la fenomenul de stratificare termică în interiorul piscinei.

Un gradient mare de temperatură verticală poate induce sarcini termice semnificative pe structură suplimentare sarcinilor mecanice existente. Deoarece conductivitatea termică a plumbului este de 10-20 de ori mai mare decât a apei, fluctuațiile de temperatură sunt transmise aproape fără atenuare către materialele structurilor, ceea ce duce la ciclaj termic și la fenomenul de oboseală.

Datorită dimensiunilor uriașe ale instalației ELF, este nevoie de mai multe termocuple pentru a monitoriza temperaturile atât din bazinul rece cât și din cel fierbinte. Mai mult, pentru a investiga și distribuția radială a temperaturilor pentru o secțiune transversală (înălțime fixă), în interiorul piscinei vor fi instalate diferite caze verticale pentru manevrarea și fixarea termocupurilor.

Așa cum se arată în Figura 7.3.3, patru țije verticale (A, B, C, D) sunt prevăzute pentru a realiza deplasarea în bazinul rece, în timp ce două țije verticale (E, F) vor fi poziționate în piscina fierbinte. Instalația va fi instrumentată în detaliu, pentru a investiga diferite fenomene fizice. În acest scop, pentru a investiga fenomenele de transfer de căldură în interiorul zonei active simulate, inclusiv cuplarea termică între diferite caze de combustibil, un număr de aproximativ 500 de termocuple (TCs) vor fi instalate în interiorul CS (termocuple de tip 0,5 mm N). Localizarea acestora se va face la patru înălțimi diferite (începând cu intrarea în zona activă și terminând ieșirea din zona activă). Pentru a monitoriza temperatura de la intrarea în zona activă simulată sunt instalate șase termocuple în regiunea de intrare.

Schimbătorul de căldură principal va fi instrumentat pentru a investiga transferul de căldură în diferite subcanale, inclusiv canalul lateral la cinci cote diferite (în total aproximativ 60 termocuple) și termocuple dedicate studiului tuburilor de tip

baionetă (pe partea racitaa de apa și pe cea incalzita de plumb, in total aproximativ 45 termocuple).

Transferul de căldură în DHR va fi monitorizat la cinci altitudini diferite (inclusiv secțiuni de intrare/ieșire, în total aproximativ 30 termocuple). Fenomenele de amestecare și stratificare vor fi, de asemenea, investigate atât în bazinul cald, cât și în cel rece, cu aproximativ 20 termocuple de-a lungul a două linii verticale diferite în bazinul cald și aproximativ 290 termocuple de-a lungul a 4 linii verticale diferite în bazinul rece (de asemenea, va fi monitorizată distribuția radială a temperaturii).

Pentru amestecarea în regiunea inelară între secțiunea de ieșire a lungimii active a CS și secțiunea de intrare în bazinul fierbinte 20 de secțiuni verticale vor fi instrumentate de-a lungul regiunii inelare cu termocuple plasate la 120° (trei termocuple pentru fiecare secțiune, in total 60 termocuple). De-a lungul arborelui pompei vor fi instalate trei termocuple (poziționarea exactă va depinde de proiectarea pompei), măsurarea turației va fi de asemenea disponibilă.

În ceea ce privește instrumentarea pompelor, aceasta va consta în măsurători ale turației (rotatii pe minut) a arborelui principal și mai multe termocuple plasate în diferite secțiuni de-a lungul arborelor pompei principale.

In Figura 7.3.6 este prezentata amplasarea in structura sectiunii transversale a principalelor componente ale instalatiei ELF.

În Tabelul 7.3.1 sunt prezentate datele geometrice de bază pentru rezervorului principal, rezervorul de depozitare și rezervorul de transfer.

Tabelul 7.3.1 Datele principale pentru componentele S100, S200, S300, S400 ale instalatiei ELF

	Unit.	Vasul principal	Vasul de stocare	Vasul de transfer	Vasul de topire
<i>Nume</i>	--	<i>S100</i>	<i>S200</i>	<i>S300</i>	<i>S400</i>
<i>Diametru (I.D)</i>	[mm]	2300	3000	650	1200
<i>Inaltime</i>	[mm]	10000	5500	3075	1225
<i>Capac</i>	--	<i>Plat</i>	<i>Eliptic</i>	<i>Eliptic</i>	<i>Plat</i>
<i>Volumul interior</i>	[lt]	44500	47400	1100	1600
<i>Presiunea nominala</i>	[MPa]	0,3	0,5	2,5	0,15
<i>Temperature nominala</i>	[°C]	550	450	450	450
<i>Material</i>	--	<i>AISI-316L</i>	<i>AISI-316L</i>	<i>AISI-316L</i>	<i>AISI-316L</i>
<i>Constrangeri</i>	--	<i>Verticale</i>	<i>Orizontale</i>	<i>Verticale</i>	<i>Verticale</i>

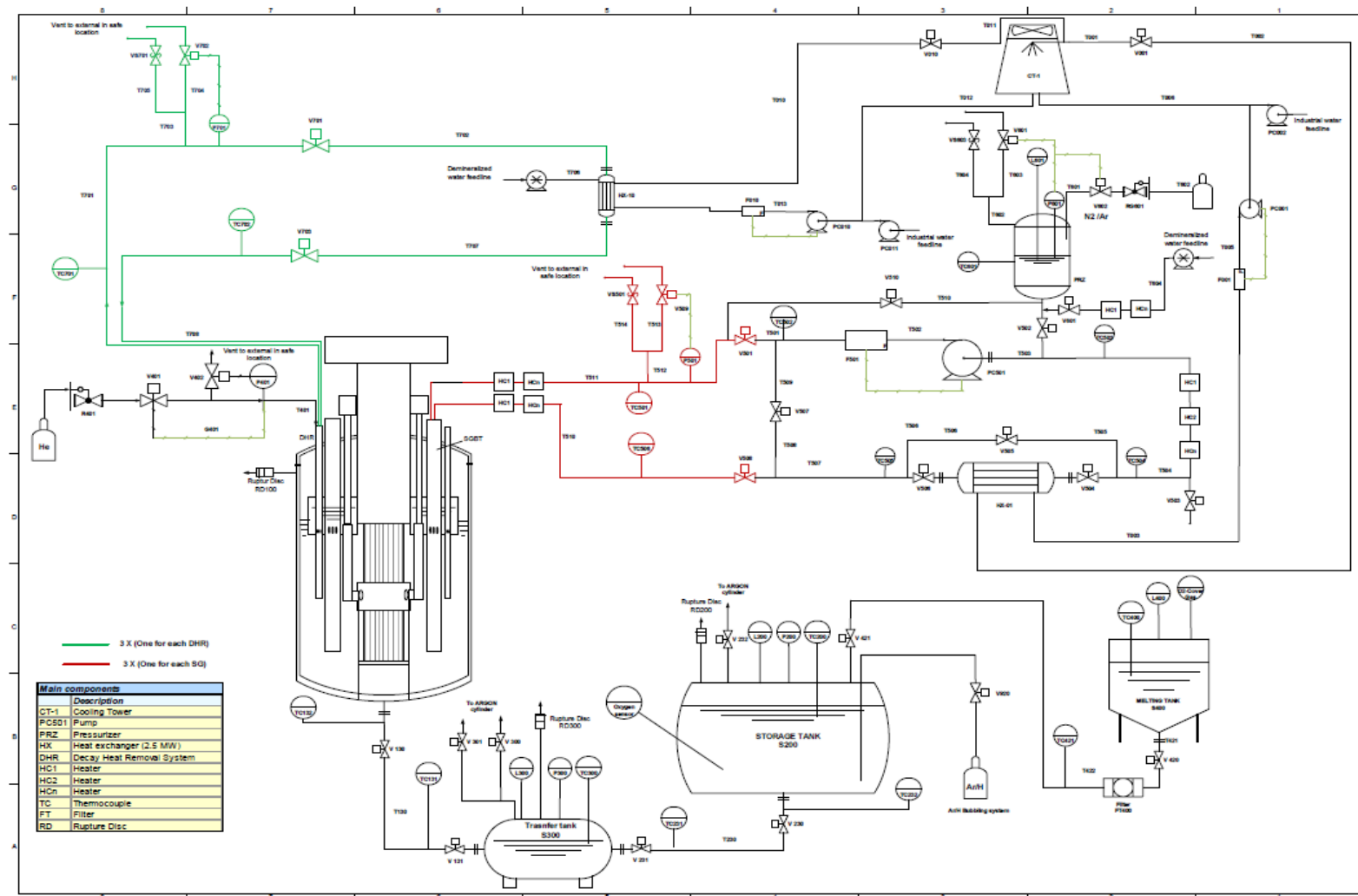


Fig. 7.3.1 Schema de functionare a instalatiei experimentale ELF (P&ID) [2]

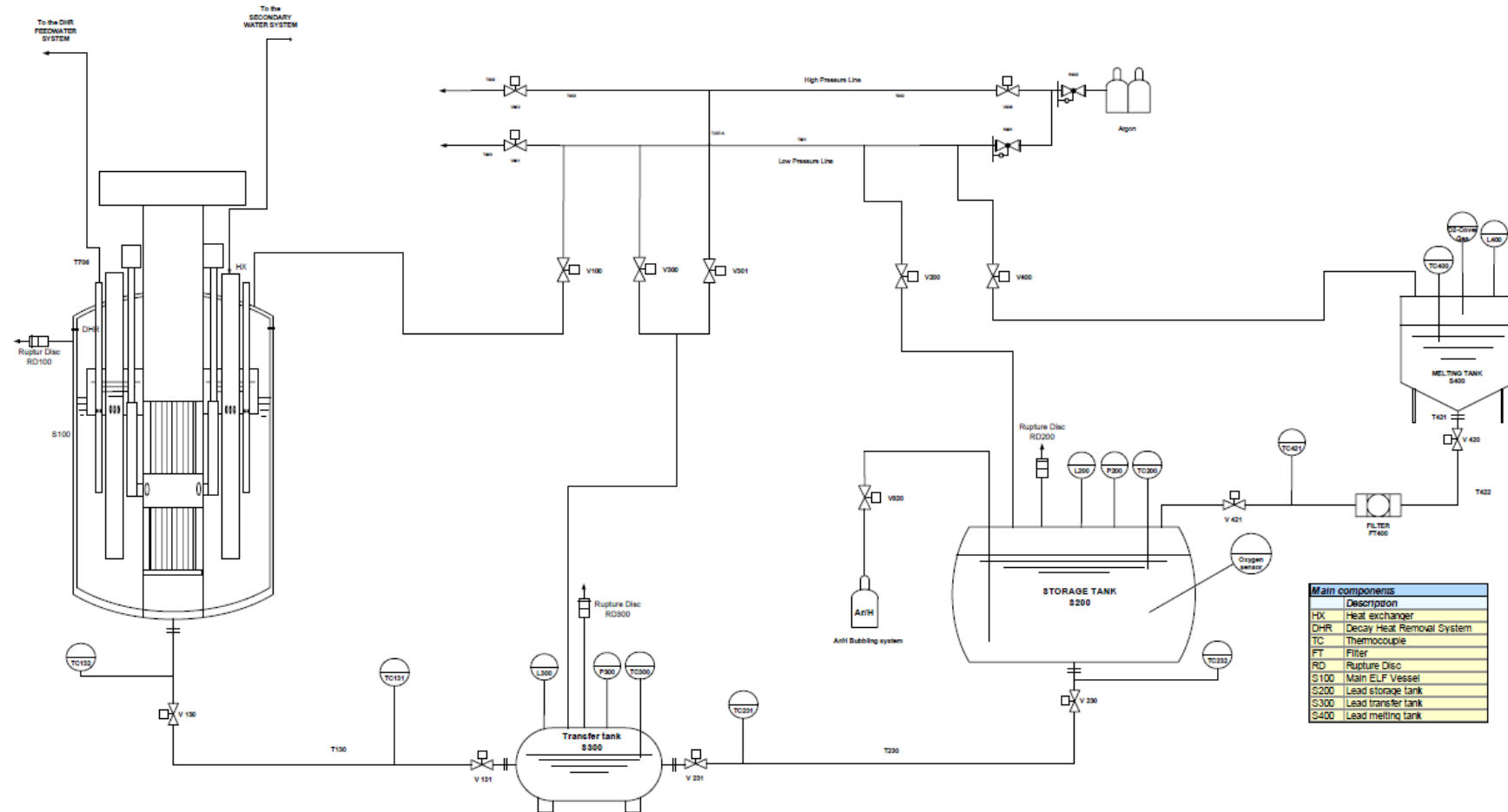


Fig. 7.3.2 Schema de unulare si golire al instalatiei experimentale ELF (P&ID) [2]

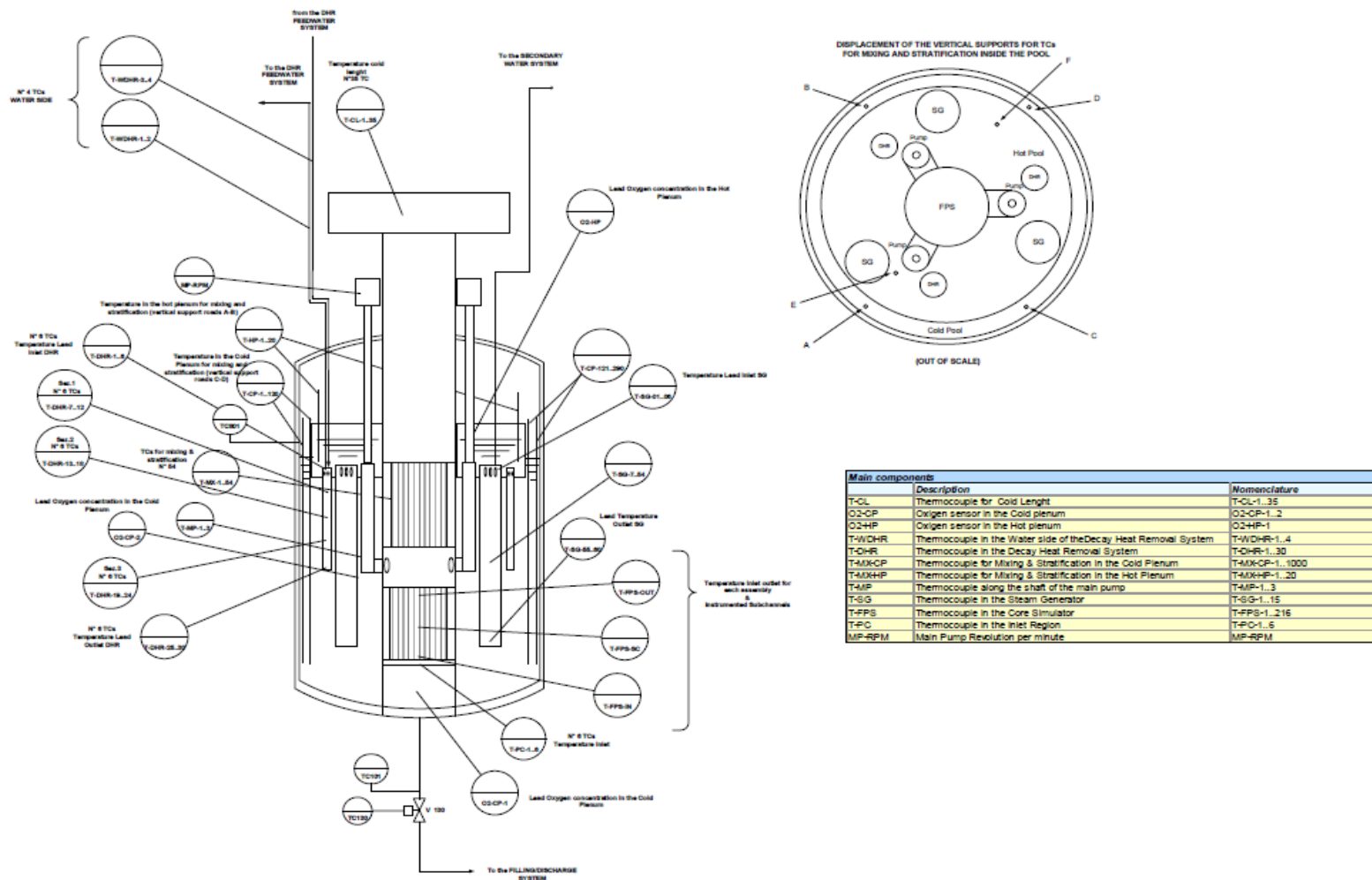


Fig. 7.3.3 Instrumentatia vasului principal al instalatiei experimentale ELF (P&ID) [2]

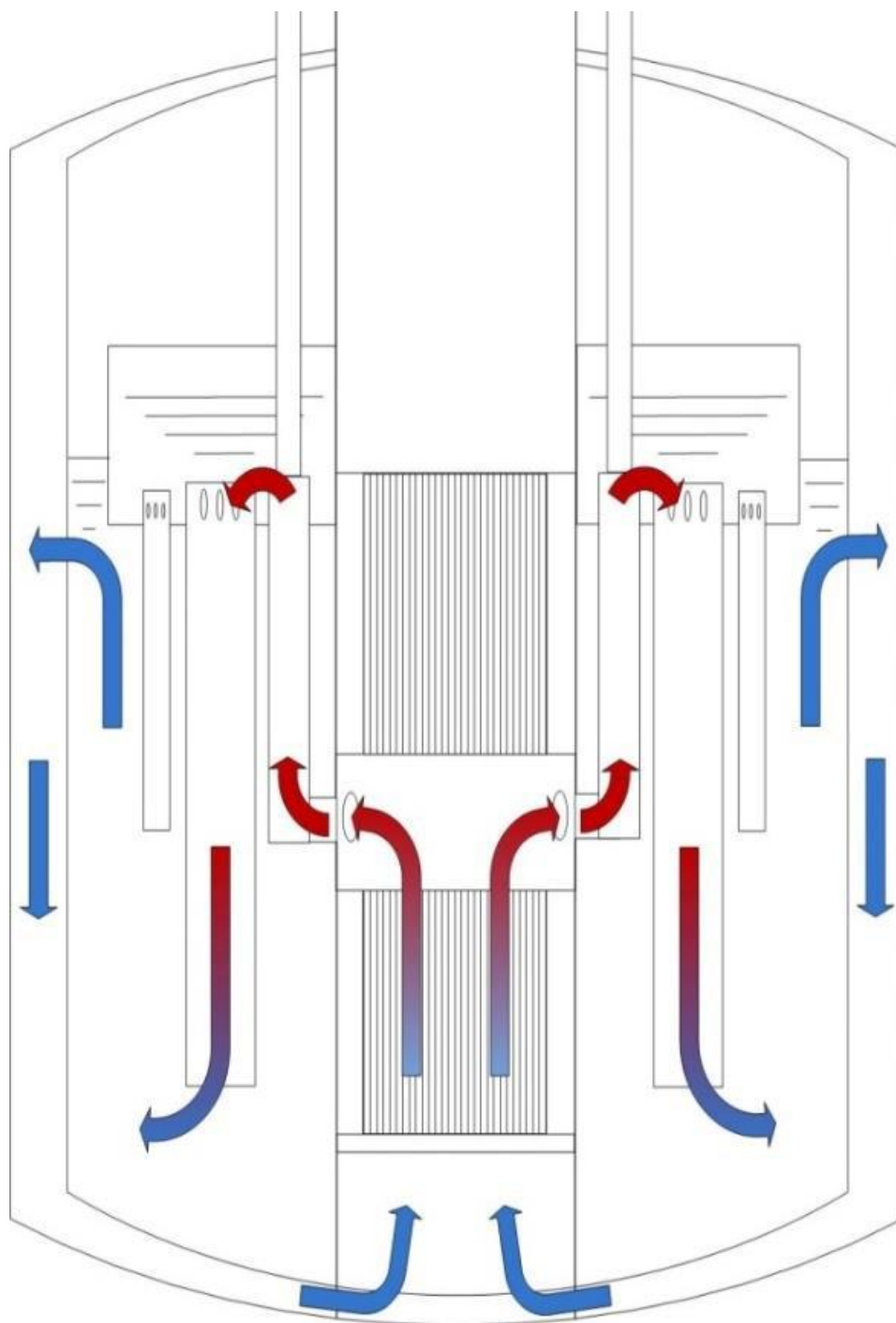


Fig. 7.3.4 Caile de curgere ale plumbului
in interiorul vasului principal, S100

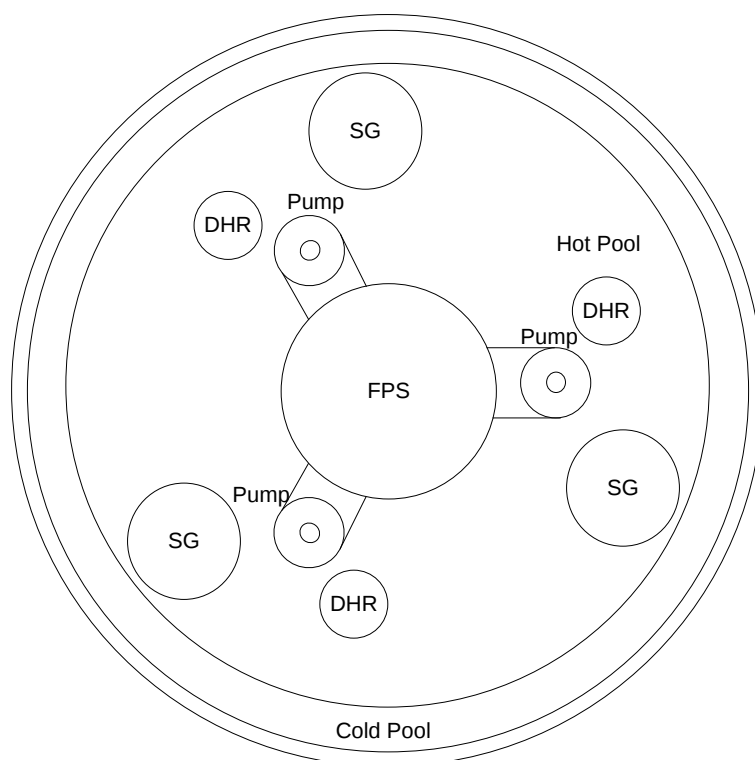


Fig. 7.3.5 Poziționarea radială a principalelor componente ale instalației experimentale ELF

7.3.1 Aspecte operationale ale circuitului primar ELF

În această secțiune sunt descrise procedurile pentru umplerea și drenarea [4] sistemului primar al instalației ELF. Acestea se referă la următoarele:

- (1) pre-oxidarea structurilor interne,
- (2) secvența de condiționare a gazelor (inertizare),
- (3) pre-încălzire,
- (4) prepararea agentului derăcire (topirea și purificarea plumbului),
- (5) umplerea cu plumb a instalației,
- (6) drenarea plumbului.

7.3.1.1 Preoxidare

Din cauza acțiunii corozive a plumbului topit, se recomandă pre-oxidarea, înainte de umplerea instalației pentru prima dată. Scopul acestei proceduri este de a crea un strat protector pe toate structurile metalice care intră în contact cu metalul lichid.

Această procedură se realizează prin preîncălzirea sistemelor de interes ale instalației la 250-450°C și expunerea acestora la aer timp de 24-48 ore. Limita superioară a

temperaturii este de obicei limitată de temperatura maximă de funcționare a instrumentației deja instalate pe sistem. Această procedură se realizează prin „spălarea” vasului principal și a vaselor de depozitare și transfer cu argon încălzit, în vreme ce pentru conducte se folosește încălzirea electrică. Argonul încălzit va asigura o încălzire uniformă a interiorului vasului principal, reducând astfel încărcările suplimentare datorate stresului termic.

Mai mult, rampa de variație a căldurii trebuie să fie scăzută (de exemplu, 1°C/min) pentru a rezulta o distribuție uniformă a temperaturii și în interiorul componentelor.

Este demn de remarcat faptul că, în timp ce rezistența structurilor la coroziune este îmbunătățită, are loc o reducere a udării componentelor. Ca urmare, instrumentele care depind de umectare (debitmetru magnetic, pompe magnetice etc.) se pot deteriora după oxidare. Astfel de echipamente ar trebui protejate în această fază sau, mai bine, instalate după preoxidarea sistemului.

7.3.1.2 Purjarea cu gaz inert

Condiționarea cu gaz (denumită și procedeu prin degazare) este o procedură necesară pentru a purja sistemele cu un gaz inert (de exemplu argon) pentru a reduce concentrația de oxigen înainte de preîncălzire.

Temperatura necesară în sistem este aceeași temperatură atinsă în faza de peroxidare și poate fi efectuată după aceasta. Această procedură evită oxidarea suplimentară a materialului structural în următoarea etapă (preîncălzire). Mai mult, inertizarea evacuează/reduce urmele de oxigen din sisteme pentru faza de umplere succesivă, prevenind posibilă interacțiune între plumb și O₂ și formarea oxizilor de plumb.

Această procedură poate fi realizată evacuând aerul din instalație folosind o pompă de vid, urmată de spălarea instalației cu gaz inert. Conform practicilor experimentale, vidul atins în instalațiile HLM este de ordinul 10⁻¹ mbar. Cu toate acestea, această valoare poate fi crescută dacă proiectarea elementelor interne pentru această presiune este problematică. În acest caz, procedura va dura mai mult și se va repeta până când concentrația de oxigen monitorizată atinge concentrația dorită de O₂.

Conexiunile de vid sunt de obicei instalate în compartimentul gazului de acoperire. În orice caz, amplasarea ar trebui să împiedice întotdeauna orice flux de lichid de proces în sistemul de alimentare cu gaz.

7.3.1.3 Preîncălzirea

Secvența de preîncălzire este necesară înainte de a transfera plumbul topit în instalație, pentru a evita șocurile termice precum și orice problemă de solidificare a metalelor lichide pe suprafețe mai reci.

Preîncălzirea se face de obicei cu cabluri de încălzire electrice instalate pe suprafața exterioară a conductelor și a recipientelor. Se recomandă efectuarea preîncălzirii la

viteze controlate sau în etape (de exemplu, limitarea ratelor de rampa de reglare a căldurii la 1°C/min [4]). Vitezele excesive de încălzire ar putea duce la o distribuție neuniformă a temperaturii, ceea ce ar produce stresuri termice care, în cele din urmă, ar putea provoca defecțiuni ale unor componente, cum ar fi, de exemplu, senzorul ceramic din sondele pentru oxigen.

7.3.1.4 Prepararea agentului de răcire

Plumbul este de obicei livrat sub formă de lingouri turnate, acestea trebuind topite pentru a fi introduse în instalație.

Referindu-ne la instalații mari, care necesită un volum semnificativ de plumb topit, este necesar să fie prevăzut un vas de topire dedicat, iar utilizarea acestuia să fie stabilită procedural cu posibilități de topire continuă sau în loturi.

Procedura de topire continuă are două avantaje principale:

- reduce dimensiunile rezervorului de topire,
- reduce intervalul de timp al procedurii de topire.

La ENEA Brasimone R.C au fost dezvoltate proceduri de topire continuă pentru instalații mari.

Vasul de topire (Figura 7.3.1.4.1) are o formă cilindrică cu 5 conducte verticale care trec prin capul eliptic. Fiecare țevă este închisă de o flanșă oarbă. Încărcarea se face prin introducerea lingourilor în interiorul conductelor (spre exemplu, 20 de lingouri).

În interiorul vasului, lingourile sunt cufundate în metalul lichid. Nivelul de plumb topit nu va fi niciodată mai mic decât nivelul sifonului evidențiat în figura 7.3.1.4.1 (pentru aplicația descrisă lichidul de răcire este transferat prin gravitație în rezervorul de transfer). Sifonul are scopul de a evita transferul de oxid plutitor și de impurități sau materiale organice utilizate în matrițele de fabricare a lingourilor către rezervorul de transfer.

Fiecare țevă are patru găuri în zona gazului de acoperire din interiorul vasului pentru a evita creșterea nivelului metalului topit atunci când conductele sunt deschise și pentru a se asigura că nu va intra aer în vas în timpul încărcării lingourilor.

