

Participarea Romaniei la EUROfusion WPBB1 si cercetari complementare

Perioada desfasurare: 1 ianuarie 2022 – 30 septembrie 2024

A. Breeding Blanket

Director de proiect: George Ana (INC-DTCI ICSI Rm. Valcea, george.ana@icsi.ro)

Obiective:

1. Dezvoltarea arhitecturii sistemului de extractie si recuperare tritiu (TER) aferent conceptului de breeding blanket pentru DEMO, Helium Cooled Pebble Bed (HCPB)

Breeding Blanket (BB) racita cu heliu (HCPB) reprezinta una dintre tehnologiile candidate pentru alimentarea cu tritiu a reactoarelor de fuziune. Extragerea tritiului din paturi se bazeaza pe eliberarea acestuia in heliul folosit ca gaz purtator urmata de recuperarea acestuia din gazul purtator in asa numitul Sistem de extractie si recuperare a tritiului (TER).

Procesul de referinta dezvoltat pentru TER este bazat pe procese de adsorbtie a apei tritiate si a Q_2 din gazul de purjare. Cele doua procese de adsorbtie sunt bazate pe operarea discontinua si se constituie din adsorbtia apei pe sita moleculara reactiva (RMSB) urmata de adsorbtia tritiului elementar, in special sub forma de HT, pe sita moleculara la temperatura criogenica (CMSB), la 77 K. Principalul dezavantaj al operarii CMSB este consumul mare de azot lichid cu impact semnificativ asupra costurilor de operare a sistemului. Un alt dezavantaj al CMSB este dificultatea operarii procesului in faza de regenerare astfel incat sa se evite variatii majore in ceea ce priveste debitul de tritiu transferat catre Tritium Plant.

- **Investigarea dezvoltarii arhitecturii DEMO TER prin substituirea CMSB cu paturi stocatoare (getter beds)**

Pentru a evita aceste dezavantaje, sunt evaluate solutii alternative la CMSB. Prin experimentari si testari anterioare a fost determinat ca adsorptia tritiului pe paturi stocatoare (getter beds), chiar si la temperature ambianta poate constitui o alternativa rezonabila intro plaja de presiuni de operare larga. Suplimentar, aceasta tehnologie a fost selectata de F4E pentru conceptul TBM HCPB TER si caracterizarea a doua materiale, ZrCo and ZrO, cu privire la operarea pe termen lung este in desfasurare.

- **Investigarea dezvoltarii arhitecturii DEMO TER pentru operarea la presiune inalta (8 MPa), egalizand astfel presiune de operare a TER cu cea sistemului de racire in conceptul HCPB**

Diferenta de presiune dintre gazul de purjare TER și gazul de racire a modulelor BB este o alta preocupare principala legata de disponibilitatea de funcționare a BB HCPB. Optiunea operarii TER la 8 MPa este in evaluare urmand a fi determinate urmatoarele referinte: presiunile partiale ale isotopologilor hidrogenului in gazul de purjare, debitul masic de gaz de purjare astfel ca permeatia

tritiului catre gazul de racire sa fie minimizata, determinarea utilitatilor si dimensionarea principalelor echipamente.

- **Investigarea dezvoltarii arhitecturii DEMO TER pentru operarea in conditiile unei concentratii ridicate de vapori de apa tritiata in gazul de purjare**

Distributia tritiului pe specii moleculare la iesirea din BB prezinta un continut de apa tritiata (HTO) de 20 de ori mai mic decat in forma HT. Un beneficiu real in ceea ce priveste prevenirea permeatiei tritiului in gazul de racire ar fi cresterea concentratiei de HTO (sub forma de vapori) in detrimentul HT in gazul de purjare. Prezenta vaporilor de HTO permite un schimb isotopic mai performant comparat cu HT. Astfel, este benefica investigarea optiunii cresterii cantitatii de vapori de apa in gazul de purjare pana la limitele premise de coroziunea componentelor BB din EUROFER97.

2. Activitati experimentale pentru validarea performantelor de operare a componentelor/sistemelor aferente TER

Activitatile experimentale sunt legate de caracterizarea procesului RMSB. Obiectivele principale sunt determinarea capacitatii de adsorbtie a sitei moleculare la presiuni inalte, pana la 8MPa si determinarea schimbului isotopic catalizat in vederea indepartarii tritiului. Rezultatele experimentale vor fi utilizate pentru executia sistemului RMSB al carui patern de adsorbtie/desorbtie va fi validat intr-un stand experimental la o scara de 1:10 al TER HCPB DEMO.

Doua standuri experimentale vor fi constituite cu ajutorul carora vor fi desfasurate o serie de teste si experimentari specifice:

- un stand pentru caracterizarea adsorbtiei apei pe sita moleculara tip Na-Y zeolite with 5:1 mole ratio of $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ la presiuni pana la 8 MPa;
- un stand in cadrul caruia va fi integrat un mock-up RMSB (executat de industrie) la o scara de 1:10 din DEMO in ceea ce priveste capacitatea de adsorbtie a apei in vederea caracterizarii schimbului izotopic catalizat.