Timpul necesar pentru topire este redus prin folosirea procedurii de topire continuă. În acest mod se evită consumul de timp pentru răcirea vasului înainte de a-l deschide pentru încărcarea următorului lot.

Procedura de topire trebuie efectuată la o temperatură cât mai scăzută (la aproximativ 380-400°C pentru plumb), fără a risca solidificarea locală. Concentrația de saturație a impurităților din interiorul topiturii scade odată cu temperatura, prin urmare, reducerea temperaturii în timpul procedurilor de topire și transfer, reduce cantitatea de impurități dizolvate în topitură și transportată în instalație. Mai mult, pentru a reduce

contaminarea cu O_2 , topirea ar trebui să fie efectuată sub un gaz inert mai greu, cum ar fi argonul.

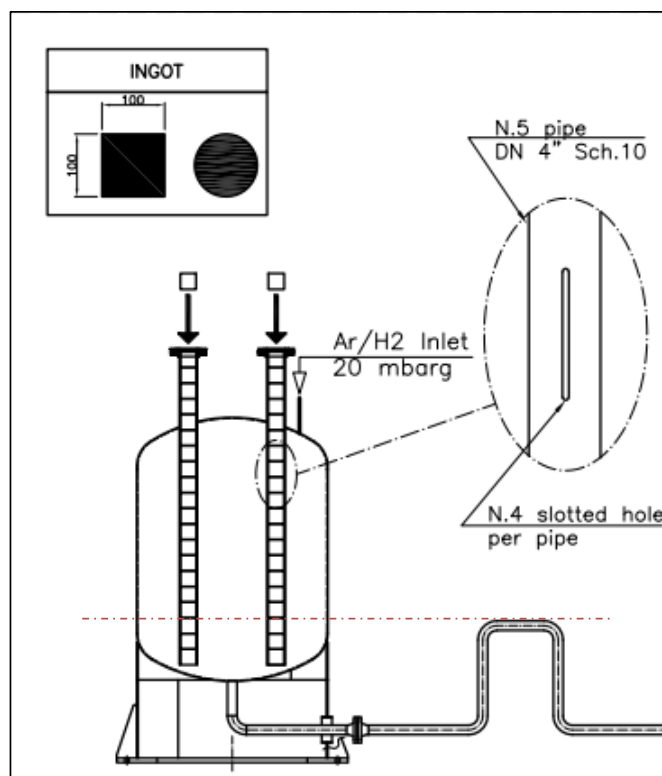


Fig. 7.3.1.4.1 Vasul de topire

Pentru etapa de topire a plumbului în instalația experimentală ELF sunt prevăzute 25 de procese.

Se recomandă să se procedeze la purificarea lichidului de răcire înainte de procedura de umplere, efectuând o deoxidare a plumbului topit. Această procedură ar putea fi realizată în rezervorul de depozitare, unde ar trebui instalat un sistem adecvat de condiționare a oxigenului. În timpul procedurilor inițiale de pornire, plumbul trebuie purificat pentru a îndepărta excesul de oxigen provenit de la lingourile de plumb și din gazele adsorbite de pe pereții structurali din oțel.

Pe baza experienței anterioare cu privire la controlul oxigenului din ENEA în rezervorul de stocare a plumbului (teste în bucla HELENA1 [5]), sistemul de control al oxigenului ar trebui să prevadă un sistem de injecție a unui amestec de $Ar + H_2$ care să barboteze direct în interiorul plumbului topit. În ELF acest lucru este prevăzut pentru rezervorul de stocare, în timp ce pentru vasul principală, este prevăzută o buclă externă care să fie relevantă pentru demonstratorul ALFRED.

7.3.1.5 Incarcarea plumbului în vasul principal

În cele ce urmează este descris sistemul de umplere și drenare (a se vedea Figura 7.3.2).

Volumul rezervorului de depozitare (S200) este cu 20% mai mare decât volumul plumbului conținut în vasul principal (S100). Plumbul topit este ales în partea inferioară a vasului de topire (a se vedea figura 7.3.1.4.1) și este transferat gravitațional în rezervorul de stocare, trecând prin conductele cu configurația din figura, acționând ca un filtru pentru a evita transportul accidental de oxizi de plumb.

Atât rezervorul de topire cât și cel de transfer sunt conectate la conducta de argon de joasă presiune necesară pentru furnizarea gazului de acoperire. În rezervorul de stocare, sistemul OCS este amplasat ca în Figura 7.3.1. Rezervorul de depozitare este de asemenea echipat cu senzori de nivel pentru a monitoriza transferul lichidului topit din rezervor în rezervorul de transfer.

Plumbul topit este transferat prin gravitație de la rezervorul de depozitare la rezervorul de transfer. Este recomandabil să se mențină rezervorul de transfer la o presiune puțin sub cea necesară pentru umplerea rezervorului de transfer. Procedând astfel, viteza fluidului este redusă în timpul procedurii de umplere. Rezervorul de scurgere este instalat în partea inferioară a instalației, iar intrarea liniilor de argon de joasă și înaltă presiune este plasată în capac. Este esențială monitorizarea nivelului fluidului din rezervorul de transfer cu ajutorul senzorilor de nivel.

Umplerea instalației experimentale din rezervorul de transfer se face prin presurizarea rezervorului de transfer cu Argon. La fiecare lot transferat, se recomandă să nu se scurgă complet conținutul rezervorului de transfer, pentru a reduce posibilitatea introducerii de oxizi solizi flotanți în instalație.

Pentru a minimiza costurile, fiind proiectat să reziste la presiuni mari rezervorul de transfer, este mai mic decât rezervorul de depozitare. Dezavantajul acestei soluții este că procesele de transfer vor necesita ceva mai mult timp, fiind necesar un număr mai mare de pași pentru finalizarea transferului. În urma acestei strategii, numărul proceselor de transfer pentru faza de umplere a vasului principal al instalației ELF este de aproximativ 30.

Conducta care leagă rezervorul de transfer și vasul principală este conectată la camera inferioară astfel încât vasul este inundat de jos. Procedura de umplere este considerată finalizată odată ce senzorul de nivel, instalat în interiorul vasului principal, indică nivelul necesar de atins.

7.3.1.6 Golirea plumbului din vasul principal

În diagrama schema P&ID prezentată anterior (Fig. 7.3.2) din cauza volumului mai mic al rezervorului de transfer comparativ cu volumul vasului principal (precum și nivelul de amplasare al rezervorului de depozitare) sunt prevăzute numai proceduri de drenare controlate manual. Pentru scurgerea de urgență (în funcție de gravitate), este

nevoie de o secvență automată facilitată de poziționarea rezervorului de depozitare la un nivel mai scăzut comparativ cu vasul principal și realizarea unei conexiuni printr-o conductă de drenaj de urgență dedicată, ocolind rezervorul de transfer.

Procedura de scurgere manuală poate fi considerată ca procesul invers al procedurii de umplere.

Operatorul care acționează supapa de scurgere permite scurgerea fluidului sub influența gravitației în rezervorul de transfer. Trebuie luate măsuri de precauție care să vizeze reducerea vitezei de curgere a fluidului de la rezervorul principal la rezervorul de transfer prin reducerea suprapresiunii gazului de acoperire din vasul principal și prin menținerea de transfer la o presiune ușor sub cea necesară pentru umplerea rezervorului de transfer.

Pentru a iniția în siguranță procedura de scurgere, trebuie verificate următoarele cerințe:

- (1) toate pompele mecanice sau sistemele de circulație forțată trebuie oprite,
- (2) toate sistemele de răcire trebuie oprite pentru a evita riscul de solidificare,
- (3) toate robinetele, cu excepția robinetului de evacuare principal, trebuie să fie deschise pentru a drena complet instalația,
- (4) elementele de încălzire, cum ar fi simulatoarele electrice ale casetelor (cu excepția cablului de încălzire) ar trebui să fie oprite pentru a evita temperaturile care pot deteriora sistemele de încălzire,
- (5) plenul superior al vasului principal trebuie să fie conectat la linia de Argon pentru a elimina formarea de goluri în vasul principal.

Ulterior, prin presurizarea rezervorului de transfer, lichidul este transferat în rezervorul de depozitare. Toate conductele de transfer trebuie să fie preîncălzite și monitorizate în vederea evitării șocurilor termice.

7.4 Evaluări termohidraulice pentru circuitul primar al instalației ELF

Secțiunea curentă prezintă o evaluare semi-analitică a transferului de căldură și a pierderilor de presiune în instalația experimentală ELF. Analiza este limitată la circuitul primar (partea cu plumb) și la principalele sale componente. Pierderile de presiune ale diferitelor componente ale instalației vor fi modelate mai întâi analitic și apoi vor fi evaluate în regim de circulație forțată și naturală.

7.4.1 Simulatorul zonei active

Simulatorul zonei active este un model reprezentativ de înălțime la scară 1: 1 în raport cu zona activă a demonstratorului ALFRED. Casetele de combustibil simulate în ELF reproduc exact regiunea varfului de fixare a casetei în grila inferioară (Spike), porțiunea inferioară a casetei (corespunzătoare zonei active), precum și orificiile de



ieșire. Portiunea din zona îngustată (Funnel) nu este reprodusă de caseta simulată din cauza soluției tehnice de continuare a pinilor electrici până la flanșa de cuplare a vasului unde se realizează conexiunile electrice. Simulatorul de zona activă (CS) este alcătuit dintr-un total de 31 de casete (S/As) dispuse într-o grilă triunghiulară pentru a forma un pseudo-cilindru. În secțiune radială avem două regiuni concentrice: regiunea activă centrală, compusă din 16 casete de combustibil (FA), 1 secțiune In-pile (IPS) și 2 bare de control (CR), care sunt înconjurată de 12 casete de reflector (DA).

Din punct de vedere al plasării în plumbul lichid casetele vor avea atât partea activă cât și cea non-activă a pinilor cufundată în plumb pentru a asigura răcirea, în timp ce peste nivelul liber de plumb și în afara flanșei vor rămâne doar terminatiile de conectare. Acestea vor fi răcite de un circuit închis de răcire utilizând gaz (estimativ este nevoie de o evacuare de căldură de aproximativ 1% din puterea nominală a zonei simulate).

Fiecare caseta este alcătuită dintr-un pin central (pin neutru, neîncalzit electric) și 36 de pini electrici caracterizați printr-un diametru exterior de 10,5 mm și o lungime activă de 810 mm, așezat într-o grilă hexagonală. În total în zona activă simulată sunt prezenți 576 de pini electrici. Temperatura medie de intrare a plumbului este de aproximativ 400°C, în timp ce temperatura medie la ieșirea CS este de aproximativ 520°C.

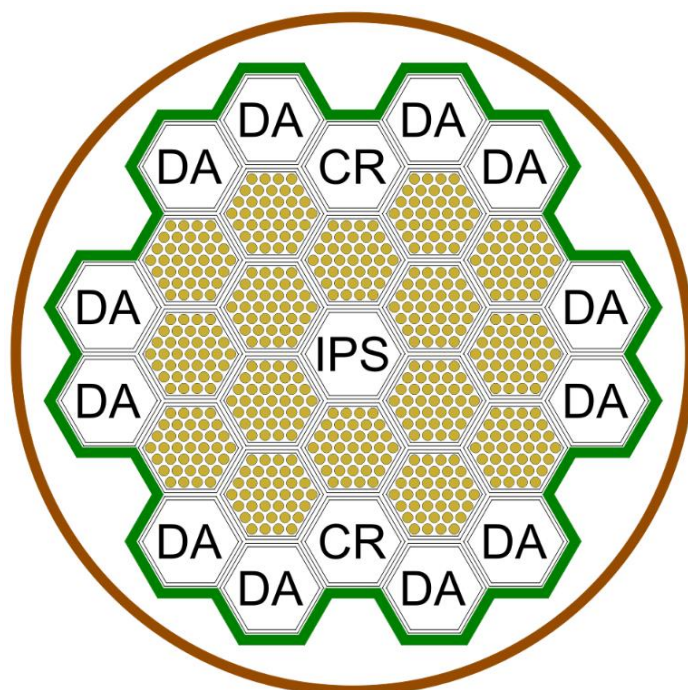


Figura 7.4.1.1 Structura geometrică a zonei active simulate, secțiune transversală în zona centrală

Simulatorul zonei active este înconjurat de un reflector care urmărește perimetrul casetelor periferice, reproducând în acest fel zona de reflector din ALFRED. În ALFRED zona de reflector are rolul de a reduce scurgerile de neutroni, dar și de a realiza constrangerile mecanice radiale și de a reduce drastic efectul de ocolire a fluxului de agent de racire mai rece către regiunea exterioară zonei active (spațiul dintre zona și carcasa cilindrică). În figura 7.4.1.1 este prezentată o schiță a secțiunii transversale prin zona activă simulată (văzută din partea superioară) în regiunea de mijloc.

Zona de curgere poate fi împărțită în mod convențional în subcanale. Subcanalele și pinii care vor fi instrumentați sunt indicați în Figura 7.4.1.2 în portocaliu și, respectiv, în roșu.

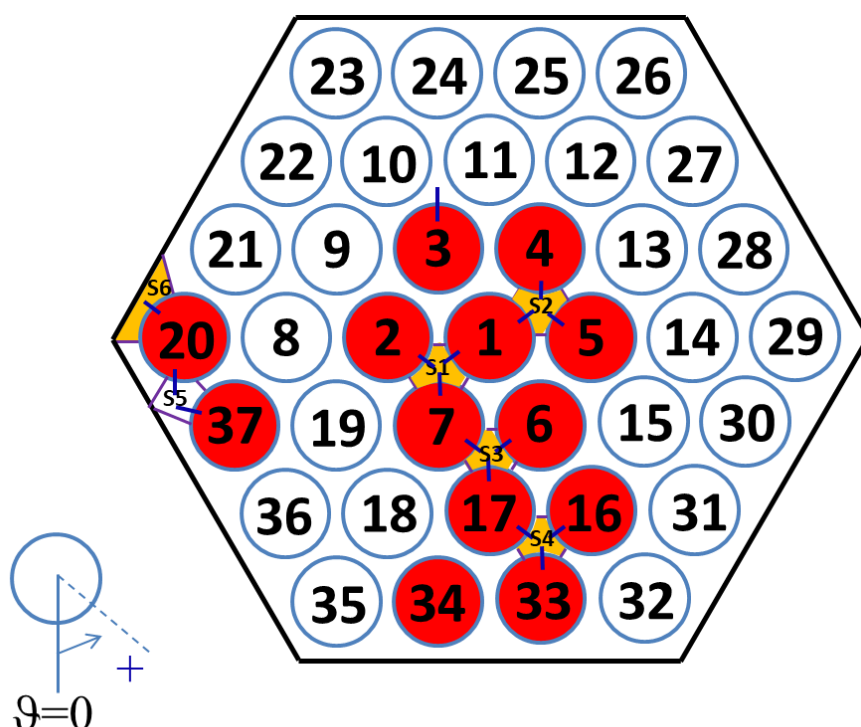


Figura 7.4.1.2 Caseta de combustibil simulată în ELF, în roșu pinii instrumentați, în portocaliu subcanalele instrumentate

Principalele dimensiuni geometrice care trebuie luate în considerare pentru o evaluare termohidraulică la nivel de caseta de combustibil sunt:

- (1) diametrul elementului combustibil, $D = 10.5 \text{ mm}$,
- (2) raportul pas/diametru, $p/D = 1.295$,
- (3) distanța dintre ultimul ring de pini și peretele intern al învelișului
 $\delta_w = D + \delta = 10.5 + 1.916 \text{ mm} = 12.416 \text{ mm}$,
- (4) rețeaua geometrică este de tip triunghiular/hexagonală eșalonată.

Dimensiunea internă a unei casete poate fi calculată ținând cont că apotema pereților interni ai învelișului hexagonal este:

$$a = (N - 1)P \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{D}{2} + \delta = 42.5 \text{ mm} \quad (41) (1)$$

Pentru toate casetele active (incalzite electric), al doilea ring de subcanale este monitorizat prin termocuple plasate în volum și pe pereți, această alegere fiind justificată de faptul că pinul central nu este incalzit și, prin urmare, distribuția temperaturii în primul ring este perturbată. Pentru unele casete subcanalele laterale sau cele de colț sunt monitorizate, în acest fel putând fi studiată influența casetelor vecine asupra distribuției temperaturii.

Termocuplele vor fi distribuite astfel:

- (1) caseta 7 este instrumentata pentru toate rândurile de subcanale, inclusiv subcanalele laterale și de colț, iar pinul 3 este echipat cu 18 termocuple palaste pe diectia de curgere; caseta.7 va permite măsurarea coeficienților de transfer de căldură pentru diferite ringuri de elemente combustibile,
- (2) toate cele 16 casete sunt echipate în subcanalul de nivel doi (ringul 2) cu termocuple înglobate în perete, precum și cu termocuple plasate în volumul de lichid,
- (3) efectul secundar și transferul de căldură între casete vor fi studiate între casetele 7 și 19, 5 și 6,
- (4) efectul de colț și fenomenele asociate vor fi studiate printre casetele 4-5-13,
- (5) distribuția în zonele de colț între caseta activă și cea neactivă va fi studiată pentru casetele 13 (activa), 24 (ne-activa) și 25 (ne-activa),
- (6) efectul secundar va fi studiat pentru casetele 14 și 5.

Pentru fiecare secțiune de măsurare va fi utilizat un număr total de termocuple de 112, adică pentru întreaga instalație $112 \times 4 + 18 = 466$ termocuple.

7.4.2 Generatorii de abur

Fiecare din cei trei generatori de aburi (SG) consta dintr-o incintă care găzduiește un anamblu de tuburi de tip baionetă. Pentru a realiza un transfer eficient de caldura a fost selectata modalitatea de funcționare în contra-curent. Fluidul fierbinte (plumb) este circula pe partea dinspre incinta, iar fluidul rece (apa) pe partea ansamblului de tuburi de tip baioneta. Ca material de baza pentru generatorul de abur a fots ales oțelul inoxidabil AISI-316L.

Fiecare SG constă din 37 de tuburi de tip baionetă avand o lungime de 6 m. Alimentarea cu apă se face sub presiune (180 bar). Fiecare SG are o putere termică de

aproximativ 3,33 MW. Schimbătorul de căldură este de tip inovativ, este reprezentativ pentru un generator de aburi ALFRED (pentru lungime scara este de 1: 1).

Fiecare tub de baionetă este compus din trei tuburi coaxiale: interstiul dintre tubul exterior și cel din mijloc definește inelul de circulație al apei fierbinti, în timp ce interstiul dintre tubul mijlociu și tubul interior este umplut cu aer pentru a evita schimbul de căldură între alimentarea cu apă rece care curge în jos prin tubul interior și apa fierbinte care se vaporizează de-a lungul regiunii inelare (Fig. 7.4.2.1).

Sarcinile experimentale principale ale SG din instalația ELF sunt legate de caracterizarea performanțelor termohidraulice, pe termen lung, de furnizarea unei baze de date consistente pentru validarea codurilor de calcul.

În acest scop, SG este instrumentat corespunzător astfel încât să permită realizarea de măsurători exacte pentru a investiga toate fenomenele de interes în diferite condiții operaționale (pierderi de presiune, regimuri de conducție și convectiv, instabilități termohidraulică etc.).

Detaliile ansamblului de tuburi de tip baionetă din ELF sunt prezentate în Figura 7.4.2.2.

Structura ansamblului este următoarea:

- (1) o flanșă superioară cu 37 de orificii pentru a fixa tuburile de tip baionetă și un orificiu pentru instrumentație. Are următoarele funcții: conectează sistemul de tuburi baionetă ale SG cu componenta S100 și susține camera pentru abur, tuburile de baionetă și invelisul cilindric.
- (2) camera de abur care găzduiește aburul supraîncălzit și conține apa de alimentare. Este constituit practic dintr-un tub cu acoperiș complet.
- (3) pachetul de tuburi de baionetă, cu o lungime activă egală cu 6000 mm. (vezi Figura 7.4.2.2).

Unitatea SGBT este cuprinsă într-un invelis dublu compus din:

- un înveliș cilindric prevăzut cu distanțieri (pentru a menține un spațiu dat între învelișul interior și cel exterior) cu șase orificii realizate în înveliș în partea de sus a lungimii active. Orificiile sunt proiectate pentru a fi amplasate în distribuitorul cilindric al ELF, fiind complet scufundate în plumbul care alimentează unitatea SGBT;
- un cilindru exterior care este situat sub orificii, concentric cu învelișul hexagonal. Acesta este ermetizat în partea de jos și în partea de sus pentru a asigura un spațiu umplut cu aer pentru a evita schimbul de căldură între bazinul S100 și unitatea SGBT. Invelisul extern include un compensator termic pentru a realiza adaptarea la alungirea diferită a giulgiului și înveliș.

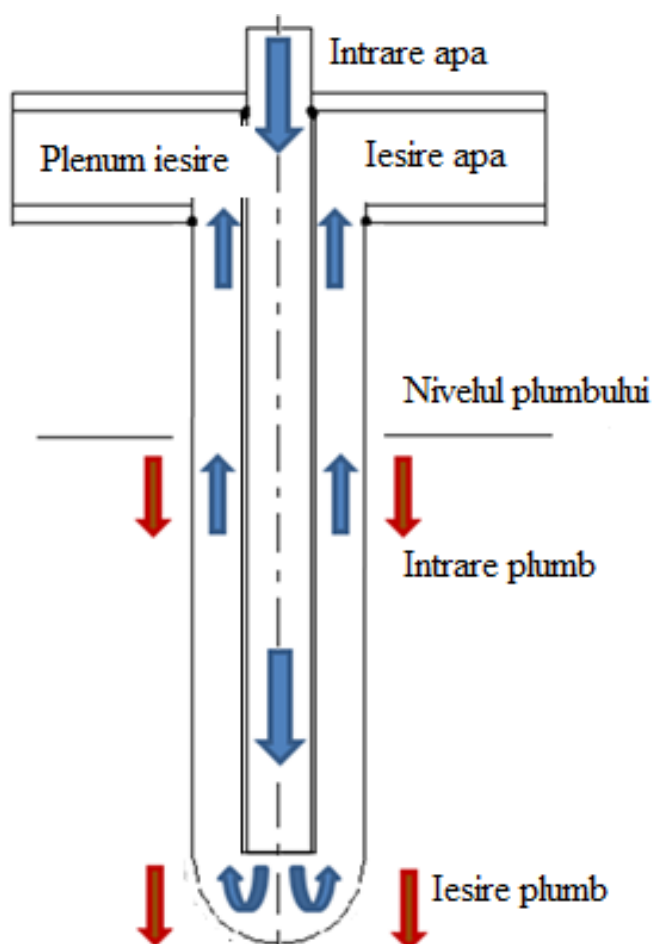


Fig.7.4.2.1 Schema de funcționare a tuburilor de tip baioneta din SG

În Tabelul 7.4.2.1 și în Tabelul 7.4.2.1 sunt prezentate condițiile de operare și respectiv parametrii geometrici principali ai fiecărui SGBT.

Folosind expresia puterii termice și variația de temperatură, este posibil să se calculeze debitul de masă pentru ambele fluide ca:

$$\dot{m}_{pb} = \frac{P_w}{C_{p,pb} (T_{pb,in} - T_{pb,out})} \quad (2)$$

$$\dot{m}_{H_2O} = \frac{P_w}{h_{out} - h_{in}} \quad (3)$$

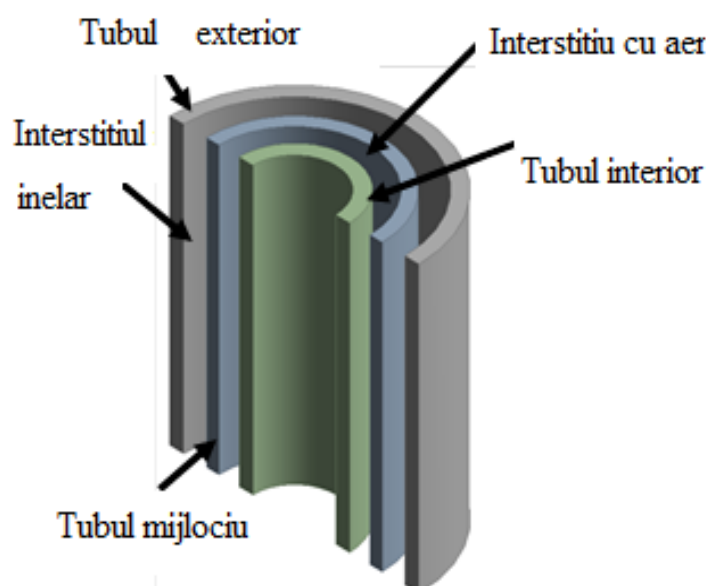


Fig.7.4.2.2 Detalii structura geometrica pentru tuburile de tip baioneta

Tabelul 7.4.2.1 Parametri principali pentru un SGBT

Partea din Primar	Unit.	Descriere	Partea din Secundar	Unit.	Descriere
Fluid	--	plumb	Apa lichida (intrare)/abur (iesire)	--	Apa- ansamblu de tuburi de tip baioneta
Material structural	--	AISI-316L	Material structural	--	AISI-316L
Transfer de caldura de la plumbul lichid catre tuburi	--	Catre apa in contracurent	Bundle Pitch	--	Triunghiulara cu P/D = 1.422
Debit masic	[kg/s]	191	Debit masic	[kg/s]	2.14
Putere nominala	[MW]	3.33	Domeniul puterii de opearre	--	10-100% din puterea nominala
Temperatura de intrare a plumbului	[°C]	520	Temperatura de intrare a apei	[°C]	335
Temperatura de iesire a plumbului	[°C]	400	Temperatura de iesire a apei	[°C]	450
Presiunea de operare	MPa	0.1	Presiunea de operare	MPa	18
Caracteristici specifice	--	Lungime activa [6 m]	Caracteristici specifice	--	

Tabelul 7.4.2.2 Dimensiunile principale ale unui tub baioneta

	Diametrul interior [mm]	Diametrul exterior [mm]	Grosime [mm]	Material
<i>Alimentare cu apa (tubul interior)</i>	8.09	9.53	0.72	AISI-316L
<i>Interstiul cu aer</i>	9.53	14.11	2.28	Aer
<i>Tubul mijlociu</i>	14.1	15.88	0.89	AISI-316L
<i>Regiunea inelara de circulatie a apei</i>	15.88	19.86	1.99	Apa-abur
<i>Tub exterior</i>	19.86	25.40	2.77	AISI-316L

Pe partea secundară, temperatura apei va fi monitorizată atât la intrarea cât și la ieșirea din SG. Având în vedere lungimea activă de 6 m, sunt prevăzute cinci secțiuni diferite de-a lungul SG, precum și instrumentație cu termocuple în plumb în vederea monitorizării temperaturilor sub-canalului la diferite înălțimi și în secțiunea de intrare, respectiv de ieșire a SG. Pe partea de apă a fiecărui tub de baionetă sunt instalate două termocuple, unul pe centrul canalului tubului interior și unul pe mijlocul canalului inelar extern, în plus, încă un termocuplu este instalat în centrul canalului (partea de plumb) plasat în partea stângă a tubului considerat.

În Fig. 7.4.2.3 este prezentată structura geometrică, în secțiune transversală a SGBT, iar în Tabelul 7.4.2.3 sunt prezentate datele geometrice principale.

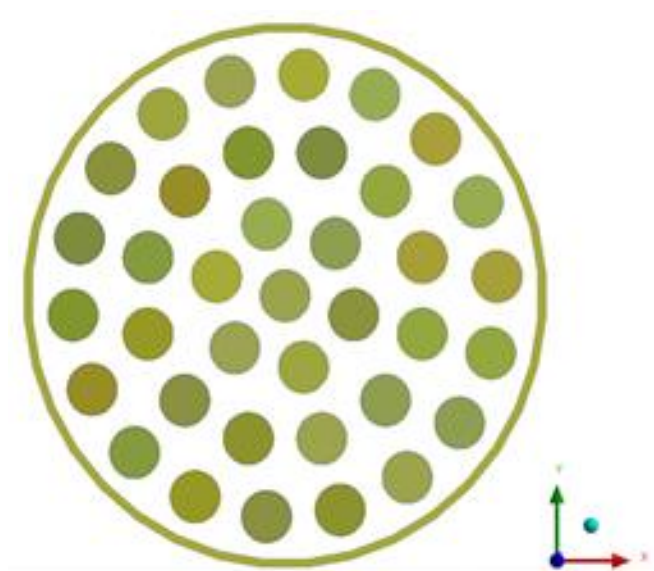


Fig.7.4.2.3 Secțiune transversală prin SGBT

Tabelul 7.4.2.3 Date geometrice pentru SGBT

Diametru, D [m]	0.0254
Pas [m]	0.03556
Pereti	AISI-316L 10" Sch.40
Diametrul exterior [m]	0.273
Grosime [m]	0.00927
Aria de curgere [m ²]	0.0321

7.4.3 Sistemul de evacuare a caldurii reziduale, DHR

Sistemul de îndepărtare a căldurii de dezintegrare (DHR), este compus din trei schimbătoare de căldură, fiecare fiind proiectat pentru o putere termică de 500 kW (reprezentând 5% din puterea termică maximă CS). Un singur DHR este compus dintr-un colector de alimentare cu apă, 61 de tuburi de baionetă, un colector exterior și un plenum de gaz, cu o geometrie similară cu cea a SG principal. Fiecare tub de tip baioneta este compus din trei cilindri coaxiali: interstițiul dintre tubul interior și cel din mijloc definește inelul de curgere pentru apă, în timp ce golul dintre tubul mijlociu și cel exterior este umplut cu Helium. Bucla DHR este cuplată prin schimbătorul de căldură HX-10 (Figura 7.4.3.2) la bucla intermediară, unde turnul de răcire reprezintă sursa rece a sistemului.

În cele ce urmează sunt enumerați parametrii principali care caracterizează schimbătorul de căldură:

- Ansamblu te tuburi baioneta: grilă cilindrică
- Numărul de tuburi baionetă: 61
- Pasul tuburilor de baionetă: 33 mm
- diametrul exterior: 12 ", Sch. 40
- Lungimea 'shell': 3500 mm
- diametrul exterior al tubului interior 12,70 mm, grosimea 3,10 mm
- diametrul exterior al tubului din mijloc 19,05 mm, grosimea 2,11 mm
- diametrul exterior al tubului periferic 25,40 mm, grosimea 2,11 mm
- lungime activă a tuburilor de tip baioneta 3200 mm
- grosimea interstițiului cu: 1,06 mm
- presiunea heliului (la 20°C): 4,5 bar
- fluidului de lucru pe partea carcasei: plumb

- lichid pentru racire circuit secundar: apă demineralizată de joasă presiune
- temperatura minimă de intrare a apei la 27 ° C
- presiunea maximă: 3,5 bar

Sistemul DHR va fi operat în condiții de circulație naturală. Odată ce circuitul DHR este activ, supapele V701 și V703 vor fi deschise. Presiunea maximă realizabilă în buclă va fi reglată de supapa V702, acționată de traductorul de presiune P701 (presiunea de proiectare a circuitului este de 3,5 bar). Temperatura minimă de intrare a apei DHR este legată de temperatura de intrare a apei în schimbătorul de căldură HX-10, care este funcția de temperatura WBT (wet-bulb temperature) presupusa a fi de aproximativ 22,5°C (ASHRAE Climate Data Center). Cel mai bun compromis între eficiență și economie pentru turnul de răcire este dat de o temperatură a apei de ieșire cu aproximativ 4-5°C mai mare decât WBT (~ 27°C).

În ceea ce privește debitul de masă al apei, valoarea obținută în condiții de echilibru de stare depinde de arhitectura finală a buclei și de inventarul total al apei din circuit.

Sistemul DHR (Fig. 7.2.1 și Fig. 7.4.3.1) va fi conectat la o linie de apă cu presiune joasă. Va fi amplasat începând de la regiunea fierbinte a piscinei și terminând cu interiorul bazinului rece, definind astfel o cale de curgere a plumbului.

De-a lungul lungimii active a DHR, cinci secțiuni diferite vor fi instrumentate având în vedere includerea secțiunii de intrare și a secțiunea de ieșire a lichidului de răcire.

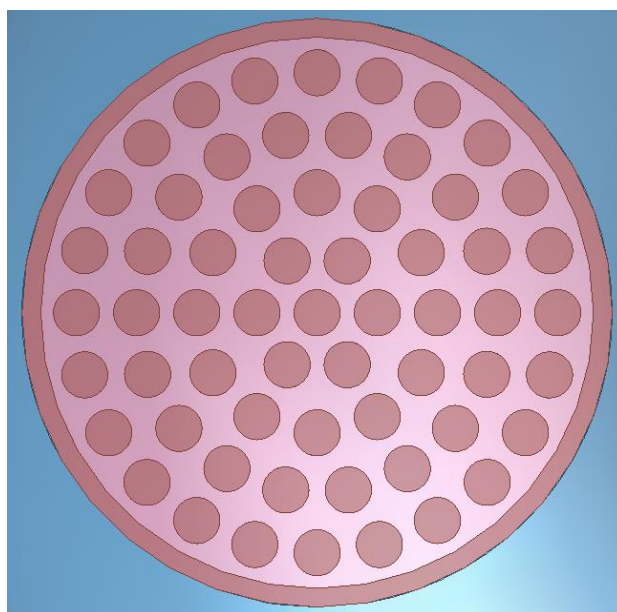


Fig. 7.4.3.1 Secțiune prin ansamblul de tuburi din DHR

7.5 Sistemul intermediar si sistemul secundar

Partea secundară a instalației experimentale ELF este un circuit de tip buclă închisă, alimentat cu apă demineralizată și conectat termic la o buclă intermediară pentru a descărca căldura în mediu (turnul de răcire). În condiții de lucru normale, apa din circuitul secundar este presurizată la ~ 180 bar ($T_{sat} \sim 357^{\circ}\text{C}$) și preîncălzită la 335°C la intrarea în SGBT (vezi Tabelul 7.4.1). P&ID-ul buclei secundare este prezentat în Figura 7.4.1. Principalele componente sunt:

- (1) trei SGBT, fiecare capabil să elimine 3,33 MW din piscina cu plumb lichid,
- (2) o pompă centrifugă PC501 care asigură circulația apei, crescând presiunea de la 130 bar la 180 bar
- (3) încălzitoare HC1, HC2 ... HCn pentru încălzirea apei până la temperatura necesară la intrarea în fiecare SGBT și menținerea temperaturii în conductele T510 și T511 atunci când SGBT-urile sunt ocolite (faza de funcționare a DHR),
- (4) o conductă principală și o linie ocolitoare (4 "Sch.160 AISI321), echipată cu reglatoare și vane de izolare,
- (5) o supapă de laminare în aval pentru fiecare SGBT, permițând alimentarea condensatorului la o presiune de 130 bar,
- (6) un schimbător de căldură de tip tub (HX-01600), care funcționează ca condensator, care conectează termic circuitul secundar cu o buclă intermediară (turnul de răcire CT-1).

Bucula intermediară este o buclă monofazică cu apă industrială la 1-2 bar ($T_{in}/T_{out} \sim 27^{\circ}\text{C}/51^{\circ}\text{C}$) destinată evacuării puterii termice din bucla secundară. Acest circuit este echipat cu o pompă centrifugă (PC-001) pentru circulația apei și este conectat la un turn de răcire. Debitul de masă al apei din circuitul intermediar este de ~ 100 kg/s. În bucla intermediară este prevăzută o pompă suplimentară pentru a reumple circuitul cu cantitatea de apă echivalentă cu cea evaporată în turnul de răcire. Puterea termică evacuată de turnul de răcire în condiții nominale este de aproximativ 10 MW, în timp ce în modul DHR cele trei unități sunt proiectate să evacueze 500 kW.

O buclă închisă similară de joasă presiune este prevăzută pentru sistemul de îndepărtare a căldurii, după cum se arată în Figura 7.4.3.2, unde, în locul pompei principale, circulația apei se realizează prin fenomenul de circulație naturală. Procedura de pornire și operare nominală a buclei secundare este descrisă în Tabelul 7.4.2.

Tabelul 7.4.1 Principalii parametri ai buclei secundare

Parametru	Unit.	Valoare
Presiunea de proiectare	bar	200
Presiunea de operare	bar	180
Temperatura de intrare în SG	°C	335
Temperatura de ieseire din SG	°C	450
Puterea nominala	MW	10
Debitul total alapei	kg/s	6.42
Marimea conductei	inch	4
Marimea vanei	inch	2

Pentru a simula un scenariu accidental de pierdere a racirii, postulat (spre exemplu PLSHLF, Protect Loss of Sink Heat with Loss of Flow), puterea electrică furnizată zonei active simulate va fi redusă la aproximativ 5% din puterea nominală, bucla laterală secundară va fi dezactivată și sistemul DHR va fi acționat pentru a îndepărta echivalentul căldurii de dezintegrare. Etapele necesare pentru funcționarea în modul DHR sunt raportate în Tabelul 7.4.3. După ce experimentul simulat a fost considerat finalizat, sistemul trebuie să fie setat în stare de stand-by, așa cum este descris în Tabelul 7.4.3.

Tabelul 7.4.2 Proceduri de pornire și operare pentru instalația ELF

Etapa	Descrierea condițiilor instalației și descrierea pașilor procedurali
Incalzirea apei	- vasul principal este umplut cu Pb la 400°C, - întregul circuit secundar, în afară de SGBT-uri (care sunt goale și ocolite), este umplut cu apă demineralizată la 15 ° C, până la nivelul inferior al condensatorului. În această fază, supapa de izolare V507 de pe liniile de ocolire este deschisă, în timp ce supapele de izolare în amonte și în aval SGBT-urile (V501 și V508 în bucla SGBT din Figura 50) sunt închise, pentru a evita intrarea apei reci în componente. HX-600 este online, deschizând supapele V506 și V504. Supapa V510 de pe linia de aerisire este închisă; supapa de by-pass a condensatorului este închisă (V505); - în timpul pornirii, apa de pe bucla intermediară este menținută în circulație (pornită PC-001) pentru a menține

	temperatura apei la aproximativ 50 ° C, în timp ce CT-1 este oprit; - pompa de circulație PC501 asigură un debit de apă redus funcționând la 10% până la o presiune de 180 bari; apoi presiunea este redusă la 130 bari prin strangularea supapei V507; - elementele de încălzire din aval ale pompei (HC1, HC2,..., HCn) sunt activate la puterea lor maximă, permițând încălzirea temperaturii apei în buclă și a condensatorului până la aproximativ 330 ° C; - când întregul volum de apă din circuit atinge 330 ° C, elementele de încălzire funcționează pentru a menține această temperatură constantă, echilibrând pierderile de căldură prin buclă către mediu;
Atingerea condițiilor nominale	- supapa de izolare V510 de pe linia de aerisire este deschisă, permițând conexiunea hidraulică între SGBT și linia condensatorului. După un regim tranzitoriu inițial, presiunea din interiorul SGBT-urilor atinge echilibrul cu presiunea condensatorului (130 bari). Deoarece temperatura Pb în interiorul HX este de 400 °C și temperatura apei este de 335 °C, o fracțiune de energie este eliberată în apă și aburul produs curge în condensator; - supapele de izolare SGBT sunt deschise. După câteva secunde, supapa de izolare V507 pe linia de bypass și supapa V510 pe linia de aerisire sunt închise. În acest fel, debitul întreg al apei trece prin SGBT și HX-600. Apa intră în SGBT la 180 bar (ieșirea pompei) și la 335 ° C (reglarea temperaturii prin intermediul elementelor de încălzire), apoi, după trecerea peste SGBT, presiunea apei este redusă de la 180 bar la 130 bar prin intermediul a supapei de laminare și intră în HX-600 unde este răcit; - bucla intermediară, inclusiv CT-1, este activată pentru a elimina termica din bucla secundară prin HX-600, reducând astfel temperatura apei până la 330 ° C la intrarea SGBTs; - când energia termică furnizată de zona simulată și temperatura Pb începe să crească, debitul de apă este crescut și el pentru a produce abur supraîncălzit în SGBT, cu o temperatură de ieșire de aproximativ 450°C; - simultan, bucla intermediară este acționată pentru a elimina

	puterea termică din bucla secundară; - atunci când se atinge puterea termică de 10 MW și parametrii nominali în sistemul primar, bucla secundară și bucla intermediară sunt atinse, faza de pornire a instalației poate fi considerată finalizată. - instalația este gata să fie exploatată pentru teste de rezistență și fiabilitate.
Procedura de izolare a schimbatorului de caldura, HX	- zona simulată este la putere scăzută și devit scăzut de Pb; - debitul de apă este redus (până la ~ 10%); - robinetul de izolare V507 de pe linia ocolitoare este deschis; - supapele de izolare SGBT sunt închise. În acest fel, generatoarele de abur sunt ocolite; - se deschide supapa V510 de pe linia de aerisire, conectând SGBT-urile cu linia de supratensiune a condensatorului de presiune. După această procedură, SGBT-urile sunt ocolite, dar rămân în echilibru cu condițiile termodinamice ale condensatorului de buclă.

Tabelul 7.4.3 Modul de operare ELF DHR și procedura de standby

Etapa	Descrierea condițiilor instalației și descrierea pașilor procedurali
Atingerea modului de operare a sistemului DHR	- puterea electrică furnizată zonei active simulate este redusă la aproximativ 5% din puterea nominală. Debitul de apă în bucla secundară este redus în concordanță cu fracția de putere care trebuie eliminată. - Valva de izolare V507 de pe linia de by-pass SGBT este deschisă, în timp ce SGBT-urile sunt ocolite închizând supapele de izolare. În același timp, robinetul V510 de pe linia de aerisire este deschis, permițând descărcarea aburului de la SGBT la condensator). - încălzitoarele conductelor T510 și T511 sunt pornite pentru a menține temperatura în conductă la aproximativ 335°C,

	evitând depresurizarea din cauza scăderii temperaturii; - simultan, în bucla secundară a DHR, se deschid robinetele (V701 și V703 în bucla DHR din Figura 7.4.3.2) care permit accesul la tuburile de tip baionetă ale schimbătorului de căldură. - Puterea extrasă din sistemul primar de către sistemul DHR este transferată în bucla intermediară cu ajutorul HX-10. - În timpul funcționării în modul DHR, căldura eliminată este evacuată în mediu prin turnul de răcire conectat la bucla intermediară dedicată.
Realizarea condițiilor de standby	- Se opresc toate casetele zonei simulate - Se opreste buclă secundară. - Se opreste sistemul DHR. - Se opresc pompele primare în interiorul vasului principal - Sunt pornite cablurile de încălzire ale sistemului primar (400°C).

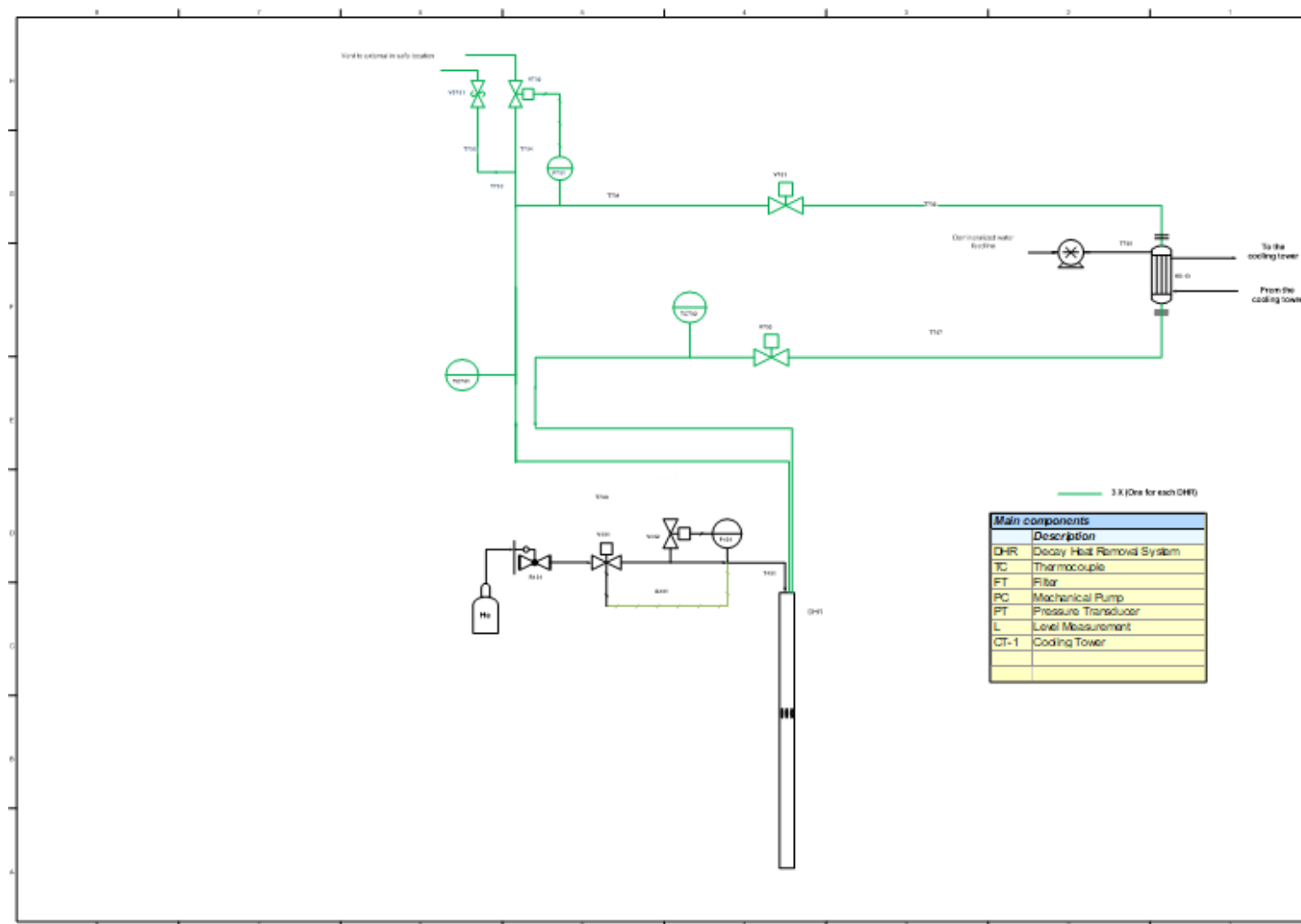


Fig. 7.4.3.2. P&ID pentru sistemul DHR

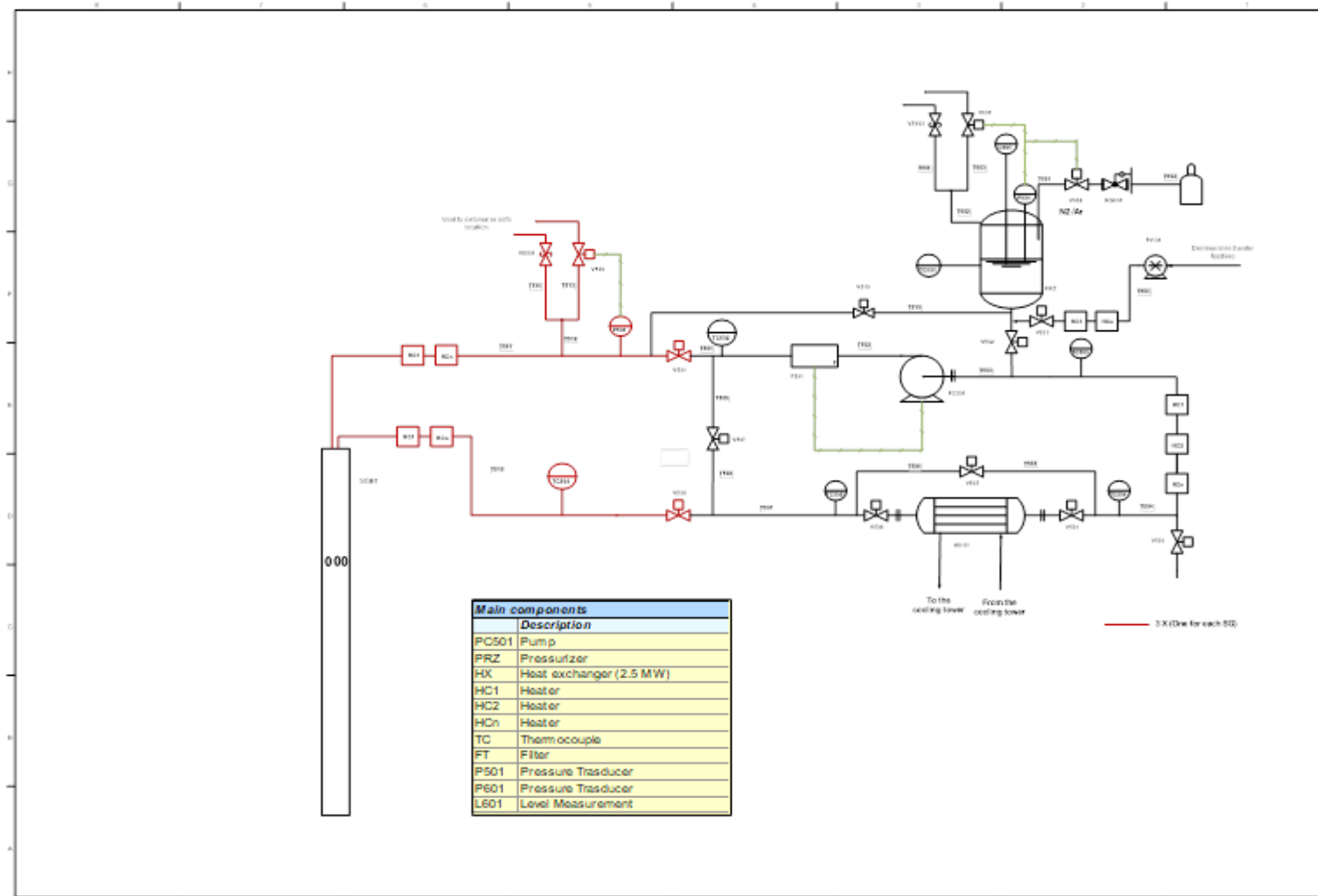


Fig. 7.4.1 P&ID ELF, Circuitul Secundar

7.6 Rezistența hidraulică a principalelor componente

Această secțiune prezintă expresiile analitice ale coeficientului de rezistență. Acesta poate fi obținut printr-o modelare termohidraulică a diferitelor părți și componente ale sistemului primar (presupus ca o buclă).

7.6.1 Circulația naturală

Rolul circulației naturale este exprimat de numărul Grashof [6]:

$$Gr = \frac{g\beta\Delta TH^3}{\nu^2} = \frac{v_{bv}^2 H^2}{2\nu^2} \quad (4)$$

Viteza Brunt-Vaisala poate fi exprimată ca $v_{bv} = \sqrt{2g\beta\Delta TH}$ și reprezintă viteza unui corp lasat liber în câmpul de gravitație modificat $g\beta\Delta T$. H este distanța, pe verticală, dintre FPS (sursa de căldură) și HX (schimbatorul de caldura).

În regim de circulație naturală pură (adică fără nicio sursă de impuls în buclă) pierderea de presiune datorată flotabilității $\rho v_{bv}^2/2 = \rho g\beta\Delta TH$ este echilibrată de căderea de presiune hidraulică $K\rho u^2/2$, unde $\rho u^2/2$ este pierderea de presiune dinamică, iar K este coeficientul total de pierdere prin fricțiune și poate, eventual, să depindă de u din cauza pierderilor distribuite [7].

$$K = K(u) = \sum_j K_j \left(\frac{d_t}{d_j}\right)^4 + \sum_i \frac{f_i L_i}{d_i} \left(\frac{d_t}{d_i}\right)^4 \quad (5)$$

Indicele j se referă la pierderile concentrate, în timp ce însumarea după indicele i se referă la pierderile distribuite.

În fluxul turbulent, în general, K_j nu depinde de numărul Reynolds, ci de geometria specifică a componentei (curbata, joncțiune în T, expansiune bruscă etc.), iar factorul de frecare Darcy-Weisbach, f_i , este în jur de 0,025 pentru fluxul complet dezvoltat și $Re \sim 105$ [8].

Dependența de $(d_t/d_i)^4$ este legată de faptul că viteza de referință pentru căderea de presiune dinamică este viteza în canalul de conductă u , d_t este diametrul de referință, în timp ce d_i, d_j reprezintă diametrele hidraulice ale obstacolelor. În circulație naturală pură, echilibrul simplu între forțele de antrenare și cele de rezistență, pentru întreaga buclă poate fi scris astfel:

$$\rho g\beta\Delta TH = K(u)\rho \frac{u^2}{2} \quad (6)$$

În ipoteza simplificatoare în care K nu este o funcție de u , adică pentru numere Reynolds suficient de ridicate, este posibil să se obțină o relație între căderea de temperatură și debitul de masă din buclă în regim de circulație naturală pură:

$$\Delta T = \frac{Ku^2}{2g\beta H} = \frac{K}{2g\beta H\rho^2 A^2} \dot{m}^2 \quad (7)$$

care este patratica în viteză sau în debitul de masă, în aproximarea actuală cu K constant.

Bilanțul total de energie în caseta de pini combustibili leagă puterea totală a casetei, Q, de scăderea temperaturii ΔT ca [9]:

$$\dot{m}c_p\Delta T = \rho u A c_p \Delta T = Q \quad (8)$$

Aceasta permite scrierea ecuației exacte ca:

$$K(u)u^3 = \frac{2g\beta QH}{\rho A c_p} \quad (9)$$

care va fi rezolvată numeric datorită neliniarității $K(u)$, permitând estimarea vitezei u din bucla la un nivel de putere dată Q în regim de circulație naturală pură.

$$u = \sqrt[3]{\frac{2g\beta QH}{\rho A c_p K}} \quad (10)$$

De notat că, ținând cont de ecuațiile (6) și (8), ecuația (10) poate fi exprimată în funcție de viteza Brunt-Vaisala ca:

$$u = \frac{u_{bv}}{\sqrt{K}} = \frac{\sqrt{2g\beta\Delta TH}}{\sqrt{K}} \quad (11)$$

Viteza din sub-canal al casetei de combustibil, u_{sc} , poate fi calculată având în vedere că debitul de masă este constant în toate secțiunile buclei, și astfel :

$$u_{sc} = \frac{A_{DHR}}{A_{wrap} - A_{pins}} \cdot u_{DHR} = \frac{32692.11}{3053.19} \cdot u_{DHR} = 10.7 \cdot u_{DHR} \quad (12)$$

Numarul Reynolds pentru subcanal poate fi calculat ca:

$$Re_{sc} = \frac{u_{sc} D_{eq}}{\nu} = \frac{2.48 \cdot D_{eq}}{d_{eq,DHR}} \frac{u \cdot d_{eq,DHR}}{\nu} = 3.036 Re_{DHR} \quad (13)$$

Din ecuația (11), se poate efectua o estimare a numărului maxim de Reynolds atins în circulația naturală pentru plumb. În acest mod ecuația (9) poate fi rezolvată numeric, odată ce coeficienții de rezistență au fost modelați analitic.

Relația coeficientului de rezistență totală în circulația naturală este:

$$K_{tot-NC} = K_{CS,eff} + K_{pump,eff} + K_{DHR} + K_{holes1} + K_{holes2} \quad (14)$$

unde:



- K_{CS} este coeficientul de rezistență al simulatorului zonei active,
- K_{Pump} este coeficientul de rezistență al pompei (în funcție de geometria rotorului),
- K_{DHR} este rezistența DHR;
- K_{holes1} este coeficientul de rezistență al setului de orificii din partea superioară a structurii cilindrice interioare,
- K_{holes2} este coeficientul de rezistență al setului de orificii de pe fundul S100 dintre structura cilindrică interioară și exterioară.

7.6.2 Circulația forțată

Circulația forțată va fi promovată de pompe verticale prototipice instalate simetric în interiorul bazinului rece al ELF. În condiții nominale, debitul total preconizat este de 572,46 kg/s, ceea ce corespunde la aproximativ 65,4 m³/h (~ 191 kg/s) pentru fiecare pompă. Relația coeficientului de rezistență totală în circulația forțată este:

$$K_{tot-FC} = K_{CS,eff} + K_{HX,eff} + K_{holes1} + K_{holes2} \quad (15)$$

unde K_{SG} este rezistența SG.

7.6.3 Simulatorul de zona activa

Scăderile de presiune în secțiunea de test a CS sunt concentrate în două regiuni: fasciculul de elemente combustibile și vârful casetei. Pentru a calcula coeficientul de rezistență K_{CS} al fasciculului, se adoptă corelația Chen & Todreas pentru pachetele de bare combustibile [10] pentru factorul de frecare Darcy-Weisbach. Aceasta a fost obținută pe datele experimentale disponibile privind pachetele de elemente combustibile în intervalul $1,0 < P/D < 1,42$ și $50 < Re_{sc} < 106$ atât pentru flux laminar, cât și turbulent, și are o precizie de $\pm 5\%$.

Coeficientul de rezistență al CS poate fi, prin urmare, exprimat ca:

$$K_{CS} = K_{Spike} + \frac{f_{bundle} L}{D_{eq}} + 3K_{grid} + K_{outlet} \quad (16)$$

unde K_{grid} (~ 0,6) este pierderea de presiune concentrată a unui distanțier de rețea, K_{outlet} (~ 1) este căderea de presiune concentrată la secțiunea de ieșire a casetei, L este dezvoltarea axială a casetei ocupată de pinii electrici (aproximativ 1,8 m).

În condiții nominale, căderea de presiune pe vârf este de aproximativ 0,2 bar [11], pierderea de presiune concentrată în funcție de viteza din sub-canalul casetei este calculată ca:

$$K_{spike} = \frac{\Delta p_{spike}}{\rho \frac{u_{sc}^2}{2}} \quad (16)$$

Trebuie reamintit că expresia (17) trebuie înmulțită cu un factor $(A/A_{pass})^2$ care în circulație forțată va fi funcție de viteza u din SG. Prin urmare, expresia efectivă (dependenta de u) a coeficientului de rezistență pentru pachet este:

$$K_{CS,eff} = \left(K_{spike} + \frac{f_{CS}L}{D_{eq}} + 3K_{grid} + K_{outlet} \right) \left(\frac{A_{DHR}}{A_{CS}} \right)^2 \quad (17)$$

unde $A_{CS}=16 \cdot A_{FA}$ (datorita celor 16 caste active) si caderea de presiune de-a lungul fascicului poate fi scarisa ca:

$$\Delta p_{CS} = K_{CS} \left(\rho \frac{u_{sc}^2}{2} \right) = K_{CS,eff} \left(\rho \frac{u^2}{2} \right) = \left(K_{spike} + \frac{f_{CS}L}{D_{eq}} + 3K_{grid} + K_{outlet} \right) \left(\frac{A_{DHR}}{A_{CS}} \right)^2 \left(\rho \frac{u^2}{2} \right) \quad (19)$$

7.6.4 Generatorul de abur cu tuburi baioneta (SGBT partea primara)

În ceea ce privește frecarea în partea primară [8], trebuie luate în considerare pierderile de presiune concentrate la intrare cauzate de restricția bruscă a curgerii prin cele șase fisuri, precum și la ieșire pentru extinderea bruscă de la fasciculul de tuburi la partea finală a incintei și apoi la piscina rece. Pierderile de presiune la intrarea SG trebuie luate în considerare în corespondența cu orificiile de intrare, în corespondența cu secțiunea de ieșire și de-a lungul fasciculului de tuburi. Pierderile de presiune în carcasă sunt exprimate prin următoarea formulă:

$$\Delta p_{SG} = \left(K_{in} \cdot \left(\rho \frac{u^2}{2} \right) + K_{out} \cdot \left(\rho \frac{u^2}{2} \right) + \frac{f_{shell} L_{shell}}{D_h} \cdot \rho \frac{u^2}{2} \right) \quad (20) \text{ Eq } 1$$

unde $L_{shell} \sim 7$ m este lungimea învelișului în SG.

O expresie similară poate fi adoptată pentru DHR în circulație naturală, unde L_{shell} este de aproximativ 3,2 m.

7.6.5 Temperatura maxima la nivel de teaca

Temperatura maximă poate fi estimată prin aplicarea unei corelații de transfer de căldură pentru fasciculele de bare răcite cu HLM [3], [12]. Corelația Ushakov pentru numărul Nusselt este considerată ca fiind de referință:

$$Nu = 7.55 \left(\frac{P}{D} \right) - 20 \left(\frac{P}{D} \right)^{-13} + 0.0408 \left(\frac{P}{D} \right)^{-2} Pe^{(0.19 \frac{P}{D} + 0.56)} \quad (21)$$

unde Pe este numărul Peclet pentru subcanal $Pe = Re_{sc} Pr$.

Numărul Nusselt este definit pe baza diametrului echivalentul pentru subcanal ca:

$$Nu = \frac{h D_h}{k} \quad (22)$$

Pe baza geometriei casetei (P/D) și a debitului de masă (numărul Peclet), se poate calcula un număr Nusselt. Din numărul Nusselt, coeficientul de transfer de căldură poate fi obținut folosind ecuația (22). Prin urmare, o scădere a temperaturii peretelui poate fi calculată ca:

$$\Delta T_{wall} = \frac{q_{wall}}{h} \quad (23)$$

Temperatura maximă a tecii, pentru un flux constant de căldură de-a lungul subcanalului, se obține ca:

$$T_{clad,max} = T_{inlet} + \Delta T + \Delta T_{wall} \quad (24)$$

unde ΔT este gradientul de temperatura de-a lungul casetei (din ecuația 7).

7.6.6 Evaluarea caderii de presiune

Folosind ecuațiile de conservare și formula de rezistență prezentată în secțiunea anterioară, este posibilă evaluarea pierderilor de presiune în diferite condiții. În primul rând, soluționând numeric ecuația (13), este posibilă estimarea debitului de masă de echilibru în buclă în cazul circulației naturale pure cu o putere a pachetului de 500 kW (5% putere nominală). În această condiție, plumbul este răcit în interiorul DHR trecând prin pompa mecanică care este considerată blocată.

Pierderile singulare de presiune au fost estimate astfel (Tabelul 7.5.6.1):

- $K_{CS,eff}$: 7.9
- K_{Pump} : neglijabil
- K_{DHR} : 4.5
- K_{holes1} : 0.5
- K_{holes2} : 0.5

Coeficientul total de rezistență K variază de la jumătate la dublul său. În Tabelul 7.5.6.1 sunt prezentate calculele pentru cazurile $K1 = 6.7$, $K2 = 13.4$, $K3 = 26.8$.

Tabelul 7.5.6.1 Calculele principale pentru circulația naturală

Cazul	K [-]	mfr [kg/s]	ΔT [°C]
K1	6.7	84	40
K2	13.4	67.5	52
K3	26.8	53	64.1

În Fig. 7.5.6.1 este prezentată corelația dintre gradientul de temperatură și debitul masic pentru valorile K1, K2, K3.

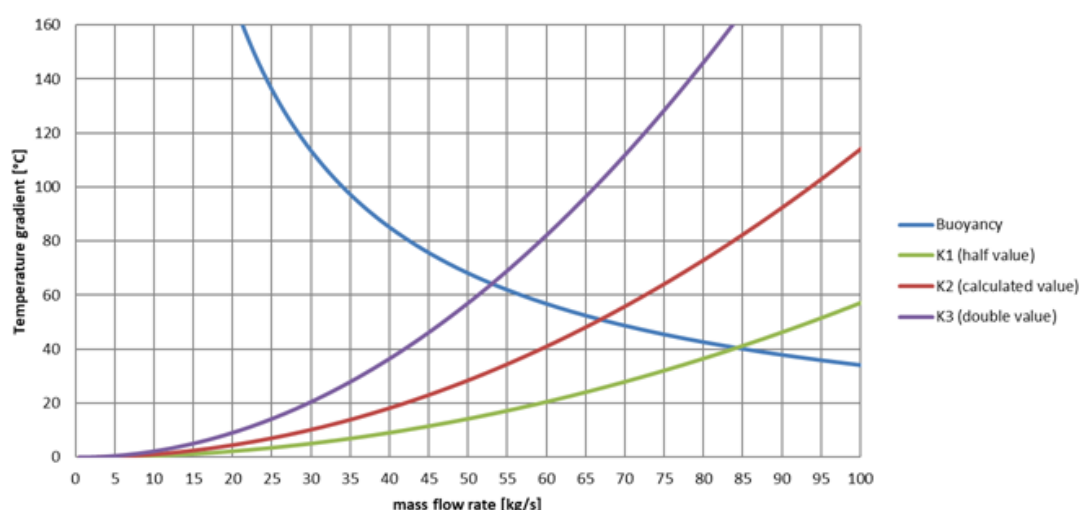


Fig. 7.5.6.1 Gradientul de temperatura în funcție de debitul masic [2]

În acest model simplificat, un regim de circulație naturală se realizează cu $mfr1 = 84 \text{ kg/s}$, $mfr2 = 67.5 \text{ kg/s}$, $mfr3 = 53 \text{ kg/s}$ și o diferență de temperatură între CS și SG de $\Delta T_1 = 40.3^\circ\text{C}$, $\Delta T_2 = 52^\circ\text{C}$, $\Delta T_3 = 64.1^\circ\text{C}$.

Presupunând o temperatură medie de intrare în CS de 350°C , temperatura maximă a pinului pentru cele trei cazuri este prezentată în Tabelul 7.5.6.2.

Tabelul 7.5.6.1 Temperatura maxima pe suprafata pinului

Cazul	Coeficientul de rezistenta	mfr [kg/s]	Nu [-]	$T_{\max, \text{pin}} [^\circ\text{C}]$
K ₁	6.7	5.25	9.768	391.5
K ₂	13.4	4.22	10.03	403.5
K ₃	26.8	3.31	10.21	415.6

7.7 Sistemul de control chimic în ELF

Sistemul de control chimic în instalația experimentală ELF este destinat monitorizării oxigenului, controlului oxigenului și al sistemelor de purificare a plumbului lichid. Controlul concentrației de oxigen este necesar atât în rezervorul de stocare (S200), cât și în vasul principal (S100). Controlul pre-oxigen din rezervorul de stocare este fundamental pentru a purifica plumbul de excesul de oxigen și pentru a atinge un nivel bun de deoxigenare înainte de umplerea vasului principal. Aceasta implică utilizarea unor senzori de oxigen dedicați pentru monitorizarea plumbului în rezervorul de stocare și în vasul principal.

Înainte de umplere, sunt necesare proceduri adecvate de vidare/curățare a vasului principal în vederea îndepărtării O_2 și H_2O atmosferice, precum și a altor impurități gazoase care pot afecta atingerea concentrației țintă de oxigen în plumbul lichid în timpul funcționării.

Pentru controlul oxigenului în rezervorul de depozitare și în vasul principal, sunt luate în considerare metode de lucru în faza gazoasă (Ar-H₂, Ar-O₂), precum și metode în fază solidă ("oxygen getter"). Unele dintre dispozitivele acestui sistem (de exemplu, senzorii de oxigen, captatorii de oxigen) sunt proiectate astfel încât să poată fi înlocuite în timpul funcționării, pentru a permite întreținerea sau reîncărcarea.

7.7.1 Senzori de oxigen pentru mediul de plumb lichid

Monitorizarea concentrației de oxigen dizolvat în plumb se realizează în timpul controlului pre-oxigen în rezervorul de stocare (S200) și în timpul controlului oxigenului în vasul principal (S100). Pentru vasul principal, sunt prevăzuți mai mulți senzori amplasați la înălțimi diferite, expuși la temperaturi diferite, pentru a monitoriza distribuția oxigenului în întregul volum de plumb. De asemenea, pentru rezervorul de stocare este prevăzut mai mult de un senzor pe toată lungimea rezervorului pentru a monitoriza întreaga distribuție a oxigenului.

Senzorii de oxigen pentru ELF sunt fabricați și livrați de ENEA, iar designul (partea sensibilă a senzorului) este prezentat în Figura 7.7.1.1 [13]. Configurația implică utilizarea unui mic manșon YSZ (Yttria Stabilizat Zirconia) conectat la un corp de oțel lung și gros. Corpul din oțel este necesar pentru a asigura o rezistență mecanică suficientă în instalația mare a piscinei, fiind capabil să reziste la presiuni mari, eforturi de forfecare și gradientii termici din volumul mare de plumb.

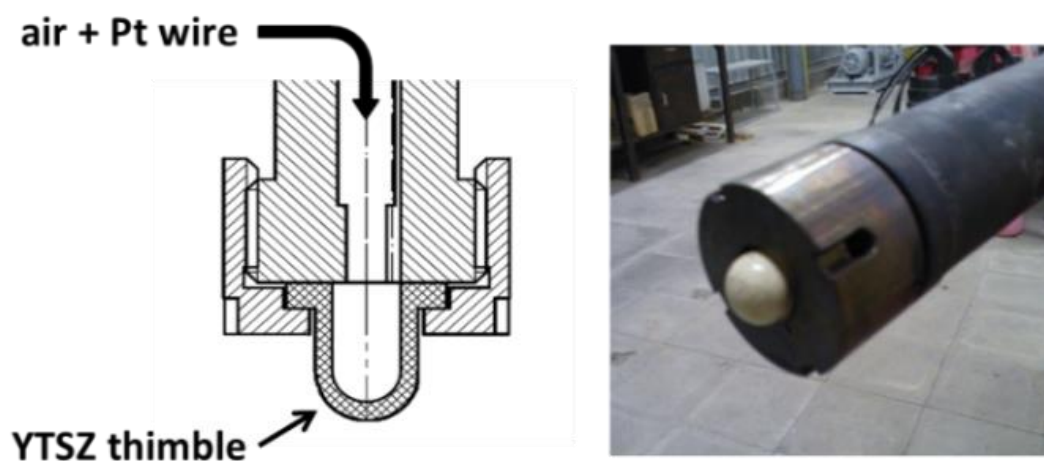


Fig. 7.7.1.1 Schema conceptuală pentru senzorii de oxigen [13].

Electrodul de referință este sistemul Pt-aer. Corpul senzorului este un tub lung de oțel de 2", iar manșonul YSZ este plasat în partea inferioară. Grosimea YSZ este prelucrată pentru a crea un prag lateral și este presată pe corpul senzorului de o flanșă perforată care împinge pe prag. Etanșeitatea este dată de garniturile de grafit plasate între manșon și corpul senzorului. Pentru a garanta oxigen atmosferic continuu în partea inferioară a senzorului (pentru sistemul de referință), aerul este aruncat către manșon într-un tub intern de oțel.

Potențialul electric teoretic al senzorului de oxigen Pt-aer plasat în plumb este dat de următoarea ecuație:

$$E_{th (air)} = -\frac{\Delta G_{PbO}^{\circ}}{4F} + \frac{RT}{4F} \cdot \ln 0.21 - \frac{RT}{2F} \ln a_O \quad (25)$$

unde E_{th} este potențialul electric (V), R este constanta gazului (8,3145 J/(mol·K), F este constanta Faraday (96484,6 C/mol), T este temperatura (K), $\Delta G^{\circ}PbO$ este energia liberă Gibbs de formare a PbO și a_O este activitatea oxigenului în plumb.

7.7.2 Pornirea și controlul pre-oxigen

Pentru a efectua un bun control al oxigenului, sunt necesare operații de pornire pentru a asigura o concentrație de oxigen adecvată, precum și a unor niveluri de impurități în plumb lichid înainte de operarea circuitului primar [14].

De exemplu, contaminarea intrinsecă cu oxigen conținută în lingourile de plumb de pornire este gestionată prin utilizarea procedurilor de filtrare pentru a îndepărta oxizii de deasupra suprafeței lingourilor. Procedura implică topirea lingourilor într-un rezervor de topire unde impuritățile și oxizii metalici pot pluti deasupra suprafeței topiturii.

Plumbul este apoi transferat în rezervorul de stocare prin trecerea printr-o secțiune de filtrare care împiedică pătrunderea impurităților și oxizilor. Pentru a maximiza eficiența procesului, temperatura plumbului în rezervorul de topire trebuie să fie cât mai scăzută, adică în jur de 350-380°C; acest lucru va reduce la minimum conținutul de oxigen al plumbului în rezervorul de depozitare.

Odată transferat în rezervorul de stocare, plumbul este tratat cu injecție de gaz Ar/H₂ pentru a reduce conținutul de oxigen. Schema pentru procedura de pornire în ELF este prezentată în Figura 7.7.2.1.

În Figura 7.7.2.2 este prezentată schema conceptuală pentru controlul pre-oxigen cu injecție de Ar-H₂ în rezervorul de stocare S200.

Sistemul de gaze implică utilizarea de argon pur și H₂ pur, produse la presiune scăzută de către generatorul de laborator. Utilizarea generatorului H₂ permite furnizarea de amestecuri de gaz Ar-H₂ în siguranță (spre deosebire de utilizarea buteliilor H₂ de înaltă presiune) prevenind astfel riscurile de incendii și explozii. Concentrația de oxigen în plumb este reglată prin diluarea H₂ la o concentrație adecvată cu gaz de argon de înaltă puritate din butelii (5-30% vol. H₂). Concentrația de H₂ în gazul de argon este controlată și dozată cu controlerele de debit masic. Înainte de injectarea în rezervor, cele două gaze sunt amestecate într-o mică pre-cameră pentru a preveni segregarea gazelor.

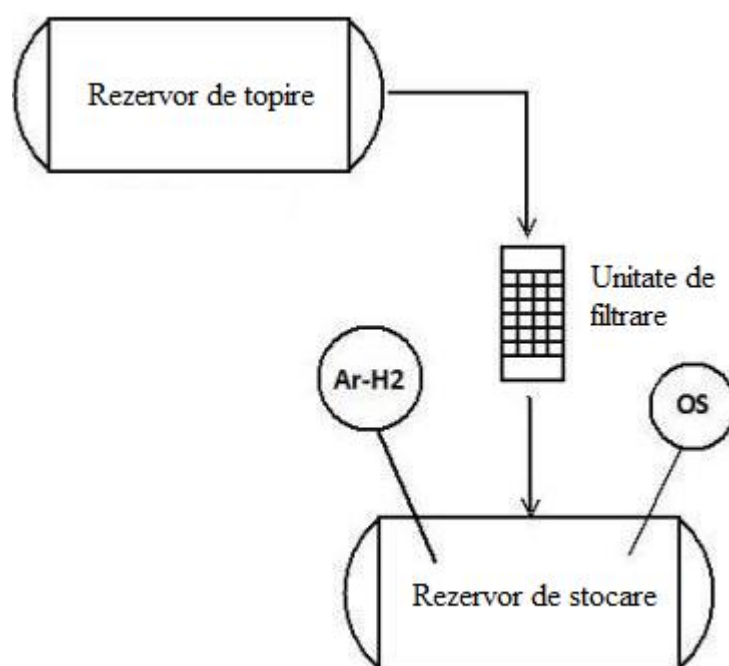


Fig. 7.7.2.1 Purificarea lingourilor de plumb înainte de umplerea vasului principal

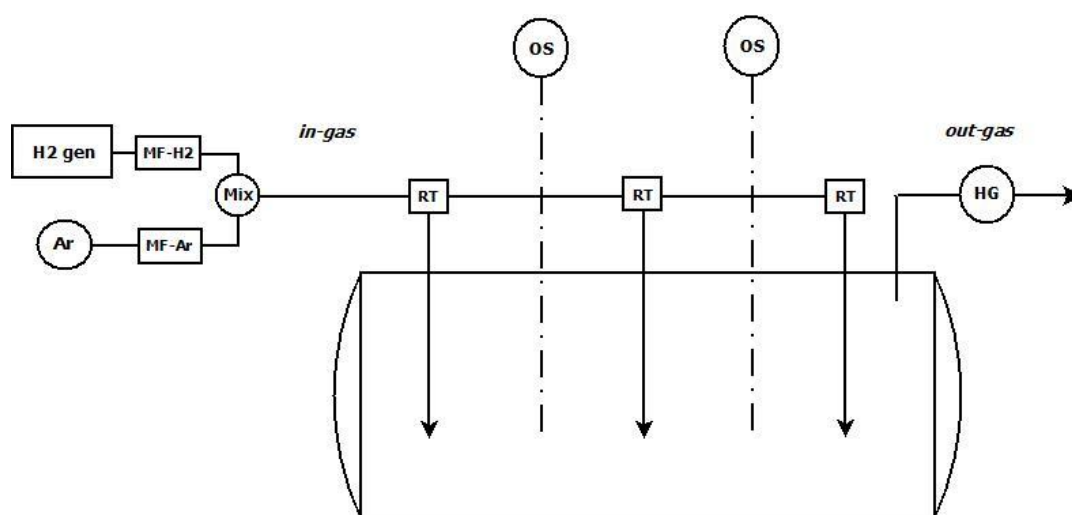


Fig. 7.7.2.2 Purificarea rezervorului de stocare cu amestec de gaz Ar-H₂

Deoarece cantitatea de plumb conținută în rezervorul de depozitare este uriașă, sunt necesare mai multe puncte de barbotare a gazului, pentru a asigura o bună amestecare a topiturii de plumb și pentru a asigura o bună deoxigenare a topiturii. Utilizarea rotametrelor pentru fiecare punct de injecție este necesară pentru a doza debitul de gaz. Concentrația de oxigen din plumb este monitorizată cu diverși senzori de oxigen plasați pe lungimea orizontală a rezervorului. Eficiența deoxigenării este verificată cu

un higrometru plasat în linia de evacuare a gazelor care monitorizează producția de H_2O format prin reacția dintre oxigenul dizolvat și H_2 .

În mod alternativ, sistemul de control pre-oxigen din rezervorul de stocare ar putea fi efectuat cu ajutorul captatorilor de oxigen, chiar dacă această metodă nu a fost niciodată folosită înainte pentru a deoxigena o cantitate uriașă de plumb. În Figura 7.7.2.3 este propusă o schemă conceptuală pentru utilizarea captatorilor de oxigen în rezervorul de stocare.

Captatorii de oxigen (oxygen getters), au forme caracterizate de o suprafață foarte mare (de exemplu, bureți), sunt plasați în cartușe agățate de suporturi și scufundate în plumb. Cartușele sunt necesare pentru a reține oxizii solizi care se formează prin materialul de captare în contact cu oxigenul dizolvat. În timpul deoxigenării gazul de acoperire este păstrat în rezervorul de stocare la o ușoară suprapresiune. Deoarece eficiența materialelor de captare crește odată cu temperatura, plumbul în rezervorul de depozitare trebuie menținut la $T \geq 500^\circ C$.

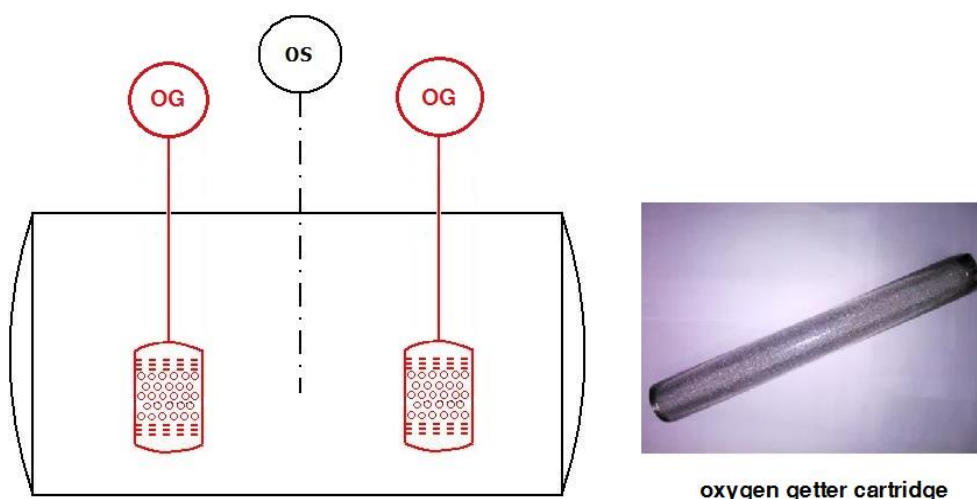


Fig. 7.7.2.3 Schema conceptuala de folosire a captatorilor de oxygen pentru controlul pre-oxygen în rezervorul de stocare

7.7.3 Controlul chimic în vasul principal

Sistemul de control al chimiei din vasul principal este conceput pentru a controla concentrația de oxigen și puritatea fluidului de plumb în vederea minimizării fenomenului de coroziune a materialelor, pentru a preveni blocarea simulatorului de zona activa și/sau a generatoarelor de abur.

Controlul oxigenului din vasul principal include dispozitive de eliminare și furnizare a oxigenului pentru a controla concentrația oxigenului C_o în apropierea valorii țintă pentru ALFRED (10^{-6} - 10^{-8} % wt.). Pentru a monitoriza distribuția oxigenului în piscina diverși senzori de oxigen sunt așezați în poziții cheie. În plus, unitățile de

filtrare sunt utilizate pentru a purifica lichidul de răcire de plumb prin reținerea oxizilor și a produselor de coroziune, protejând astfel componentele cheie de blocaje de curgere.

Datorită cantității mari de plumb care se află în bazinul ELF, condiționarea directă a plumbului prin barbotarea de amestec Ar-H₂ sau prin materiale captatoare de oxigen introduse direct în piscina nu este considerată realistă pentru o condiționare eficientă.

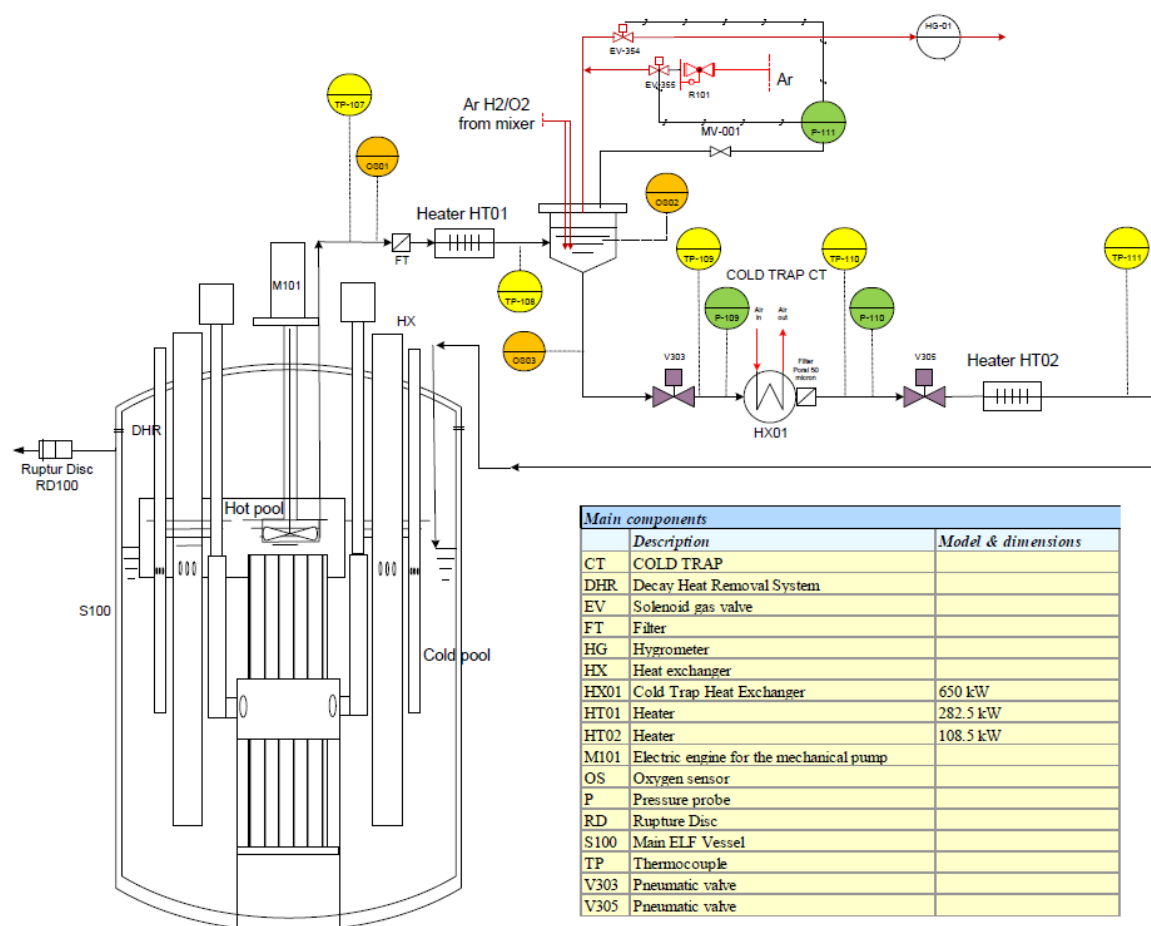


Fig. 7.7.3.1 Sistemul de control al oxigenului (OCS) în vasul principal al ELF

În acest scop, o buclă externă este utilizată pentru a condiționa continuu un debit fix (2,5% din debitul nominal) de plumb, care este scos și apoi reintrodus în piscina.

Păstrând ca referință stadiul 3 al abordării etapizate a operării demonstratorului ALFRED, temperatura plumbului din bazinul cald este de 520°C și respectiv de 400°C în bazinul rece. Prin adoptarea aceluiași debit ca în cazul casetelor de combustibil din ALFRED, debitul total în instalația ELF este de $191 \times 3 = 573 \text{ kg/s}$. Considerând că aproximativ 2,5% din debitul este preluat în bucla auxiliară de purificare, debitul de masă al buclei auxiliare este de aproximativ 15 kg/s.

Figura 7.7.3.1 prezintă P&ID al sistemului de control al oxigenului ELF. O pompă mecanică preia plumbul din bazinul fierbinte la 520°C și îl transfera în afara piscinei într-o buclă auxiliară.

Mai întâi, fluidul este filtrat prin filtrul mecanic FT și apoi este încălzit la 650°C (prin HT01) pentru a stimula cinetica chimică și a fi condiționat eficient. Apoi, plumbul este transferat într-un rezervor de expansiune auxiliar, unde este condiționat prin barbotarea cu Ar-H₂ sau Ar-O₂. Un senzor de oxigen va măsura conținutul de oxigen. Pe baza acestei măsuratori, lichidul din rezervorul de expansiune este condiționat fie: (1) să diminueze conținutul de oxigen (prin barbotarea de Ar-H₂), (2) sau să-l crească (prin barbotarea de Ar-O₂).

Apoi, fluidul aflat la 650°C este transferat în secțiunea Cold Trap, unde un schimbător de căldură (HX01) va reduce temperatura la 350°C și un filtru de tip „poral” va filtra particulele PbO prin intermediul unui proces de agregare.

În final, lichidul este încălzit în HT02 la 400°C pentru a fi introdus în bazinul rece al instalației la temperatura proprie piscinei reci.

Din echilibrul energiei termice, puterea HT01 este de 282,5 kW, puterea HT02 este de 108,5 kW, în timp ce puterea termică a HX01 în capcana rece este de 650 kW.

7.8 Sistemul de control si achizitie date

Prezenta secțiune descrie principalele caracteristici ale sistemului de control și achiziție date (DACS) care va gestiona instalația ELF.

Sistemul DACS este compus din componente hardware și componente software. Componentele hardware sunt:

- (1) Controlerele Logice Programabile (PLC) care verifică și gestionează instalația,
- (2) calculatoarele care gestionează instalația și stochează datele,
- (3) Interfețele pentru schimbul de informații, între PC-uri și PLCs, și între PLCs și toți senzorii și actuatoarele instalației.

Toate părțile principale ale instalației trebuie să lucreze împreună, din acest motiv informațiile despre componente trebuie analizate într-un timp foarte scurt și, dacă se apar situații anormale sau critice, sistemul trebuie să inițieze și să efectueze operațiunile de trecere la functionarea/oprirea în siguranță.

În plus, toate datele și informațiile trebuie trimise imediat către PC-urile camerei de control, pentru a permite operatorului să întreprindă cu promptitudine acțiunile necesare în caz de condiții anormale, adică să aducă instalația în regim de funcționare în condiții de siguranță.

În cele din urmă, toate informațiile și datele facilității trebuie să fie stocate într-o bază de date pentru faza post-procesare

Figura 7.8.1 prezintă infrastructura DACS a instalației ELF.

În continuare sunt descrise principalele zone ale instalației ELF, evidențiate în Figura 7.8.1 prin dreptunghiuri figurate cu linie punctată:

- (1) **camera de control/comanda:** în această zonă, operatorii instalației pot verifica și opera toate componentele prin intermediul PC-urilor instalate al softului DACS; de asemenea pot analiza datele stocate prin intermediul serverului de înregistrare a datelor.
- (2) **panoul electric:** este instalat în interiorul clădirii, aproape de instalație. În acest cabinet există componente electrice și electronice, precum și comutatoarele Ethernet. Componentele electrice și electronice sunt necesare pentru alimentarea actuatorilor instalației (încălzitoare, pompe, supape etc.), în timp ce comutatoarele Ethernet sunt necesare pentru a realiza activitățile de comunicare.
- (3) **dulapul pentru semnale:** este instalat în interiorul clădirii, cât mai aproape de instalație. În acesta există PLC-ul de control al facilității, PLC-ul de siguranță a facilității, PLC-ul de control al simulatorului și cardurile de achiziție pentru semnalele instalației. Sarcinile PLC de control al facilității constau în gestionarea funcționării instalației, executarea comenzilor primite de la operatorul instalației și obținerea tuturor informațiilor despre instalație. Sarcinile PLC de siguranță sunt: gestionarea problemelor de siguranță a instalației, schimbul de informații cu celelalte componente ale infrastructurii DACS. Sarcinile PLC de control al simulatorului de bază sunt: gestionarea procedurilor de lucru și de siguranță ale întregului simulator de bază, executarea comenzilor primite de la operatorul instalației. Cardurile de achiziție sunt instalate în acest dulap și nu în dulapul electric pentru a evita zgomotul de la semnalele analogice (termocuple, traductoare de presiune, debitmetre etc.).
- (4) **dulapurile de alimentare ale simulatorului de zona activa (PS):** vor exista 10 dulapuri PS pentru a alimenta corect componentele simulatorului de zona activa. În fiecare dintre ele va exista un șasiu PS, care este o expansiune a PLC de control al simulatorului și conține carduri de achiziție necesare pentru schimbul de informații între PLC de control și simulatorul de zona activa
- (5) **instalația ELF:** aceasta este instalația reală, formată din toate componentele, cum ar fi vasele, pompele, generatoarele de aburi, schimbătoarele de căldură DHR, supapele, conductele de conectare și toate celelalte componente ale instalației.

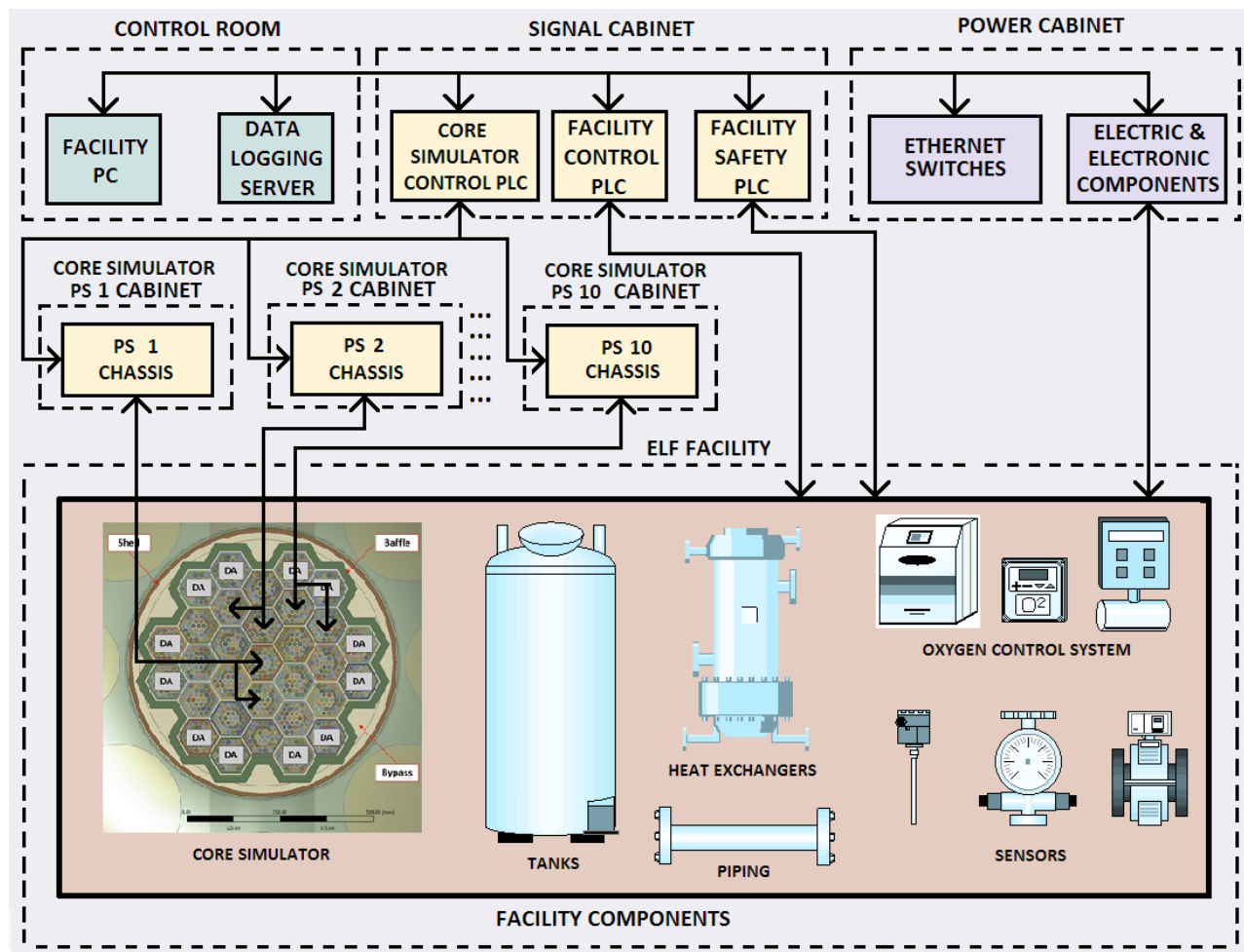


Fig. 7.8.1 Infrastructura DACS a instalației ELF

7.8.1 Descrierea functionarii DACS

Infrastructura DACS a instalației ELF este compusă din PC-ul instalației, serverul de înregistrare a datelor, PLC-ul de control al facilității, PLC-ul de siguranță a facilității, PLC-ul de control al simulatorului de bază și comutatoarele Ethernet.

- (1) **PC-ul instalației** rulează software-ul de control și achiziție al instalației, prezintă operatorului condițiile și informațiile despre instalație și, de asemenea, operatorul poate gestiona prin intermediul software toate componentele comandate. PC-ul citește informațiile direct din PLC-ul de control al instalației, de la PLC-ul de siguranță al instalației și de la PLC-ul de control al simulatorului de zona activă și le trimite comenzile în mod direct.
- (2) **Serverul de înregistrare a datelor** stochează toate informațiile instalației, cum ar fi valorile senzorilor, starea actuatorilor și alarmele, etc. Permite verificarea și analizarea tuturor datelor rezultate din campaniile experimentale. În cele din urmă, serverul de înregistrare a datelor poate rula software-ul de control și achiziție dacă PC-ul instalației intră în funcționare anormală, astfel încât operatorul să poată gestiona instalația în orice situație.
- (3) **PLC-ul instalației** citește informațiile de la senzorii instalației și trimite aceste informații către PC-ul instalației; de asemenea, trimite comanda primită de la PC către actuatorii instalației. PLC-ul instalației rulează propriul său software intern și gestionează toate procedurile automate ale instalației (cu excepția simulatorului zonei active, deoarece acesta este gestionat de PLC-ul de control al simulatorului). PLC-ul de control al facilității în colaborare cu PLC-ul de siguranță a facilității și PLC-ul de control al simulatorului zonei active gestionează problemele de siguranță; dacă apare o situație de urgență, va trece peste instrucțiunile PC-ului instalației și va urma instrucțiunile de siguranță pentru a aduce instalația în modul de siguranță. Dacă software-ul de control și achiziție al instalației se oprește, PLC-ul de control al instalației continuă să efectueze ultimele instrucțiuni primite și, în caz de stare de urgență, poate trece independent instalația în modul de siguranță.
- (4) **PLC-ul de siguranță al instalației** rulează propriul său software intern, iar sarcina sa este să gestioneze problemele de siguranță ale instalației. Instalația PLC de siguranță citește informațiile de la unii senzori instalați în cea mai bună poziție pentru a verifica problemele de siguranță, poate seta actuatorii în modul de siguranță; schimbă informații cu PLC-ul de control al instalației și cu PLC-ul de control al

simulatorului de zonă activă. PLC-ul de siguranță a instalației în colaborare cu PLC-ul de control al instalației și PLC-ul de control al simulatorului de zonă activă gestionează problemele de siguranță; dacă apare o situație de urgență, va trece peste instrucțiunile PC-ului instalației și va urma instrucțiunile de siguranță pentru a aduce instalația în modul de siguranță. Având în vedere că PLC-ul de control al instalației, PLC-ul de control al simulatorului de zonă activă și PLC-ul de siguranță al instalației sunt conectate direct cu senzori diferiți și pot seta actuatorii în modul de siguranță, instalația are un nivel foarte ridicat de siguranță, deoarece, dacă un senzor, un PC, un PLC sau Ethernet eșuează, instalația poate fi adusă în modul de siguranță.

- (5) **PLC-ul de control al simulatorului de zonă activă** citește informațiile de la senzorii zonei active prin cardurile de achiziție ale șasiului de alimentare (PS); trimite aceste informații către PC-ul instalației; trimite comenzile primite de la PC către actuatorii simulatorului de zonă prin șasiul de alimentare (PS). PLC-ul de control al simulatorului rulează propriul său software intern și gestionează toate procedurile automate ale simulatorului. PLC-ul de control al simulatorului în colaborare cu PLC-ul de siguranță al instalației și PLC-ul de control al instalației gestionează problemele de siguranță; dacă apare o situație de urgență, va trece peste instrucțiunile PC-ului instalației și va urma instrucțiunile de siguranță pentru a aduce simulatorul în modul de siguranță.
- (6) **Comutatoarele Ethernet** sunt instrumentele fizice necesare schimbului de informații între componentele infrastructurii prin intermediul cablurilor Ethernet.

7.8.2 Infrastructura hard a DACS

Infrastructura propusă pentru DACS ELF constă în hardware-ul de tip National Instruments. Vor fi folosite controlerile de familie compact RIO cu șasiul de expansiune și cardurile de achiziție aferente. Interfațarea dintre controler, șasiul de expansiune și PC-uri se va realiza prin conexiuni Ethernet, folosind comutatoare Ethernet și cabluri Ethernet.

În componenta DACS sunt prevăzute următoarele **componente hardware**:

- (1) **NI cRIO-9049**: acesta este controlerul hardware al PLC de control al instalației, un procesor Intel Atom quad-core de 1,6 GHz, cu 4 GB RAM, 16 GB stocare și FPGA Kintex-325T. Poate conține 8 carduri de achiziție/ieșire și poate funcționa de la -20°C la 55°C. Sistemul de operare este LINUX RT.



- (2) **NI cRIO-9046:** acestea sunt controlerile hardware ale instalației PLC de siguranță și ale controlului PLC al FPS, este un procesor Intel Atom dual-core de 1,3 GHz, cu 2 GB RAM, 4 GB de stocare și Kintex-7 FPGA 70T. Poate conține 8 carduri de achiziție/ieșire și poate funcționa de la -40°C la 70°C. Sistemul de operare este LINUX RT.
- (3) **NI 9145:** acestea sunt șasiul de expansiune EtherCAT care conține carduri de achiziție/ieșire care nu au loc în PLC-ul de control al instalației, în PLC-ul de siguranță al instalației. Fiecare expansiune poate conține 8 carduri de achiziție/ieșire, acestea sunt conectate cu PLC-urile prin conexiune Ethernet și pot funcționa de la -40°C la 70°C.
- (4) **NI 9213:** acestea sunt cardurile de achiziție de termocuple, sunt plasate în PLC-uri sau în șasiul de expansiune și pot fi conectate la termocuple. Fiecare card de achiziție poate achiziționa 16 semnale de termocuple și pot funcționa de la -40°C la 70°C.
- (5) **NI 9149:** acestea sunt șasiul de expansiune Ethernet și hardware-ul pentru șasiul celor 10 surse de alimentare (PS). Fiecare expansiune poate conține 8 carduri de achiziție/ieșire; acestea sunt conectate la PLC-uri prin conexiune Ethernet și pot funcționa de la -40°C la 70°C.
- (6) **NI 9213:** acestea sunt cardurile de achiziție de termocuple, sunt plasate în PLC-uri sau în șasiul de expansiune și pot fi conectate la termocuple. Fiecare card de achiziție poate achiziționa 16 semnale de termocuple și pot funcționa de la -40°C la 70°C.
- (7) **NI 9209:** acestea sunt cardurile de achiziție analogice în tensiune, sunt plasate în PLC-uri sau în șasiul de expansiune și pot fi conectate direct la senzori cu ieșire analogică în tensiune, cum ar fi senzorii de oxigen și higrometrele. Fiecare card de achiziție poate achiziționa 16 semnale de tensiune și pot funcționa de la -40°C la 70°C.
- (8) **NI 9208:** acestea sunt cardurile de achiziție analogice în curent, sunt plasate în PLC-uri sau în șasiul de expansiune și pot fi conectate la senzori cu ieșire analogică în curent, cum ar fi emițătoarele de presiune, debitmetrele și controlerile de debit masic. Fiecare card de achiziție poate achiziționa 16 semnale curente și pot funcționa de la -40°C la 70°C.
- (9) **NI 9426:** acestea sunt cardurile de achiziție digitale, sunt plasate în PLC-uri sau în șasiul de expansiune și pot fi conectate la senzori cu ieșire digitală, cum ar fi sondele de nivel, întrerupătoarele de limitare a supapei și actuatoarele. Fiecare card de achiziție poate achiziționa 32 de semnale și poate lucra de la -40°C la 70°C.
- (10) **NI 9264:** acestea sunt cardurile de ieșire analogice în tensiune, sunt plasate în PLC-uri sau în șasiul de expansiune și pot fi conectate la actuatoare cu intrare

analogică în tensiune, cum ar fi releul de stare solida (SSR) al elementelor de încălzire. Fiecare card de ieșire poate furniza 16 semnale de tensiune și pot funcționa de la -40°C la 70°C.

- (11) **NI 9265:** acestea sunt cardurile de ieșire analogice în curent, sunt plasate în PLC-uri sau în șasiul de expansiune și pot fi conectate la actuatori cu intrare analogică în curent, cum ar fi regulatoarele de debit masic și supapele de control. Fiecare card de ieșire poate furniza 4 semnale curenți și pot funcționa de la -40°C la 70°C.
- (12) **NI 9476:** acestea sunt cardurile de ieșire digitale, sunt plasate în PLC-uri sau în șasiul de expansiune și pot fi conectate la actuatori cu intrare digitală, cum ar fi servomotorul de supape, contactorul de încălzire și motoarele. Fiecare card de ieșire poate furniza 32 de semnale și poate funcționa de la -40°C la 70°C.
- (13) **Stație de lucru HP cu monitor full HD:** acesta este hardware-ul PC, este un procesor Intel Core i7, cu 16 GB RAM și 512 GB hard disk. Sistemul de operare este WINDOWS 10, iar software-ul de control și achiziție a instalației va rula în National Instruments LabView.
- (14) **Stație de lucru HP cu monitor full HD:** acesta este hardware-ul serverului de înregistrare a datelor, este un procesor Intel Core i7, cu 16 GB RAM și 512 GB de hard disk. Sistemul de operare este WINDOWS 10, iar software-ul de export și analiză de date va fi rulat în National Instruments LabView.
- (15) **Comutatoare de rețea CISCO:** acestea sunt componentele comutatoarelor Ethernet, sunt comutatoare Cisco - IE-2000-8TC-G-E și pot funcționa de la -40°C la 85°C. Acestea vor fi instalate în diferite locuri (cameră de control, dulap electric, dulap semnal, dulap FPS) pentru a conecta toate componentele hardware ale instalației prin cablurile Ethernet

7.8.3 Descrierea software DACS

Infrastructura hardware are nevoie de o infrastructură software pentru a gestiona instalația și pentru a achiziționa datele experimentale. Există cinci programe software instalate în diferite componente hardware:

- (1) Software de control al instalației: acest software rulează pe PLC de control al instalației fără interfața cu utilizatorul.
- (2) Software de siguranță pentru instalație: acest software rulează pe PLC de siguranță a instalației fără interfața cu utilizatorul.
- (3) Software de control al simulatorului de zona activă: acest software rulează pe PLC de control al simulatorului de zona activă, fără interfața cu utilizatorul.

- (4) Software de control și achiziție a instalației: acest software rulează pe PC cu interfață de utilizator. În cazul eșecului PC, acest software poate fi rulat pe serverul de înregistrare a datelor.
- (5) Software de analiză și export de date: acest software rulează pe serverul de înregistrare a datelor cu interfață de utilizator.

Toate software-urile funcționează împreună și schimbă datele pentru a menține instalația într-un mod adecvat de functionare. În cele ce urmează va fi făcută o descriere a operațiunilor globale ale sistemului.

Când instalația este pornită, PLC-ul de control al instalației începe să citească informațiile instalației (cum ar fi temperaturi, presiuni, starea componentelor etc.), toate componentele instalației (cum ar fi pompe, elemente de încălzire etc.) sunt oprite și PLC păstrează instalația în stand-by.

PLC-ul de control al simulatorului de zona activă începe să citească informațiile legate de simulator (cum ar fi temperaturi, curenți electrici, stare etc.), puterea casetelor de combustibil este oprită și PLC-ul menține simulatorului de zona activă în regim de veghe. În cele din urmă, PLC-ul de siguranță al instalației este pornit, începe să-și verifice informațiile despre senzori și menține instalația în regim de veghe.

Ulterior, PC-ul și software-ul de control și achiziție a instalației sunt pornite, software-ul începe să citească toate informațiile despre instalație de la PLC-uri, arată operatorului starea instalației și stochează toate informațiile instalației în baza sa de date internă și, de asemenea, în baza de date a serverului de înregistrare a datelor.

Atunci când instalația este gata să funcționeze, operatorul poate vedea informațiile și poate efectua operațiunea prin software-ul de control și achiziție. Atunci când operatorul necesită o nouă operație (de exemplu, o deschidere a unei supape), software-ul de control și achiziție a instalației trimite o solicitare către software-ul de control al instalației, PLC verifică informațiile instalației și dacă nu există contraindicații de siguranță, aceasta execută operațiunea. Dacă operațiunea este legată de simulatorul de zona activă, software-ul de control și achiziție a instalației trimite o solicitare către software-ul de control al simulatorului, PLC verifică informațiile despre instalație și dacă nu există contraindicații de siguranță, acesta execută operațiunea.

Dacă operațiunea este legată de simulatorul de zonă activă, software-ul de control și achiziție al instalației trimite o solicitare către software-ul de control al simulatorului, PLC verifică informațiile instalației și dacă nu există contraindicații în relație cu siguranța în functionare, acesta face operațiunea.

7.8.3.1 Software de control al instalatiei

Programul de control al instalației gestionează operarea globală a instalației, gestionează problemele de siguranță în colaborare cu PLC-ul de siguranță a instalației și PLC-ul de control al simulatorului de zonă activă, precum și schimbul de date cu celelalte programe software.

Principalele sarcini ale acestui software sunt:

- (1) Citire valori electrice ale senzorilor instalației (cu excepția senzorilor conectați direct la PLC de siguranță a instalației și la PLC-ul de control al simulatorului de zonă activă), convertire în valori ingineresti și trimitere la software.
- (2) Așteptare a solicitărilor de operare a software de control și de achiziție, verificare a existenței unor contraindicații de siguranță pentru instalație, stabilire a semnalelor electrice potrivite pentru a efectua operațiunea solicitată.
- (3) Gestionare directă a procedurilor automate ale instalației, manevrând actuatorile pentru a obține un comportament corect (de exemplu, deschiderea corespunzătoare a supapelor pentru a obține presiunea corectă într-un rezervor).
- (4) Verificarea continuă a informațiilor și stării instalației; dacă software-ul detectează o condiție periculoasă, atunci execută operațiunea corectă pentru a aduce instalația în modul de siguranță, trecând peste instrucțiunile software de control și achiziție a instalației. PLC-ul de control al instalației poate asigura siguranța instalației chiar dacă PLC-ul de siguranță al instalației nu reușește, deoarece poate verifica starea instalației prin senzorii săi și poate seta actuatorile în mod de siguranță chiar și fără cooperarea PLC-ului de siguranță a instalației.

7.8.3.2 Software de securitate al instalatiei

Software-ul de securitate/siguranță al instalației gestionează problemele de siguranță în colaborare cu software-ul de control al instalației, cu software-ul de control al simulatorului zonei active și schimbă date cu alte software.

Principalele sarcini ale acestui software sunt:

- (1) Citește valorile electrice de la senzorii instalației conectate la el însuși, le convertește în valori ingineresti și le trimite la software.
- Verifica în permanență informațiile și starea instalației, dacă detectează o condiție periculoasă, face operațiunea potrivită pentru a aduce instalația în modul de siguranță, trecând peste instrucțiunile software de control și achiziție a instalației. Software-ul de siguranță al instalației poate asigura siguranța instalației chiar dacă PLC-ul de control al instalației sau PLC-ul de control al simulatorului de zonă activă nu reușesc, deoarece poate verifica

starea instalației prin senzorii săi și poate seta actuatoarele în modul de siguranță chiar și fără cooperarea PLC-ului de control al instalației și PLC de control al simulatorului de zona activa.

7.8.3.3 Software de control al simulatorului zonei active

Software-ul de control al simulatorului zonei active gestionează activitatea simulatorului, problemele de siguranță ale funcționării simulatorului, în colaborare cu software-ul de siguranță al instalației și schimbă date cu alte software.

Principalele sarcini ale acestui software sunt:

- (1) Citește valorile electrice de la simulatorul de zona activa prin intermediul alimentării PS, le convertește în valori de inginerie și le trimite către alte software.
- (2) Așteaptă solicitările software-ului de control și achiziție al instalației, verifică dacă nu există contraindicații pentru simulatorul de zona activa, stabilește semnalele electrice pentru a face operațiunea solicitată.
- (3) Gestionează direct procedurile automate ale simulatorului de zona activa, comandând actuatoarele pentru a obține un comportament corect (de exemplu, inițiază și controlează o rampă de alimentare pentru zona simulată).
- (4) Verifică continuu informațiile și starea zonei simulate; dacă software-ul detectează o condiție periculoasă, inițiază operațiunea adecvată pentru a trece simulatorul de zona activa în modul de siguranță, trecând peste instrucțiunile software de control și achiziție a instalației. Programul de control al zonei simulate poate asigura siguranța în funcționare, chiar dacă PLC-ul de siguranță al instalației eșuează, deoarece poate verifica starea zonei simulate prin senzorii săi și poate seta actuatoarele în modul de siguranță, chiar și fără cooperarea cu PLC de siguranță a instalației.

7.8.3.4 Software de control și achiziție

Programul de control și achiziție al instalației prezintă operatorului condițiile și informațiile instalației și schimbă date cu celălalt software.

Principalele sarcini ale acestui software sunt:

- (1) Prezintă (afisază) operatorului valorile senzorilor instalației, pe care le citește direct din PLC-ul de control al instalației, de la PLC-ul de siguranță a instalației și de la PLC-ul de control al zonei simulate.
- (2) Trimite cerințele operatorului către PLC-ul de control al instalației și PLC-ul de control al zonei active simulate.
- (3) Stochează toate informațiile despre instalație în baza sa internă de date.

- (4) Stocheaza toate informațiile despre instalației în serverul de înregistrare a datelor.

Interfața de utilizare a software-ului de control și achiziție a instalației este împartita în diferite panouri/tabele, fiecare din acestea fiind utilă pentru un domeniu diferit:

- (1) **Panoul global:** ofera operatorului informațiile principalilor senzori ai instalației (termocuple, traductori de presiune, debitmetre, sonde de oxigen etc.) și permite să regleze actuatorile instalației (elemente de încălzire, valve, pompe, simulatorul zonei active, etc).
- (2) **Panoul primar:** afișează toți senzorii navei principale și permite setarea actuatorul pentru vasul principal.
- (3) **Panoul secundar:** afișează toți senzorii buclelor secundare (generatoare de aburi și schimbătoare de căldură DHR) și permite setarea actuatorului pentru buclele secundare.
- (4) **Panoul simulatorului de zona activa:** afișează toți senzorii de la simulatorul de zona activa și permite să seteze actuatorul în legătură cu simulatorul de zona activa.
- (5) **Panoul de umplere si scurgere:** afișează toți senzorii sistemului de umplere și scurgere (vasul de stocare, vasul de transfer, vasul de topire și conductele) și permite reglarea actuatorului pentru sistemul de umplere și scurgere.
- (6) **Panoul de configurare:** conține toți parametrii de configurare ai instalației, operatorul îi poate citi sau modifica.
- (7) **Panoul Alarmer:** Afișează condițiile de alarmă a instalației
- (8) **Panoul istoric:** Afișează informațiile, în timp real, în modul grafic, despre instalație.

7.8.3.5 Software analiza si export de date

Software-ul de analiză și export a datelor include instrumentele de export si analiza a datelor si are urmatoarele sarcini:

- (1) Exporta din baza de date toate informațiile despre instalație, pentru diferite campanii experimentale.
- (2) Analizeaza toate datele obținute.

7.9 Sistemul de alimentare cu electricitate

Această secțiune descrie principalele caracteristici ale sistemului de alimentare al instalației experimentale ELF, capabil să alimenteze toate componentele instalației.

Sistemul de alimentare a instalației ELF este compus din trei linii principale, prima este **linia normală** care alimentează toate componentele instalației, a doua este **linia electrică de urgență** care alimentează componentele necesare pentru a fi alimentate în cazul pierderii puterii, cea de-a treia este **linia electrică neîntreruptibilă** care alimentează componenta care nu trebuie să rămână fără putere nici măcar o clipă.

Linia normală de alimentare provine din stația electrică din apropiere, va fi o linie trifazată de medie tensiune, 50 Hz, cu o putere electrică globală de ~20MVA (valoarea medie a tensiunii depinde de infrastructura electrică locală).

Linia electrică de urgență provine de la un grup generator diesel care va fi instalat aproape de clădirea instalației, va fi o linie trifazică de 400V AC-50 Hz cu o putere electrică globală de ~ 600 kVA.

Linia electrică neîntreruptibilă provine de la un UPS care va fi instalat în interiorul clădirii instalației, va fi o linie monofazată de 230V AC-50 Hz, cu o putere electrică globală de ~ 10kVA.

Linia electrică normală, linia electrică de urgență și liniile electrice neîntrerupte vor alimenta și instalația HELENA2 instalată în aceeași clădire.

7.9.1 Arhitectura globală a partii electrice a instalației ELF

Componentele alimentate de sistemul de alimentare cu electricitate al instalației ELF sunt următoarele:

- (1) **Simulatorul zonei active:** simulează energia eliberată de elementele combustibile nucleare, este compus din 576 de pini electrici grupați în 16 casete de combustibil. Pini sunt alimentați în paralel cu o alimentare de ~200 V curent continuu, cu o putere globală de 10 MW.
- (2) **Sistemul de încălzire al vasului principal:** este compus din cabluri de încălzire prevazute cu izolație minerală, cu alimentare de 230V curent alternativ, cu o putere globală de ~125 kW pentru a încălzi corect vasul principal.
- (3) **Sistem de încălzire a sistemelor de umplere și scurgere:** este compus din cabluri de încălzire prevazute cu izolație minerală, cu alimentare de curent alternativ de 230V AC, cu o putere globală de ~175 kW pentru a încălzi corect sistemul de umplere și scurgere.
- (4) **Trei pompe pentru plumb** pentru circulația plumbului în vasul principal: sunt alimentate cu curent alternativ la 400V AC, toate pompele sunt comandate de convertorul de frecvență. Fiecare pompă are o putere de ~ 200 kW cu o putere globală de 600 ~kW.
- (5) **Pompa de apă din circuitul generatoarelor de aburi:** o pompă centrifugă pentru a circula apa în generatoarele de abur cu alimentare

de 400V AC, pompele sunt comandate prin inverter. Pompa are o putere de ~250 kW.

- (6) **Pompe de apă ale buclor intermediare:** pompe centrifugale și volumetrice pentru circulația apei și pentru reumplerea buclor intermediare, în vederea eliminării căldurii din generatoarele de abur și circuitele DHR. Tensiunea de alimentare a pompelor este de 400V AC, pompele sunt acționate de convertorul de frecvență și au o putere globală de ~100 kW.
- (7) **Sistem de încălzire a circuitului generator de abur:** este compus din cabluri de încălzire cu izolație minerală, cu alimentare de curent alternativ de 230V AC, cu o putere globală de ~ 100 kW pentru încălzirea apei în circuitul generatorului de abur.
- (8) **Sistemul de control al oxigenului (OCS):** consta dintr-un set de componente necesare pentru a efectua purificarea plumbului în vasul de depozitare și în vasul principal (prin buclă externă). Puterea necesară este de ~400 kW, cu o linie de alimentare de 230V AC.
- (9) **Robinete și senzori:** supapele și senzorii instalației au atât sursa de alimentare de 230V AC cât și cea de 24V CC, puterea globală este neglijabilă în comparație cu celelalte componente.
- (10) **PC-urile, monitoare, PLC-urile și șasiul de expansiune:** componentele sistemului de achiziție și control al datelor (PC-urile, monitoare, PLC-urile și șasiul de expansiune) au atât alimentarea de 230V AC, cât și cea de 24V CC, puterea globală este neglijabilă în comparație cu celelalte componente.

Linia electrică de urgență în caz de întrerupere a curentului electric trebuie să alimenteze următoarele componente:

- (1) **Sistemul de încălzire al vasului principal:** dacă pierderea de energie continuă pentru perioadă de timp mai lungă, plumbul trebuie să rămână lichid pentru a evita eforturile mecanice și posibilele deteriorări în interiorul vasului principal; sistemul de încălzire al vasului principal este compus din cabluri de încălzire prevăzute cu izolație minerală alimentate la 230V AC, având o putere globală de ~ 125 kW.
- (2) **Sistem de încălzire a sistemului de umplere și scurgere:** dacă pierderea de energie continuă mult timp, plumbul trebuie să rămână topit pentru a evita ruperea componentelor sistemului de umplere și de scurgere (rezervor de depozitare, rezervor de transfer, conducte aferente); pentru aceasta sistemul de încălzire este compus din cabluri de încălzire prevăzute cu izolație minerală, cu alimentare de 230V AC, cu o putere globală de ~ 175 kW.

- (3) **Senzori și supape:** în caz de pierdere a alimentării cu energie citirea informațiilor de la senzori este necesară, de asemenea este necesară manevrarea vanelor pentru a pune instalația în siguranță.
- (4) **PC-uri, monitoare, PLC-uri și șasiul de expansiune:** în cazul pierderii alimentării cu energie, componentele Sistemului de achiziție și control al datelor (DACS) trebuie să continue să funcționeze, astfel încât operatorul să poată verifica condițiile instalației și să poată executa operațiunile potrivite pentru a pune instalația în siguranță.

Celelalte componente sunt alimentate numai de linia normală de alimentare, iar în caz de întrerupere a energiei nu vor fi alimentate.

7.9.2 Descrierea generală a sistemului electric al clădirii

În urma investigațiilor privind amplasarea instalațiilor experimentale pe platforma nucleară de la Mioveni [15] soluția avansată este de a amplasa HELENA2 în aceeași clădire cu instalația ELF. Din acest motiv vom discuta de un sistem de alimentare cu energie electrică al acestei clădiri.

În acest sens:

- (1) Simulatorul FPS din HELENA2 va avea o alimentare de la o sursă de AC/DC cu o putere nominală de 1,36 MW.
- (2) Simulator ELF va fi alimentat cu 10 surse de alimentare AC/DC cu o putere nominală de 1 MW fiecare.

Sistemul electric va fi împărțit între următoarele trei categorii de alimentare:

- (1) **Normală:** pentru a alimenta toate echipamentele care pot rămâne în afara serviciului chiar și pentru mult timp.
- (2) **De urgență:** pentru a alimenta toate echipamentele care pot rămâne în afara unui serviciu foarte scurt timp. Poate fi considerat acceptabil un timp de întrerupere a energiei care să nu depășească 30 de secunde (egal cu trecerea de la sistemul de alimentare obișnuit la sistemul de alimentare de urgență).
- (3) **Neîntreruptă:** pentru a alimenta toate echipamentele a căror funcționare nu poate fi oprită din cauza unor pene de curent.

Cele trei categorii enumerate mai sus au următoarele surse de alimentare:

- (1) **Alimentarea normală:** de la stația electrică de joasă și medie tensiune (MV/LV) a platformei (alimentare electrică obișnuită).
- (2) **Alimentarea de urgență:** de la stația electrică MV/LV a platformei, în stare normală de operare, respectiv de la sistemul de alimentare de urgență (Genset) în caz de avarie a alimentării obișnuite.

- (3) **Alimentarea neîntreruptă:** de la stația electrică MV/LV a platformei, în stare normală de funcționare, de la sistemul de alimentare cu energie de urgență (Genset) în caz de defectare a alimentării obișnuite și de la sursa de alimentare neîntreruptibilă (UPS) în caz defectare a sistemului de alimentare de urgență.

Sistemul de alimentare de urgență este compus de un generator pe baza de motorină (Genset), cu puterea nominală de 600 kVA, potrivit pentru sarcina de alimentare de urgență.

Alimentarea neîntreruptă va fi obținută de la sursa de alimentare neîntreruptibilă (UPS), putere nominală de 10 kVA cu o autonomie de 60 de minute (în caz de avarie Genset).

Fiecare categorie alimentează următoarele elemente:

Alimentarea normală:

- simulatorul de zonă activă al instalației ELF,
- simulatorul FPS al instalației HELENA2,
- sistemele de ventilație;
- echipamentele mecanice și electrice ale instalațiilor,
- macara/pod rulant,
- sistem de iluminare,
- sistem de priză de ieșire.

Alimentarea de urgență:

- sistemul de încălzire al instalației ELF,
- sistem de încălzire a instalației HELENA2.

Alimentarea neîntreruptă:

- sistem de control și instrumentație.

Sistemul pornește de la stația electrică MV/LV dedicată clădirii instalațiilor ELF și HELENA2. Datorită puterii electrice pentru funcționarea ELF și HELENA2 este necesară o conexiune electrică dedicată de la stația de alimentare la clădirea ELF HELENA2. Nu este recomandată utilizarea aceleiași linii pentru alte utilități. Schema generală a sistemului electric este prezentată în Figura 7.9.2.1. Toate sursele de alimentare AC/DC care alimentează simulatorul de zonă activă (ELF) și simulatorul de caseta de combustibil (FPS) vor fi alimentate direct de la stația MV/LV cu linii de joasă tensiune (400V AC linie trifazată) .

Alimentarea electrică pentru celelalte încărcări electrice va fi structurată în următoarele tablouri:

- Tabloul serviciilor (Alimentare normala și de urgență): alimentează următoarele tablouri de control secundare:
 - Tabloul podului rulant (alimentare normală): alimentează sistemul macaralei.
 - Tabloul auxiliar (alimentare normală): alimentează următoarele componente:
 - sistem de iluminare,
 - sisteme de ventilație
 - sistem de priză de ieșire.
- Tabloul instalatiei HELENA2 (alimentare normală): alimentează următoarele componente ale instalației HELENA2:
 - o echipamente mecanice și electrice,
 - o cabluri de încălzire ale circuitului secundar.
- Tabloul instalatiei ELF (alimentare normală): alimentează următoarele componente ale instalației ELF:
 - o echipamente mecanice și electrice,
 - o cabluri de încălzire ale circuitului generator de abur.
- Tabloul instalatiei HELENA2 (alimentare de urgență): alimentează următoarele componente ale instalației HELENA2:
 - o cabluri de încălzire ale buclei principale,
 - o cabluri de încălzire ale sistemului Fill & Drain.
- Tabloul instalatiei ELF (alimentare de urgență): alimentează următoarele componente ale instalației ELF:
 - o cabluri de încălzire ale navei principale;
 - o cabluri de încălzire ale sistemului Fill & Drain.
- UPS-uri și Tablou neîntreruptibile (alimentare de urgență): alimentează următoarele componente:
 - echipamentele sistemului de control,
 - instrumentația,
 - stațiile de lucru.

Sistemelor interne de 400V AC (normală, de urgență și neîntreruptă) sunt prevăzute cu legătura la pământ. Conductorul neutru este întotdeauna distribuit și trebuie distribuit împreună cu conductoarele de împământare de protecție (PE) pentru a

realiza sistemul de distribuție electrică TN-S a instalației, conform recomandărilor standardelor IEC.

Conductorul de împământare de protecție va fi inclus în linia de alimentare primară și va fi conectat la sistemul de împământare general al clădirii și al stației MV/LV.

Principalul conductor de protecție la împământare al clădirii instalațiilor, care sosește din sistemul de împământare al Stației MV/LV, va fi conectat la o bară de pământ echipotențială generală instalată în Tabloul de Servicii. Toate conductoarele de împământare de protecție distribuite pe instalațiile ELF și HELENA2 vor fi conectate la bara de la sol a Tabloul de Servicii.

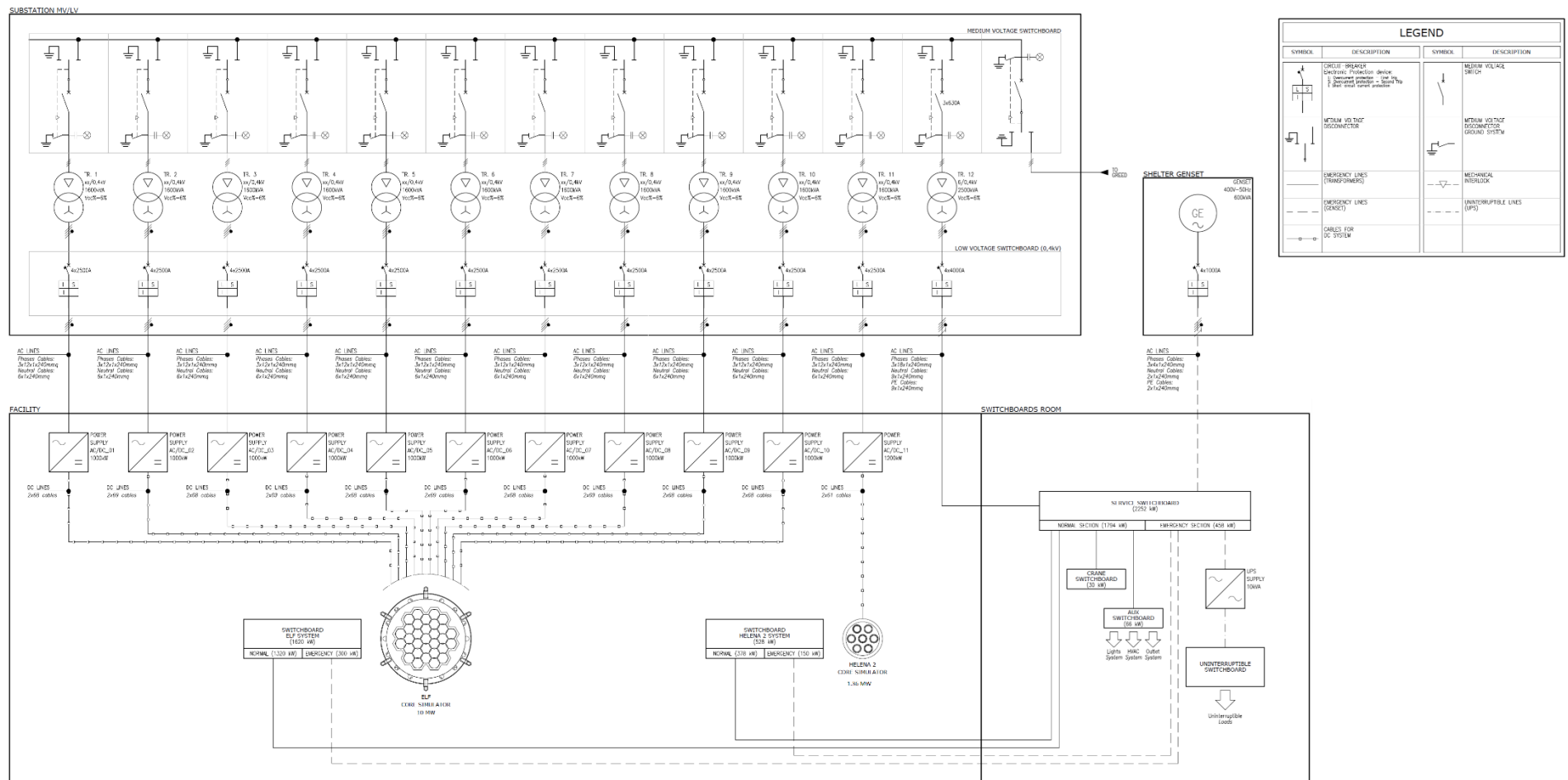


Fig. 7.9.2.1 Schema de alimentare electrica a cladirii HELENA2 si ELF [2]

7.9.3 Descrierea sistemului de alimentare al instalației ELF

Sistemul de alimentare cu energie electrică al instalației ELF este proiectat având în vedere componentele instalației descrise în secțiunile anterioare.

Figura 7.9.3.1 prezintă sistemul global de alimentare cu energie ELF de la liniile de alimentare cu energie electrică la dulapurile electrice și apoi până la senzorii și actuatorii instalației.

Dreptunghiurile punctate evidențiază diferitele dulapuri și secțiuni ale sistemului de alimentare. În cele ce urmează sunt descrise aceste părți:

- (1) **Componentele electrice comune** constau în infrastructura electrică care este necesară atât pentru alimentarea instalației ELF, a instalației HELENA2, cât și a clădirii.
- (2) **Sala de tablouri** este camera în care sunt amplasate principalele dulapuri electrice ale clădirii, este alimentată de la componentele electrice comune și alimentează clădirea și toate componentele instalațiilor, cu excepția simulatorului zona activă.
- (3) **Dulapul simulatorului de zonă activă** este infrastructura electrică necesară alimentării corespunzătoare a simulatorului, este alimentat de la componentele electrice comune și este plasat aproape de conexiunile de alimentare ale simulatorului de zonă activă.
- (4) **Dulapul electric** este principalul dulap al instalației, este alimentat din sala de tablouri și este amplasat în aceeași clădire a instalației, conține principalele componente electrice și electronice.
- (5) **Cabinetul de semnale** este alimentat de sala de tablouri prin intermediul tabloului de comandă neîntreruptibil, este plasat aproape de instalație și conține PLC-uri, șasiul de expansiune și cardurile de achiziție pentru a conecta componentele care furnizează semnalele instalației.

Componentele electrice comune și camera de sala de tablouri alimentează atât instalația ELF, cât și instalația HELENA2.

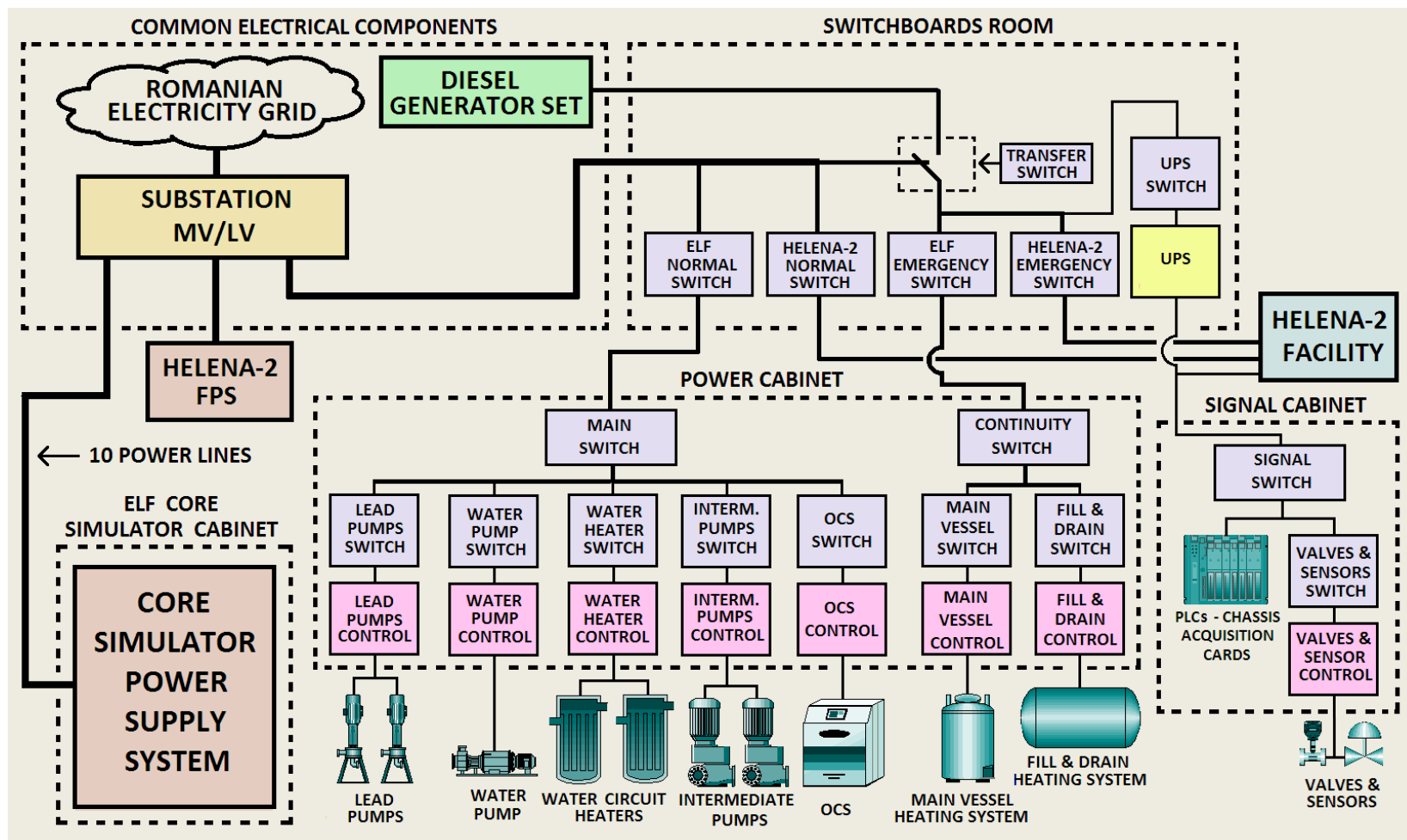


Fig. 7.9.3.1 Sistemul de alimentare electrica pentru instalatia ELF [2]

7.9.3.1 Descrierea sistemului de alimentare al instalației ELF

Componentele electrice comune vor fi amplasate în apropierea clădirii care va conține instalația ELF și HELENA2, sunt alimentate din infrastructura electrică locală, puterea globală necesară este de aproximativ 20 MVA.

Mai jos sunt descrise componentele electrice comune.

- (1) **Rețeaua electrică locală:** va alimenta stația MV/LV
- (2) **Stația MV/LV:** pentru a alimenta instalațiile și clădirea va fi necesară instalarea unei stații MV/LV (tensiune medie/tensiune joasă) în apropierea clădirii instalației ELF. Stația MV/LV este alimentată de rețeaua electrică locală. Stația alimentează toate instalațiile și echipamentele electrice pentru construcții. Stația MV/LV va conține 12 transformatoare, este posibil să găsiți informații detaliate legate de această componentă în secțiunea 7.9.2.
- (3) **Set diesel:** este componenta necesară alimentării liniei electrice de urgență în cazul întreruperii alimentării cu energie electrică. Grupul generator Diesel este un motor termic alimentat cu motorină, are un alternator care asigură energie electrică 400V AC-50 Hz trifazat, cu o putere electrică globală de ~ 600 kVA. Setul porneste automat atunci când sistemul detectează o pană de curent în linia normală de alimentare, în acest fel componentele conectate la linia electrică de urgență pot rămâne alimentate chiar și în caz de întrerupere a energiei electrice. Operația de comutare între cele două linii de alimentare va fi gestionată de componentele electrice ale salii de tablouri.

7.9.3.2 Sala tablourilor electrice

Camera tablourilor electrice va fi amplasată, din motive de siguranță, în interiorul clădirii, într-o încăpere specială. Va fi alimentată de la partea electrică comună și va conține componentele care alimentează sistemul electric și clădirile.

Mai jos sunt descrise componentele salii.

- (1) **Comutator alimentare normala ELF:** este un comutator automat alimentat de linia normală de alimentare și care alimentează cabinetul de alimentare al instalației ELF. Comutatorul normal ELF va fi dimensionat pentru a alimenta componentele electrice ale instalației ELF care nu trebuie să rămână alimentate în caz de pierdere de putere (cu excepția simulatorului de zonă activă) și trebuie să aibă o protecție magneto-termică diferențială.
- (2) **Comutator alimentare normala HELENA2:** conține un comutator automat alimentat de linia normală; alimentează cabinetul instalației HELENA; va fi dimensionat pentru a alimenta componentele electrice care nu trebuie să

rămână alimentate în caz de pierdere a alimentării cu energie (cu excepția simulatorului FPS); va fi dotat cu o protecție magneto-termică diferențială.

- (4) **Comutator de transfer:** este un set de componente electrice care comută sarcina (componentele conectate la linia electrică de urgență) între cele două surse (linie electrică normală, linia de urgență). Dacă linia electrică normală are o pană de curent, Switch Transfer trimite comanda de pornire a generatorului Diesel, aceasta deconectează sarcina de la linia normală de alimentare și, în final, conectează sarcina la linia electrică de urgență. Când linia de alimentare normală revine la funcționare, comutatorul de transfer deconectează încărcarea de la linia electrică de urgență, conectează sarcina la linia normală de alimentare și, în cele din urmă, trimite comanda de oprire la generatorul Diesel.
- (5) **Comutator de urgență ELF:** este un comutator automat alimentat de linia electrică de urgență și alimentează cabinetul de alimentare al instalației ELF. Comutatorul de urgență ELF va fi dimensionat pentru a alimenta componentele electrice ale instalației ELF care trebuie să rămână alimentate în caz de pierdere de energie și va avea o protecție diferențiată magneto-termică.
- (6) **Comutator de urgență HELENA2:** este un comutator automat alimentat de linia electrică de urgență și alimentează cabinetul de alimentare al instalației HELENA2. Va fi dimensionat pentru a alimenta componentele electrice ale instalației HELENA2 care trebuie să rămână alimentate în caz de pierdere de energie și va avea protecție magneto-termică diferențială.
- (7) **Comutator UPS:** este un comutator automat alimentat de linia electrică de urgență, alimentează componentele electrice care nu trebuie să rămână fără alimentare chiar și pentru o perioadă scurtă de timp (definită ca un interval neîntrerupt în secțiunea 7.9.2) pentru a gestiona siguranța instalației. Componentele alimentate de linia electrică neîntreruptă sunt componentele sistemului de control (PLC și carduri de achiziție), senzorii și vanele. Comutatorul UPS va fi dimensionat pentru a alimenta toate componentele aferente și trebuie să aibă protecția magneto-termică diferențială.
- (8) **UPS:** Sursa de alimentare neîntreruptibilă este componenta care menține alimentată încărcările neîntrerupte în caz de pierdere de energie, până când linia electrică de urgență alimentează din nou instalația generatoarelor Diesel. UPS-ul este compus dintr-o sursă de alimentare și un pachet de baterii, sursa de alimentare încarcă bateria atunci când este alimentată, iar în caz de pierdere de energie, sursa de alimentare a UPS-ului oferă energia de la baterie. Puterea necesară este de ~ 10 kW, linia electrică va fi de 230V AC și 24V DC. UPS asigură de asemenea încărcările neîntrerupte ale instalației HELENA 2.

7.9.4 Dulapul simulatorului zonei active

Dulapul simulatorului zonei active va fi amplasat în interiorul clădirii instalației. Va fi alimentat direct de stația MV/LV, deoarece puterea globală este foarte mare.

Se intenționează ca valorile de proiectare tehnica pentru componentele dulapului simulatorului de zonă activă să fie calculate pe baza experienței anterioare cu simulatoarele similare. Datele cele mai precise vor fi disponibile atunci când compania care va fabrica simulatorul de zonă va oferi valorile finale ale rezistențelor pinilor electrice.

7.9.4.1 Arhitectura generală a simulatorului de zonă activă

Structura simulatorului de zonă activă al instalației experimentale ELF constă în 31 de module plasate într-o rețea triunghiulară. Cele 16 module centrale sunt alimentate, în timp ce cele 15 module notate cu „DA”, „CR” și „IPS” nu sunt alimentate. Puterea globală a simulatorului va fi de 10 MW.

Fiecare din cele 16 module alimentate va avea următoarele caracteristici:

- Numărul de pini: 36
- Înălțimea fiecărui pin: 810 mm
- Putere pe mm a fiecărui pin: ~ 21,1 W
- Puterea globală a fiecărui pin: ~ 17,1 kW
- Puterea globală a fiecărui modul: ~ 615,6 kW
- Puterea globală a simulatorului de zonă activă: ~ 10 MW

Modulele alimentate funcționează întotdeauna împreună la aceeași putere, astfel încât nu este posibilă pornirea/oprirea câte unui modul.

7.9.4.2 Sistemul de alimentare electric al simulatorului de zonă activă

Sistemul de alimentare a simulatorului de zonă activă este format din trei tipuri de componente:

- transformator (tensiune medie la joasă tensiune),
- modul convertor,
- dulap de distribuție.

Pentru a alimenta cele 16 module ale simulatorului de zonă activă vor fi utilizate 10 linii de alimentare diferite. Pentru fiecare linie va fi instalat respectiv un transformator (medie tensiune la joasă tensiune), un modul convertor și un dulap de distribuție. Transformatoarele vor fi instalate în interiorul stației MV/LV, în timp ce modulele

convertoare și dulapurile de distribuție vor fi instalate în interiorul clădirii în apropierea conectorilor pinilor simulatorului de zona activa.

În secțiunile următoare sunt descrise cele trei tipuri de componente.

7.9.4.3 Transformatorii pentru simulatorul de zona activa

Cele 10 transformatoare ale simulatorului de zona activa din instalatia ELF vor converti tensiunea medie în trei faze de joasă tensiune. Vor fi instalate în interiorul stației MV/LV.

Fiecare transformator va avea următoarele caracteristici tehnice:

- Tensiune de intrare: tensiune de stație locală (de exemplu 15kV AC),
- Tensiune de ieșire: 400V AC,
- Curent nominal: 2500 A.

7.9.4.4 Modulele convertor pentru simulatorul de zona activa

Cele 10 module convertor ale simulatorului de zona activa al instalatiei ELF convertesc tensiunea de curent alternativ provenind de la transformatoare la o tensiune joasă trifazată AC cu trei faze, iar după aceea se va redresa la tensiunea continua corectă pentru alimentarea pinilor electrice.

Fiecare modul convertor va fi compus din următoarele componente:

- (1) Intrerupător principal,
- (2) Transformator de la tensiune joasă trifazată AC la o tensiune joasă trifazică AC mai mică;
- (3) Unitatea de rectificare ajustată de SCR în configurația cu șase faze,
- (4) Filtre de curent,
- (5) Sistem de răcire pentru a asigura o stare bună de lucru,
- (6) Reglarea, măsurarea și protecția circuitelor.

Fiecare transformator va avea următoarele caracteristici tehnice:

- Tensiune de intrare: 400V AC;
- Tensiune de ieșire: ~ 165V AC;
- Putere nominală: 1 MW;

Fiecare redresor va avea următoarele caracteristici tehnice:

- Tensiune de intrare: ~ 165V AC;
- Tensiune de ieșire: ~ 0-200V DC;

- Curent de ieșire: 0-5000 A;
- Putere nominală: 1 MW.

7.9.4.5 Dulapurile de distribuție ale simulatorului de zona activa

Cele 10 dulapuri de distribuție ale simulatorului de zona activa al instalației ELF distribuie tensiunea de curent continuu la cei 576 pini a simulatorului. Vor fi prevăzute cu o unitate de ventilație și o sursă de alimentare pentru contactoare, traductoare și relee, iar aceasta va fi realizată în clasa de protecție IP-51.

Fiecare dulap de distribuție va fi compus din următoarele componente:

- 58 contactori statici de pornire/oprire, câte unul pentru fiecare pin,
- 58 siguranțe foarte rapide,
- 58 traductoare de curent de tip shunt,
- 1 traductor global de tensiune,
- 1 traductor de curent global.

Componentele dulapului de distribuție vor avea următoarele caracteristici tehnice:

- Contactoare: 200V, 100 A,
- Siguranțe: 100 A,
- Traductoare de curent: 0-100 A,
- Traductor de tensiune globală: 0-200V,
- Traductor de curent global: 0-5500 A.

7.9.5 Dulapul de sarcina

Dulapul de sarcina va fi amplasat în interiorul clădirii instalației. Pentru instalația ELF sunt prevăzute trei linii electrice diferite, așa cum s-a descris anterior:

- Linia de alimentare normală este o linie trifazată de 400V AC-50 Hz cu o putere globală de 1.3 MW.
- Linia electrică de urgență este o linie trifazată de 400V AC-50 Hz cu o putere globală de 300 kW.
- Linia electrică neîntreruptibilă este o linie monofazată de 230V AC-50Hz, cu o putere globală de 10 kVA.

Mai jos sunt descrise principalele componente.

- **Întrerupător principal:** este un comutator automat alimentat de linia normală de alimentare pentru a furniza electricitate către toate componentele

instalației care nu trebuie să rămână alimentate în caz de întrerupere a energiei electrice (cu excepția simulatorului de zona activă). Va fi dimensionat pentru a alimenta toate componentele aferente și trebuie să aibă o protecție magneto-termică diferențială.

- **Comutator de continuitate:** este un comutator automat alimentat din linia electrică de urgență pentru a furniza energie componentelor electrice care trebuie să rămână alimentate în caz de întrerupere. Va fi dimensionat pentru a alimenta toate componentele aferente și trebuie să aibă o protecție magneto-termică diferențială.

- **Comutatorul pompelor de plumb:** este un comutator automat alimentat de comutatorul principal pentru a alimenta pompa de plumb instalată în vasul principal. Comutatorul pompei de plumb va fi dimensionat pentru a alimenta toate pompele și trebuie să aibă o protecție magneto-termică diferențială.

- **Controlul pompelor de plumb:** este sistemul format din componentele electrice și electronice necesare pentru gestionarea pompelor de plumb. Acesta este alimentat de comutatorul pompelor de plumb și are rolul de a alimenta pompa de plumb urmând instrucțiunile PLC-urilor. Componentele preconizate pentru Controlul pompelor de plumb sunt contactorii, convertorii de frecvență și siguranțele.

- **Pompa de plumb:** conține componentele necesare pentru a circula plumbul în interiorul vasului principal. Puterea necesară pentru cele trei pompe este de ~ 600 kW, iar linia de alimentare va fi trifazată, 400V AC. Pompele de plumb sunt alimentate de Controlul pompelor de plumb, astfel încât pompele sunt alimentate dacă Comutatorul pompelor de plumb este pornit și PLC-urile activează Controlul pompelor de plumb.

- **Comutator pompă de apă:** este un comutator automat alimentat de Comutatorul principal având funcția de a alimenta pompa din circuitul generatorului de abur. Va fi dimensionat pentru a alimenta pompa și trebuie să aibă protecția magneto-termică diferențială.

- **Controlul pompei de apă:** este sistemul format din componentele electrice și electronice necesare pentru gestionarea pompei de apă. Este alimentat de Comutatorul pompei de apă având funcția de a alimenta pompa de apă urmând instrucțiunile PLC-urilor. Componentele preconizate pentru Controlul pompei de apă sunt contactorul, convertorul de frecvență și siguranța.

- **Pompă de apă:** conține componentele necesare pentru a circula apa în circuitele generatorului de abur. Puterea necesară este de ~ 250 kW, iar linia de alimentare va fi de 400V AC trifazată. Pompa de apă este alimentată de Controlul pompei de apă, astfel încât pompa este acționată dacă Comutatorul pompei de apă este pornit și PLC-urile activează Controlul pompei de apă.

- **Comutator pentru încălzirea apei:** comutatorul încălzitor de apă este un comutator automat alimentat de Comutatorul principal având funcția de a alimenta sistemul de încălzire al circuitului generatorului de abur. Comutatorul de încălzire a apei va fi dimensionat pentru a alimenta toate cablurile de încălzire ale circuitului generatorului de abur și trebuie să aibă o protecție diferențială magneto-termică. În conformitate cu cerințele de instalare, pot fi instalate întrerupătoare suplimentare pentru a proteja orice linie de încălzire unică sau mai multe linii de încălzire.
- **Controlul încălzitorului de apă:** este sistemul format din componentele electrice și electronice necesare gestionării sistemului de încălzire a circuitului generatorului de abur pe baza instrucțiunilor PLC-urilor. Este alimentat de Comutatorul pentru încălzirea apei, urmând instrucțiunile PLC-urilor. Componentele preconizate pentru Controlul încălzitorului de apă sunt contactoarele, relele cu stare solidă și siguranțele. În conformitate cu cerințele de instalare, pot fi instalate componente suplimentare pentru a gestiona orice linie de încălzire unică sau mai multe linii de încălzire.
- **Încălzitoarele circuitului cu apă:** reprezintă cablurile de încălzire și cotelile de încălzire instalate pe circuitul generatorului de abur necesare pentru încălzirea acestuia. Puterea necesară pentru încălzirea corespunzătoare a circuitului este de ~ 100 kW, iar linia de alimentare va fi de 230 V monofază. Cablurile de încălzire sunt alimentate de Controlul încălzitorului de apă, astfel încât sistemul de încălzire este alimentat dacă întrerupătorul încălzitorului de apă este pornit și dacă PLC-urile activează Controlul încălzitorului de apă.
- **Comutatorul pompelor intermediare:** este un comutator automat alimentat de Comutatorul principal având funcția de a alimenta pompele intermediare instalate în circuitul intermediar. Comutatorul pompelor intermediare va fi dimensionat pentru a alimenta pompele și trebuie să aibă o protecție magneto-termică diferențială.
- **Controlul pompelor intermediare:** este sistemul format din componentele electrice și electronice necesare pentru gestionarea pompelor din circuitul intermediar. Este alimentat de Comutatorul pompelor intermediare având funcția de a alimenta pompele urmând instrucțiunile PLC-urilor. Componentele preconizate pentru Controlul pompelor intermediare sunt contactoarele, convertoarele de frecvență și siguranțele.
- **Pompe intermediare:** sunt componentele necesare pentru a circula apa în circuitul intermediar în vederea îndepărtării căldurii din circuitul generatorului de abur și pentru a reumple circuitul intermediar cu apă. Puterea necesară a pompelor este de ~ 100 kW, iar linia de alimentare va fi de 400V AC trifază. Pompele intermediare sunt alimentate de Controlul pompelor intermediare,

astfel încât pompele sunt alimentate dacă Comutatorul pompelor intermediare este pornit și PLC-urile activează Controlul pompelor intermediare.

- **Comutator OCS:** este un comutator automat alimentat de Comutatorul principal pentru a alimenta sistemul de control al oxigenului. Comutatorul OCS va fi dimensionat pentru a alimenta componenta aferentă și trebuie să aibă o protecție magneto-termică diferențială.

- **Control OCS:** este sistemul format din componentele electrice și electronice necesare pentru gestionarea automata a sistemului de control al oxigenului. Este alimentat de Comutatorul OCS și are funcția de a alimenta sistemul de control al oxigenului, urmând instrucțiunile PLC-urilor. Componentele preconizate pentru controlul OCS sunt contactorul și siguranța.

- **OCS:** conține componentele necesare pentru efectuarea purificării plumbului în vasul de depozitare și în vasul principal. Puterea necesară este de ~ 10 kW, iar linia de alimentare va fi de 230 V monofazată. OCS este alimentat de Controlul OCS, deci este alimentat atunci când Comutatorul OCS este pornit și PLC-urile activează controlul OCS.

- **Comutator vasului principal:** este un comutator automat alimentat de Comutatorul de continuitate având funcția de a alimenta sistemul de încălzire al vasului principal. Va fi dimensionat pentru a alimenta toate cablurile de încălzire ale vasului principal și trebuie să aibă o protecție magneto-termică diferențială. În conformitate cu cerințele de instalare, pot fi instalate întrerupătoare suplimentare pentru a proteja orice linie de încălzire unică sau mai multe linii de încălzire.

- **Control vas principal:** este sistemul format din componentele electrice și electronice necesare pentru gestionarea sistemului de încălzire al vasului principal de către PLC-uri. Este alimentat de Comutatorul vasului principal, urmând instrucțiunile PLC-urilor. Componentele preconizate pentru Controlul vasului principal sunt contactoarele, releele cu stare solidă și siguranțele. În conformitate cu cerințele de instalare, pot fi instalate componente suplimentare pentru a gestiona orice linie de încălzire unică sau mai multe linii de încălzire.

- **Sistem de încălzire al vasului principal:** conține cablurile de încălzire instalate pe vasul principal, necesare pentru încălzirea acestuia. Puterea pentru încălzirea corectă a vasului este de ~ 125 kW, iar linia de alimentare va fi de 230 V AC monofazată. Cablurile de încălzire sunt alimentate de Controlul vasului principal, astfel încât sistemul de încălzire este alimentat dacă Comutatorul vasului principal este pornit și dacă PLC-urile activează Controlul vasului principal.

- **Comutator de umplere și scurgere:** este un comutator automat alimentat de Comutatorul de continuitate cu rolul de a alimenta cablurile de încălzire ale sistemului de umplere și scurgere. Comutatorul de umplere și scurgere va fi

dimensionat pentru a alimenta toate cablurile de încălzire ale sistemului Fill & Drain și trebuie să aibă o protecție diferențială magneto-termică. În conformitate cu cerințele de instalare, pot fi instalate întrerupătoare suplimentare pentru a proteja orice linie de încălzire unică sau mai multe linii de încălzire.

- **Control de umplere și scurgere:** este sistemul format din componentele electrice și electronice necesare pentru gestionarea automata a cablurilor de încălzire a sistemului de umplere și scurgere. Este alimentat de Comutatorul de umplere și scurgere prin intermediul PLC-urilor. Componentele preconizate pentru Controlul de umplere și scurgere sunt contactoarele, relele de stare solidă și siguranțele. În conformitate cu cerințele de instalare, pot fi instalate componente suplimentare pentru a gestiona orice linie de încălzire unică sau mai multe linii de încălzire.

- **Sistem de încălzire pentru umplere și scurgere:** conține cablurile de încălzire instalate pe sistemul de umplere și scurgere, necesare pentru încălzirea acestuia. Puterea necesară pentru încălzirea corespunzătoare a sistemului de umplere și scurgere este de ~ 175 kW, iar linia electrică va fi de 230 V AC monofază. Cablurile de încălzire sunt alimentate de Controlul de umplere și scurgere, astfel încât sistemul de încălzire este alimentat dacă Comutatorul de umplere și scurgere este pornit și PLC-urile activează controlul de umplere și scurgere.

7.9.6 Dulapul de semnale

Dulapul de semnale va fi amplasat în interiorul clădirii, aproape de instalație, pentru a evita zgomotul care poate perturba semnalele instrumentelor. Va fi alimentat de linia electrică neîntreruptă care vine din sala de tablouri.

Mai jos sunt descrise principalele componente ale cabinetului de semnalizare:

- **Comutator de semnal:** este un comutator automat alimentat de linia de alimentare neîntreruptibilă; alimentează toate componentele cabinetului de semnal, vanele și senzorii instalației. Va fi dimensionat pentru a alimenta toate componentele aferente și trebuie să aibă o protecție magneto-termică diferențială.

- **PLC-uri, șasiuri și carduri de achiziție:** PLC-urile, șasiurile și cardurile de achiziție verifică senzorii instalației, gestionează funcționarea instalației și efectuează procedurile automate. Sunt alimentate de sursa de curent continuu de 24 V DC.

- **Control vane și senzori:** este sistemul format din componentele electrice și electronice necesare gestionării vanelor și senzorilor de către PLC-uri. Este alimentat de surse de 230V AC sau 24V DC și are funcția de a alimenta

supapele și senzorii urmând instrucțiunile PLC-urilor. În conformitate cu cerințele de instalare, pentru fiecare componentă sau grup de componente pot fi instalate relee și siguranțe suplimentare.

- **Vane și senzori:** sunt componentele ale instalației necesare pentru a asigura o funcționare corectă. Sunt alimentate de controlul vanelor și senzorilor, astfel încât componentele unice sunt alimentate sau nu, în funcție de comenzile PLC.

8. Cerinte constructive pentru cladire

Pentru a adaposti instalatiile HELENA2 și ELF este considerată o cladire comuna, avand ca element principal o hală experimentală dotată cu un pod rulant de 30 de tone, avand urmatoarele dimensiuni:

- Amprentă: 28 X 45,5 m²
- Înălțime: 30 m

Podul rulant se va ridica pana la o înălțime de aproximativ 25 m și va fi proiectat pentru a instala componente foarte lungi (de exemplu, simulatorul de zona activa) cu o precizie ridicată. În acest scop, poate fi necesară ascensiunea, coborârea și viteza de translație mai mică de 10 mm/s.

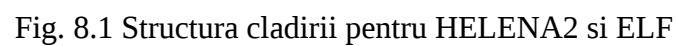
În interiorul clădirii este amplasat un puț vertical care va gazdui instalația ELF, rezervorul de stocare, rezervorul de transfer, precum și o parte a vasului care contine zona activa ELF. Amplasarea si dimensionarea sunt facute astfel incat sa permita instalarea si manevrarea componentelor in vas (Fig. 8.1, 8.2).

Clădirea va include (in zona adiacenta halei experimentale):

- Cameră pentru aer comprimat, aprox. 4x3 m²,
- Cameră cu gaz (Argon și Helium), aprox. 4x8 m²,
- Sala de ședințe, aprox. 6x8 m²,
- Camera de control aprox. 4x8 m²,
- Camera generatorului electric Genset,
- Atelier,
- Cameră pentru stația electrica, aprox.10x30 m²,
- Zona turnului de răcire ELF, aprox.10x10 m²

Este recomandabil ca accesul in cladire sa se faca pe o poarta principală dubla, pe o cale dreaptă, care să permită camioanelor care transportă componente mari să intre în clădire, să descarce printr-o macara de tip pod rulant și să poata ieși din clădire fără manevre interne.

In hala experimentală va fi instalat un sistem de încălzire, ventilație și climatizare (HVAC). Este dedicat în principal răcirii partii inactive a simulatorului de zona activa (ELF CS) și a celui de caseta combustibilă (HELENA2 FPS), conexiunile electrice aferente și pentru îndepărtarea căldurii din put create din cauza pierderilor termice din vasele de stocare, transfer. Precum și din vasul principal al ELF. Estimările pentru debitul de functionare sunt: 30800 mc/h (ELF CS), 13050 mc/h (HELENA2 FPS) sunt luate în considerare (a se vedea Fig. 8.3).



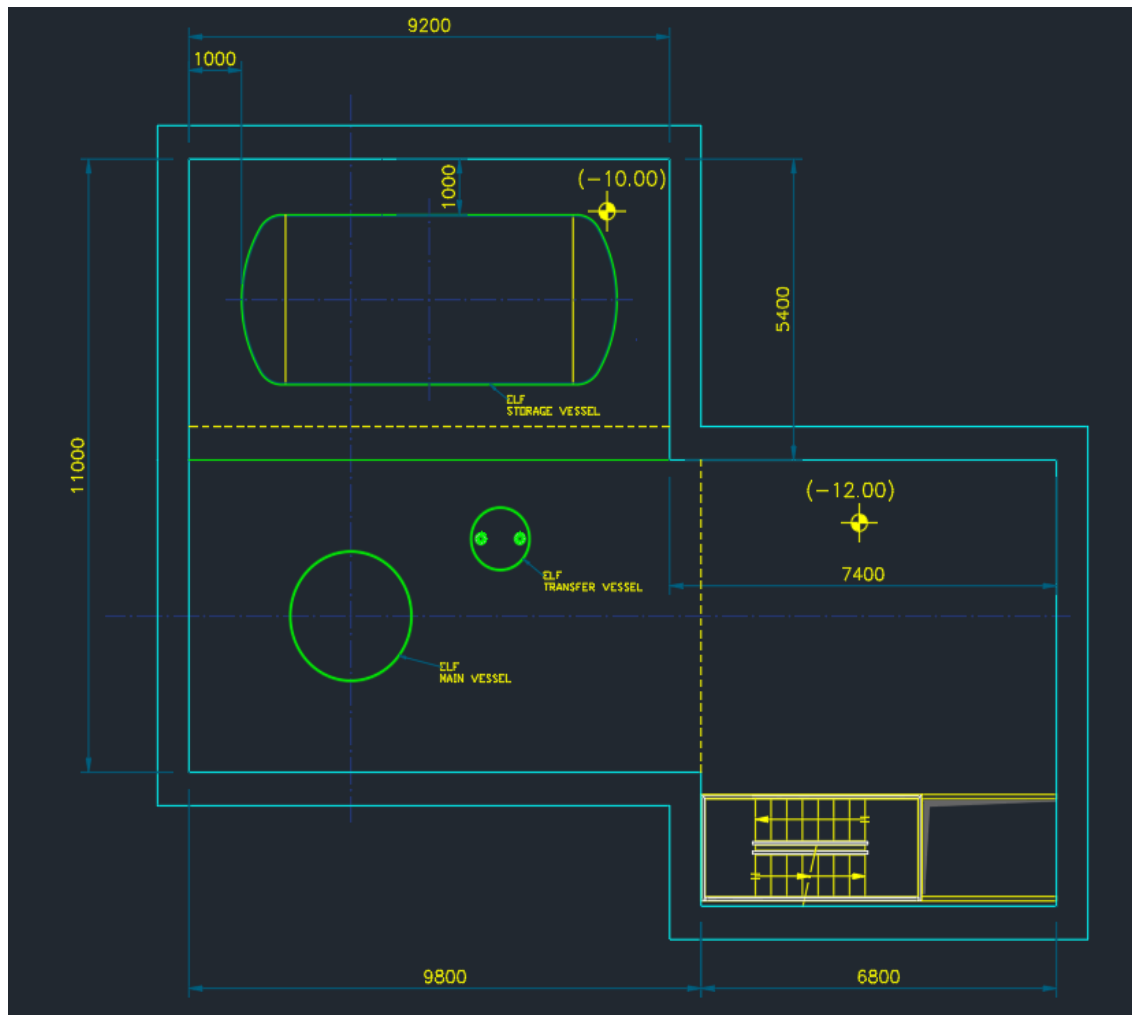


Fig. 8.2 Detalii privind amplasarea putului in cladirea Structura cladirii pentru HELENA2 si ELF

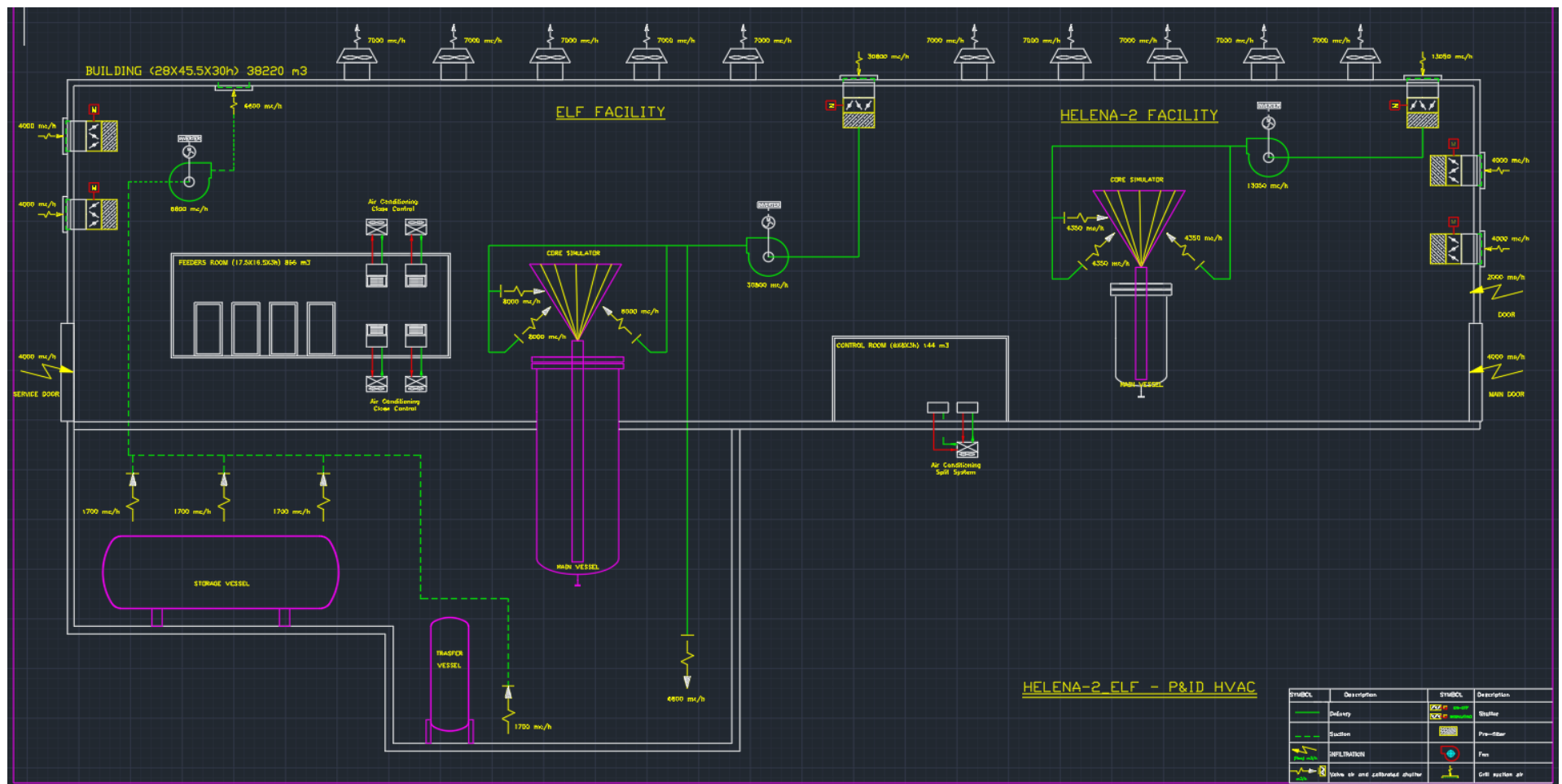


Fig. 8.3 Sistem de încălzire, ventilație și climatizare (HVAC) pentru HELENA2 si ELF

9. Instalare si testare

Pentru funcționarea sigură și corectă a instalației ELF, inclusiv instalarea și punerea în funcțiune, sunt identificate următoarele probleme.

- (1) Vasul principal ELF, vasul de depozitare, vasul de transfer vor fi instalate în puțul clădirii, înainte de instalarea acoperișului clădirii și a podului rulant. Din acest motiv, pentru instalare în timpul construcției clădirii, va fi necesară o macara cu roți.
- (2) Din cauza dimensiunilor zonei active simulate a instalației ELF pentru instalarea acesteia va fi necesară o macara plus macara cu roți. Macaraua și macaraua cu roți vor lucra împreună pentru a descărca zona activă simulată din camion și pentru a ridica componenta pentru instalare în vasul principal.
- (3) Pentru funcționarea în siguranță, datorită utilizării mari a argonului (gaz asfixiant), senzorii de oxigen trebuie să fie instalați în puțul clădirii pentru a asigura securitatea lucrătorilor care stau în acea zonă.
- (4) Pentru funcționarea în condiții de siguranță a ambelor instalații, în hala experimentală trebuie instalat CCTV (televizor cu circuit închis), cu o direcție în camera de control.
- (5) Personalul angajat în instalații trebuie instruit corespunzător înainte de începerea operațiunilor.
- (6) Pe parcursul efectuării testelor experimentale, zona halei este interzisă operatorilor și oamenilor de știință pentru a evita orice risc de expunere la temperaturi ridicate.

10. Regimuri accidentale

Pentru perioada funcționării instalațiilor experimentale cu răcire cu plumb, următoarele trei scenarii sunt considerate ca regimuri accidentale:

- 1) Incendiu,
- 2) Scurgerea lichidului de răcire (plumb),
- 3) Scurgeri de gaze sau apă/abur.

Pentru riscul de incendiu, având în vedere prezența mare a sistemelor și componentelor electrice, se recomandă utilizarea stingătoarelor cu gaz, nefiind recomandată dotarea clădirii cu sisteme anti-incendiu de apă sau praf.

În hala experimentală nu sunt necesari pereți antiincendiu de separare a instalațiilor. Hidrogenul prevăzut a fi utilizat în timpul funcționării instalațiilor va fi generat de un generator dedicat de hidrogen, fără utilizarea vreunei butelii sub presiune.

Pentru celelalte săli (de ex. Sala de control, sala de ședințe), se va aplica regulamentul privind riscurile de incendiu și prevenirea lor, aflat în vigoare.

În caz de incendiu cea mai bună abordare consta în disponibilitatea personalului instruit, utilizarea echipamentelor individuale de protecție și utilizarea stingătoarelor cu gaz. Între timp pompierii sunt anunțați să intervină la fața locului.

Fiecare instalație va dispune de telecomandă pentru trecerea în configurație sigură, în caz de incendiu în hala experimentală (adică oprirea puterii, scurgerea de urgență etc.)

În ceea ce privește scurgerea lichidului de răcire din instalație, acest eveniment va fi monitorizat de senzorii de scurgere instalați pe flanșe și conectorii conductelor. Îmbinările sudate nu sunt monitorizate probabilitatea de scurgere fiind considerată foarte scăzută. În caz de scurgere, prin telecomandă, se va comuta în configurație sigură, în cazul unui incendiu în sala experimentală (adică oprirea puterii, scurgerea de urgență etc.).

În cele din urmă, luând în cazul considerării unei scurgeri de gaz sau abur/apă, scurgerea va fi monitorizată datorită traductoarelor de presiune instalate pe conducte, vase, butelii de gaz. De asemenea, în acest caz, prin telecomandă, instalațiile vor fi comutate în configurație sigură, în caz de incendiu în hala experimentală (adică oprirea puterii, scurgerea de urgență, etc.).

După punerea în condiții de siguranță, echipa de întreținere va asigura identificarea defectării și demararea procedurii de întreținere.

Pentru fiecare instalație, un manual de operare, un manual de întreținere și un manual de siguranță și securitate vor fi emise de proprietarul instalației înainte de operare. De obicei, aceste manuale și proceduri sunt elaborate în faza de punere în funcțiune, cu sprijinul proiectanților.

11. Elemente de cost

Atât pentru instalația HELENA2 [16], cât și pentru ELF, a fost efectuată o evaluare preliminară a costurilor, luând în considerare elementele necesare pentru un studiu de fezabilitate, pe baza informațiile disponibile până acum.

Este de notat faptul ca multe componente au nevoie de o analiză detaliată, în special în cazul instalației ELF (de exemplu simulatorul zonei active, pompe principale, generatoare de abur, bucla externă). Evaluarea costurilor din aceasta secțiune poate fi utilizată pentru confirmarea fezabilității economice și tehnice și o viitoare dezvoltare a proiectului.

11.1 ELF

Pentru instalația ELF estimările de cost sunt prezentate în Tabelul 11.1.1.

Tabelul 1 ELF, elemente de cost

	Cost estimat [Euro]	Fractia in costul total [%]
Poiectare si inginerie	3,791,050.00	14.4
Fabricatie si achizitii	20,789,000.00	78.9
Instalare	1,423,950.00	5.4
Punere in functiune	106,680.00	0.4
Asistenta tehnica	160,020.00	0.6
Pregatirea personalului de operare	80,010.00	0.3
Agent de racire (plumb)	Nu a fost inclus	
Cladire	Nu a fost inclus	
Servicii cladire	Nu a fost inclus	
Cost total	26,341,710.00	
Cost total (+30%)	34,244,223.00	
Cost total (-30%)	18,439,197.00	

Fabricația și achizițiile iau în calcul și transportul componentelor mari (adică vasul principal și rezervorul de depozitare) pe amplasament, pentru care au fost contabilizate aproximativ 1 M €.

Pentru instalare a fost considerata închirierea unei macarle cu roți (pentru aproximativ 300 k€) în vederea instalării simulatorului de zona activa (ELF CS), care va fi utilizată împreună cu podul rulant din hala.

Mai mult, au fost luate în considerare 30 de zile lucrătoare (în atelier), cu 2 muncitori specializați (2 mecanici) pentru a pregăti componentele interne ale ELF.

După aceea, au fost luate în considerare 200 de zile lucrătoare (pe amplasament), cu 6 lucrători specializați (3 mecanici, 2 electricieni, 1 inginer în calitate de șef de echipă).

Pentru punerea în funcțiune au fost luate în considerare 20 de zile lucrătoare cu 4 lucrători specializați (2 electricieni, 1 inginer nuclear, 1 inginer software în calitate de supervisor de echipă). Pentru asistență tehnică și pentru programul de formare a operatorilor au fost considerați 3 lucrători specializați (1 inginer software, 1 inginer nuclear, 1 electric) pentru o perioadă de 60, respectiv 30 de zile.

În vederea discutării unor variante de cost în cadrul studiului de fezabilitate a fost definită și o **varianta cu o reducere a puterii de 25%** (de la 10 MW la 7.5 MW). În evaluarea acestora au fost făcute următoarele ipoteze:

- 1) dimensiunea zonei active imitate va rămâne aceeași; pentru a reduce puterea, 4 casete simulate vor fi convertite în casete de reflector (DA); numărul de încălzitoare electrice va fi redus de la 576 la 432 (fără a lua în considerare încălzitoarele electrice pentru a simula puterea termică în DA),
- 2) o reducere a performanței pompelor în ceea ce privește debitul principal,
- 3) o reducere a costurilor pe bucla secundară, inclusiv turnul de răcire,
- 4) o reducere a performanței sistemului de ventilație,
- 5) vasul principal poate fi redus în diametru interior, de la 2300 mm la 2000 mm, permițând o reducere a masei lichidului de răcire de aproximativ 25% (de la 470 tone la 350 tone),
- 6) puterea electrică globală poate fi redusă în consecință, de la 20 MVA la aproximativ 15-17 MVA.

În conformitate cu aceste ipoteze au fost estimate costurile prezentate în Tabelul 11.1.2.

Potrivit acestui fapt, opțiunea de 7,5 MW permite siguranța a aproximativ 3,3 M € (aproximativ 13%) din costul total nominal, fără a lua în considerare economia la inventarul lichidului de răcire, serviciile clădirilor (de exemplu, energia electrică globală instalată) etc.

Tabelul 2 ELF, elemente de cost, varianta P=7.5 MW

	Cost estimat [Euro]	Fractia in costul total [%]
Poiectare si inginerie	3,097,447.00	13.5
Fabricatie si achizitii	18,108,700.00	78.8
Instalare	1,423,950.00	6.2
Punere in functiune	106,680.00	0.5
Asistenta tehnica	160,020.00	0.7
Pregatirea personalului de operare	80,010.00	0.3
Agent de racire (plumb)	Nu a fost inclus	
Cladire	Nu a fost inclus	
Servicii cladire	Nu a fost inclus	
Cost total	22,976,807.00	
Cost total (+30%)	29,869,848.00	
Cost total (-30%)	16,083,765.00	

9. Recomandări

În Figura 9.1 este prezentată viziunea privind etapele de implementare care urmează a fi realizate după întocmirea studiului de fezabilitate.

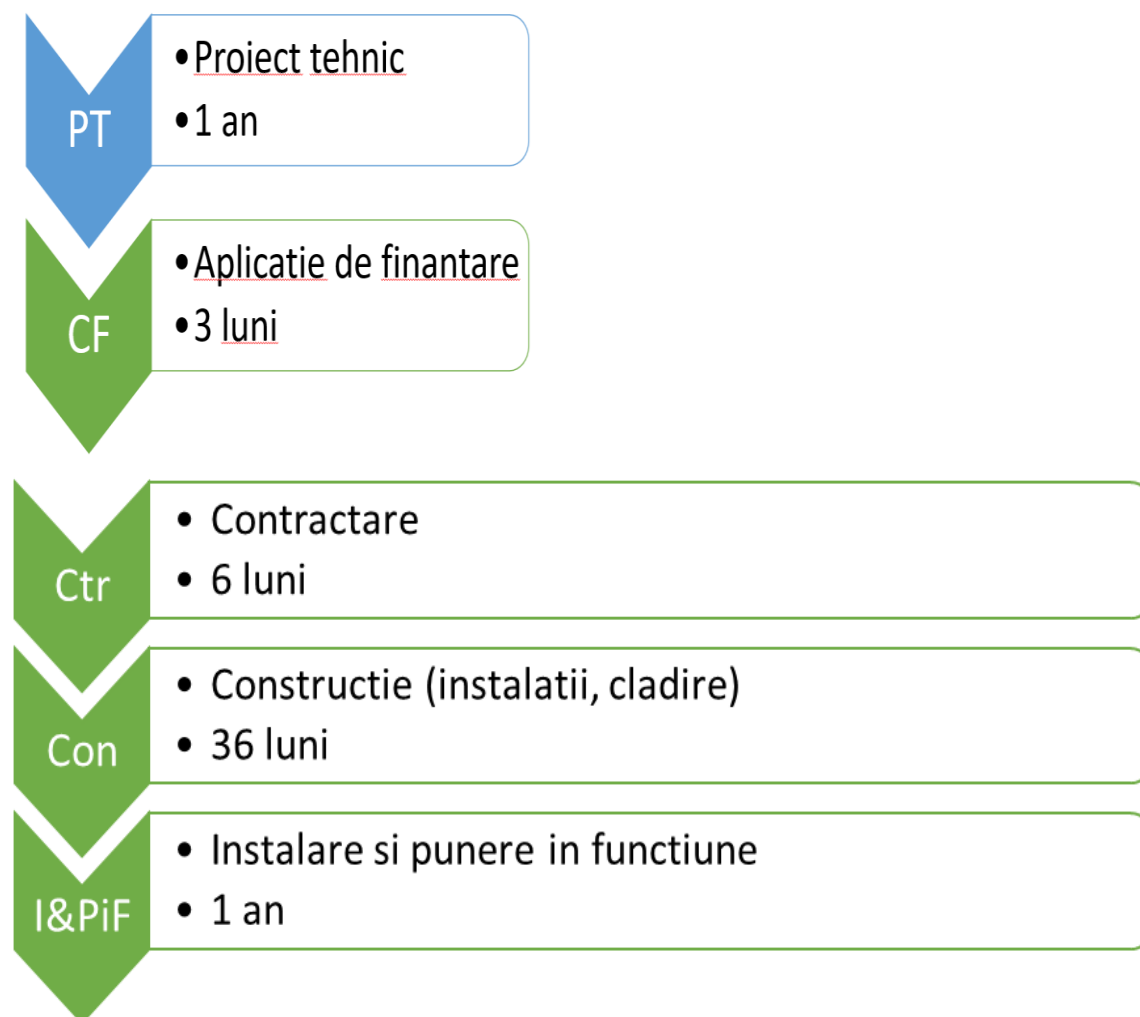


Fig.6.1 Etape și durate pentru implementare

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

- (1) având în vedere decizia de instalare într-o cladire comună a instalațiilor HELENA2 și ELF se va realiza un studiu de fezabilitate care va aborda, în mod integrat, ambele instalații experimentale; studiul va fi finalizat în etapa curentă a proiectului PRO-ALFRED;
- (2) ținând cont de orizontul de timp pentru realizarea ALFRED și de rolul instalațiilor experimentale suport în procesul de autorizare este nevoie de

trecerea imediata, dupa intocmirea studiului de fezabilitate, la pregătirea elementelor necesare pentru realizarea aplicației pentru accesarea de fonduri nerambursabile; aplicatia va fi ingloba cele doua instalatii experimentale (HELENA2 si ELF) si cladirea aferenta, impreuna cu elementele necesare pentru conectarea la rețeaua de utilitati.

- (3) datorita cerintelor operationale de alimentare cu energie electrica pentru o putere mare (in principal datorita ELF), este nevoie de extinderea actualei statii electrice a platformei nucleare Mioveni; tinand cont de faptul ca modernizarea/extinderea statiei este de utilitate pentru intreaga platforma si ca este putin probabil ca o astfel de activitate sa intre in categoria de activitati eligibile a proiectul de implementare a instalatiilor HELENA2 si ELF se recomanda realizarea unui proiect separat de modernizare a infrastructurii platformei si de angajarea rapida de eforturi pentru identificarea solutiei de finantare si demararea proiectului in concordanta cu orizontul de timp propus pentru HELENA2 si ELF (2025).
- (4) avand in vedere nivelul investitional ridicat rezultat din costurile estimate pentru HELENA2, ELF si cladirea aferenta sunt necesare eforturi de constientizare a decidentilor pentru definirea acoperitoare a valorii totale a proiectului, in acest sens este necesara o comunicare coerenta a RATEN cu autoritatile nationale de management a fondurilor europene.

10. Concluzii

(C1) Raportul prezintă realizarea proiectului conceptual al instalației experimentale ELF. Aceasta este o instalație tip piscină, cu plumb pur, operată în regim de circulație naturală sau forțată și este destinată testelor pentru funcționarea componentelor, echipamentelor și sistemelor aferente reactorului de demonstrație ALFRED, precum și a măsurării caracteristicilor de fiabilitate.

(C2) Instalația ELF simulează prin încălzitoare electrice funcționarea reactorului ALFRED. Instalația va servi, în principal, la testarea componentelor mari și a întregului ansamblu în regim de funcționare pe termen lung (regim de durabilitate). Principalele componente testate sunt pompele circuitului primar, generatorii de abur, sistemul de evacuare a căldurii de dezintegrare (DHR). Funcționalitatea va fi testată atât în regim de circulație forțată a plumbului, precum și în situațiile accidentale de oprire a pompelor (circulație naturală). O atenție deosebită va fi acordată studiului comportării materialelor și componentelor în condiții de eroziune și coroziune, precum și în regimuri tranzitorii sau mixte.

(C3) Proiectul conceptual va constitui baza tehnică pentru realizarea, în cadrul proiectului PRO-ALFRED pachetul de lucru WP1, a studiului de fezabilitate. Datorită soluției selectate pentru amplasare instalația experimentală ELF va funcționa în aceeași cladire cu instalația HELENA2, motiv pentru care studiul de fezabilitate va trata ambele instalații în mod integrat, în aceeași cladire.

(C4) Realizarea proiectului conceptual a ținut cont de cerințele definite în etapa anterioară a proiectului PRO ALFRED. Lucrarea prezintă obiectivele și cerințele tehnice formulate, împreună cu elementele preconizate pentru funcționalitatea instalației astfel încât aceasta să fie capabilă să realizeze testarea extensivă a unei casete de combustibil pentru demonstratorul ALFRED, în condițiile unor regimuri termohidraulice specifice. Este vizată testarea în condițiile nominale de operare, precum și în regimuri accidentale, inclusiv în regim de circulație naturală și în regimuri tranzitorii.

(C5) În cadrul proiectării conceptuale, pe baza respectării cerințelor de performanță și a condițiilor termohidraulice simulate, a fost realizată dimensionarea instalației și a componentelor, stabilirea materialelor de lucru, condițiilor de funcționare, procedurilor de lucru, situațiilor accidentale. Lucrarea oferă elementele conceptuale de detaliu (structura geometrică a instalației, componente, funcționalitate, instrumentație, conectare la utilități, consumuri, proceduri de lucru) în vederea lansării activității întocmirii a studiului de fezabilitate.

(C6) Instalația ELF va avea o putere electrică totală de circa 10 MW. Configurația zonei active simulate va fi compusă din 31 de casete din care 16 casete de combustibil. Casetă va fi de tip hexagonal (distanța între pini de 13,53

mm), va avea un pin central (neîncalzit) și 36 pini încălziți electric (având diametrul exterior de 10.5 mm și o lungime activă de 810 mm). În total zona activă conține 576 de pini încălziți electric. Fiecare pin încălzit electric furnizează o putere maximă de 17,36 kW, cu o putere liniară de 21,4 kW/m.

(C7) Instalația va cuprinde vasul principal conținând zona activă simulată, trei generatori de abur, trei pompe de circulație forțată a plumbului, o buclă secundară alimentată cu apă demineralizată și sistemul DHR. În vederea manevrării plumbului instalația va conține și un vas de topire, un rezervor de depozitare și unul de transfer. Temperatura medie de intrare a plumbului în zona activă este de aproximativ 400°C, în timp ce temperatura medie la ieșirea din zona activă este de aproximativ 520°C. Circulația forțată va fi realizată cu pompe verticale instalate simetric în interiorul bazinului rece al ELF. În condiții nominale, debitul total preconizat este de 572,46 kg/s, ceea ce corespunde la aproximativ 65,4 m³/h (~ 191 kg/s) pentru fiecare pompă.

(C7) Pentru a reduce impactul asupra materialelor în instalația ELF este prevăzut un sistem de control al oxigenului. Din cauza cantității mari de plumb controlul oxigenului din vasul principal se realizează cu ajutorul unei bucle externe lucrând continuu cu un debit fix (circa 2,5% din debitul nominal de plumb, aproximativ 15 kg/s) care este scos și apoi reintrodus în piscină. Controlul concentrației oxigenului va fi făcut în interiorul domeniului țintă pentru ALFRED (10⁻⁶ - 10⁻⁸ % wt.).

(C6) Lucrarea oferă informații relevante despre cerințele clădirii care va găzdui instalațiile ELF și HELENA2, precum și elementele de cost. De asemenea, sunt incluse recomandări pentru implementarea proiectului pe baza finanțării prin fonduri structurale.

11. Referinte

- [1] M.Constantin, M.Hororoi, „Raport privind definirea conceptuala a instalatiei ELF”, Proiect PRO ALFRED, WP1-L1.2, Noiembrie 2019
- [2] [PC ENEA] P. Lorusso, I.Di Piazza, R.Marinari, M.Tarantino, M.Valdiserri, „Conceptual Projects of the Experimental Facilities HELENA2 and ELF”, ALFRED-PRO-REP-005, Rev. 0, July 2020
- [3] NEA/OECD, „Handbook of LBE Alloy and Lead Properties, Materials Compatibility, Thermal-hydraulics and Technologies”, NEA, 7268, Paris 2015
- [4] “Thermal Hydraulics Aspects of Liquid Metal Cooled Reactors”, Copyright © 2019 Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101980-1.00014-4>.
- [5] S. Bassini, “Coolant Chemistry Control in Heavy Liquid Metal cooled Nuclear Systems” PhD thesis, 2017
- [6] F. Kreith, Principles of Heat Transfer, Donnelley Publishing Corporation, 1973.
- [7] G Scaddozzo, M. Tarantino, Test Specification of the Integral Circulation Experiments (ICE)- DEMETRA D 4.15 (task4.5.3), Report ENEA ET-F-S-001, 2006.
- [8] I.E. Idelchick, Handbook of Hydraulic Resistance, 3rd Edition, Begell House.
- [9] N. E. Todreas, M. S. Kazimi, Nuclear System II, Elements of Thermal Hydraulic Design, Taylor & Francis, 2001.
- [10] K. Rehme, Pressure drop performance of rod bundles in hexagonal arrangement, Int. J. Heat Mass Transfer, 15, pp.2499-2517 ,1972.
- [11] K. Tuček, K. Mikityuk, F. Manni, D. Gugiu, J. Cetnar, G. Grasso, ELFR cores. Summary, synoptic tables, conclusions and recommendations, LEADER WP2 report, 2013.
- [12] Na and NaK Handbook, Liquid-Metal Heat Transfer, O.E. Dwyer, Brookhaven National Laboratory, Upton, New York, 1970.
- [13] D. Martelli, S. Bassini, M. Tarantino, I. Di Piazza, CIRCE-ICE experimental activities in support of LMFR Design, IAEA FR17 Paper ID 89, International Conference on Fast Reactors and Related Fuel Cycles (FR17), 26-29 June 2017, Yekaterinburg, Russian Federation.
- [14] J-L. Courouau, S. Sellier, F. Balbaud, K. Woloshun, A. Gessi, P. Schuurmans, M. Ollivier, C. Chabert, Initial start-up operations chemistry analysis for MEGAPIE, 5th MEGAPIE Technical Review Meeting, Nantes, France, 2004.
- [15] M.Teodorescu, E.Diac, A.Sabie, R.Rucareanu, “Studiu privind amplasarea instalatiilor experimentale support pe amplasamentul ICN”, Proiect PRO ALFRED, WP1-L1.6, Noiembrie 2019
- [16] M. Constantin, „Proiect conceptual HELENA2”, Proiect PRO ALFRED, WP1-L1.7, 2020

Glosar

AC =Curent alternativ,

AC (Air Cooler) = Racire cu aer,

AFA (Alumina-Forming Austenitic) = material austenitic AFA

AIEA=Agenția internațională pentru energie atomica,

AIM-1 (Austenitic Improved Material – 1)=otel inox austenitic imbunatatit

AISI (American Iron and Steel Institute)= Institutul american pentru fier si oteluri

ALFRED (Advanced Lead Fast Reactor European Demonstrator)=Demonstratorul european al tehnologiei reactoarelor rapide răcite cu plumb,

APSD (Active/passive Shutdown Device)= sisteme de oprire active/pasive

ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers)=Societatea americana a inginerilor pentru sisteme de incalzire, racire si aer conditionat

ATHENA=instalație experimentală de tip piscina, pentru tehnologia LFR,

BEP (Best Efficiency Point)= punctul optim din punct de vedere al eficienței,

ChemLab=laboratorul chimic dedicat tehnologiei LFR,

CA (Control Assembly) = caseta de control,

CFD (Computational Fluid Dynamics) = calcul de dinamica fluidelor,

CIRCE (Circolazione Eutettica)=instalatia experimentală CIRCE, Brassimone, Italia,

CR (Control Rod)=bara de control,

CS (Core Simulator)=simulator de zona activa,

DA (Dummy Assembly)= casete de reflector,

DACS (Data Acquisition and Control System)= Sistemul de control si achizitie de date,

DC (Direct Current) = current continuu,

DHR (Decay Heat Removal)= Sistemul de evacuare a cadurii reziduale,

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

ELF (Electrical Long-running Facility)= instalatia de testare in regim de anduranta,

FA(Fuel Assembly)=caseta de combustibil,

L1.2 – Raport privind definirea conceptuală a instalației ELF



FALCON (Fostering ALFRED Construction)=consortiul de implementarea a demonstratorului ALFRED,

FC (Forced Circulation)= circulație forțată,

FPGA (Field-Programmable Gate Arrays)= porți programabile,

FPS (Fuel Pin Simulator)= simularea electrică a casetei de combustibil (generarea prin încălzire a puterii de fisiune echivalente),

GB (GigaByte)= Gbyte,

Gen-IV (Generation IV)= generația IV de sisteme nucleare.

GX (Gas eXchanger)= schimbător cu gaz

HD (High Definition)= rezoluție înaltă,

HELENA2 (Heavy Liquid Metal Experimental Loop for Advanced Nuclear Applications)= Instalația de tip buclă pentru experimente HLM,

HG (HyGrometer)= higrometru,

HP =Hewlett-Packard,

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

HTC (Heat Transfer Coefficient)= coeficientul de transfer al căldurii,

HX (Heat eXchanger)= schimbător de căldură,

IAEA=International Atomic Energy Agency

IEC = International Electrotechnical Commission

I.D. (Inner Diameter)= diametru interior

IPS =In-Pile Section position

IV (Inner Vessel) = vasul interior,

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

LM (Liquid Metal) = metal lichid,

LV (Low Voltage)= tensiune joasă,

MF (Mass Flow controller)= controler debit masic

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

MV (Medium Voltage)= tensiune medie,

MX (Mass eXchanger)= schimbător masic

NACIE (NATural CIRCulation Experiment)= instalație experimentală pentru investigarea circulației naturale,

NC (natural Circulation)= circulație naturală,

L1.2 – Raport privind definirea conceptuală a instalației ELF



NEA (Nuclear Energy Agency)= Agenția pentru energie nucleară,
OCS (Oxygen Control System)= sistemul de control al oxigenului,
O.D. (Outside Diameter)= diametru exterior,
OG (Oxygen Getter)= captatori de oxigen,
OS (Oxygen Sensor)= sensor de oxygen,
PC (Personal Computer)= calculator,
PFD (Process Flow Diagram)= diagrama fluxului de procese,
PLC (Programmable Logic Controller)= controler programabil
P&ID (Pipe and Instrumentation Diagram) = Diagrama de conducte si instrumentatie
PLD (Pulsed Laser Deposition) = depunere pulsata cu laser,
PLOFA (Protected Loss Of Flow Accident)= accidentul de pierdere a circulației in versiunea protejată,
PS (Power Supply)= alimentarea cu electricitate,
RATEN=Regia autonoma tehnologii pentru energetica nucleara,
RATEN ICN=Institutul de Cercetări Nucleare,
RAM (Random Access Memory)= memorie cu acces aleator,
RCS (Reactor Coolant System)= sistemul de racire al reactorului,
RPM (Revolution Per Minute)= rotatii pe minut,
RT (RoTometer)= rotametrul,
RV (Reactor Vessel)=vasul reactorului,
R&D (Research and Development)= cercetare-dezvoltare
SET Plan (Sustainable Technology Plan)= Planul pentru tehnologii durabile,
SNETP (Sustainable Nuclear Energy Technology Platform)=platforma tehnologica pentru energie nucleara sustenabila,
S/A (Sub-Assembly)=subansamblu, parte a casetei de baza,
SEM (Scanning Electron Microscopy)=microscop electronic,
SG (Steam Generator)=generator de abur,
SGBT (Steam Generators Bayonet Tube)= generator de abur cu tuburi tip baioneta,
SSR (Solid State Relay)= releu de stare solida,
STH (System Thermal-Hydraulic)= sistemul termohidraulic,
STH/CFD (System Thermal-Hydraulic and Computational Fluid Dynamic)= sistemul termohidraulic si CFD

SV (Safety Valve)= vana de securitate,

SV (safety Vessel)= vasul de securitate,

TB (TeraByte)=Tbyte

TC (Thermocouple)= termocuplu,

TFM (Thermal Flow Meter)= debitmetru,

UPS (Uninterruptible Power Supply)= unitate de alimentare neintreruptibila,

WP (Work Package)= pachet de lucru,

YSZ (Yttria Stabilized Zirconia)= aliaj de zirconiu stabilizat cu ytriu.