3. Determinarea coroziunii asupra EUROFER97 in conditii de operare relevante pentru HCPB TER

Scopul proiectului este de a desfasura crea infrastructura si desfasura experimente pe termen lung ca suport pentru dezvoltarea sistemului de extractie tritiu aferent HCPB (HCPB TER), prin determinarea efectului pe care il are cresterea cantitatii de abur in gazul de purjare asupra coroziunii materialului de baza al sistemului, EUROFER97. Datele experimentale vor fi utilizate la proiectarea sistemului HCPB TER si la dezvoltarea scenariilor de operare.

Proiectul este prevazut cu urmatoarele obiective principale:

- Identificarea tehnicilor din domeniu privind coroziunea suprafetelor metalice in general, si coroziunea EUROFER97 in particular;
- Proiectarea si constructia unui stand experimental pentru determinarea in conditii relevante pentru BB gradului de coroziune datorat vaporilor de apa asupra unor mostre de EUROFER97;
- Experimente de lunga durata cu cantitatea relevanta de apa (abur) in gazul de purjare pentru evaluarea gradului de coroziune asupra probelor de material EUROFER97, cat si determinarea efectelor provocate de stresul mecanic si termic datorat functionarii standului.

Etape si activitati:

2022

- **Obiectiv 1**
 - Reconfigurarea sistemului TER HCPB considerand indepartarea tritiului prin tehnologie bazata pe stocatoare;
 - Dezvoltarea unui model 3D preliminar al TER HCPB bazat pe tehnologia adsorbției tritiului in stocatoare.
- **Obiectiv 2**
 - Dezvoltarea unui stand experimental si a unui program de experimentare in vederea retinerii de apa in cazul operarii la 8MPa a sistemului de purjare cu heliu;
 - Dezvoltarea partiala a unui stand experimental si procurarea de materiale si servicii in vederea validarii procesului de schimb izotopic in cadrul RMSB mock-up.
- **Obiectiv 3**
 - Definirea cerintelor tehnice si a programului de testare pentru investigarea coroziunii EUROFER97.

Rezultate:

2022

1.1. Reconfigurarea sistemului TER HCPB considerand indepartarea tritiului prin tehnologie bazata pe stocatoare

Analiza multicriteriala pe baza a treisprezece criterii a celor doua procese analizate pentru retinerea tritiului:

- retinere pe sita moleculara la temperature criogenica (CMSB) si
- retinerea pe paturi de stocare (GB).

Criteriile acopera aspect tehnice si de performanta, sigranta in operare, durata de viata, aspecte privind mentenanta, proiectare si integrare cu alte sisteme, cantitatea de deseuri radioactive produse si costul. Criteriile au fost clasificate prin comparare, in ordinea importantei conform tabel de mai jos.

Criteria	Name of criteria	Weight (g)	Rank
C7	Potential of tritium release in case of an accident	20	1
C6	Tritium inventory	19	2
C8	Reliability of the bed (MTBR- Medium time between replacements)	19	2
C4	Energy consumption for operation (@ 0.2 and 8 MPa in case of CMSB)	17	3
C2	Ultimate partial pressure of Q2 after retention	16	4
C12	Amount of waste generated during decommissioning (weight of the equipment exclusively)	16	4
C13	Capital cost	13	5
C3	TRL level of technology	12	6
C10	Complexity/Simplicity of technology	11	7
C1	Delivery time of Q2 to TP	9	8
C9	Physical size of equipment	8	9
C11	Flexibility to operate @ different pressures	7	10

C5	Complexity of additional infrastructure required for operation	2	11
----	--	---	----

In urma evaluarii celor doua procese prin prisma criteriilor si a informatiilor disponibile in literatura, tehnologia privind retinerea tritiului pe paturi stocatoare este favorizata obtinand punctajul cel mai mare. Tabelul de mai jos prezinta punctele obtinute de fiecare tehnologie in urma evaluarii.

Nr.	Criterion	Weighting factor (g)	CMCB		GB	
			Abs. Mark	Pond. Mark	Abs. Mark	Pond. Mark
C1	Delivery time of Q2 to TP	9	2	18	2	18
C2	Ultimate partial pressure of Q2 after retention	16	1	16	1	16
C3	TRL level of technology	12	2	24	1	12
C4	Energy consumption for operation (@ 0.2 and 8 MPa in case of CMSB)	17	1	17	2	34
C5	Complexity of additional infrastructure required for operation	2	1	2	2	4
C6	Tritium inventory	19	1	19	1	19
C7	Potential of tritium release in case of an accident	20	1,5	30	2	40
C8	Reliability of the bed (MTBR- Medium time between replacements)	19	2	38	1	19
C9	Physical size of equipment	8	1	8	2	16
C10	Complexity/Simplicity of technology	11	2	22	1	11
C11	Flexibility to operate @ different pressures	7	1	7	3	21
C12	Amount of waste generated during decommissioning (weight of the equipment exclusively)	16	1	16	2	32
C13	Capital cost	13	1	13	1	13
	Total			230		255

Tehnologia de referinta pentru recuperarea tritiului din gazul de purjare se bazeaza pe retinerea apei tritiata pe sita moleculara reactiva si retinerea hidrogenului (tritiului) pe sita moleculara la temperatura criogenica (fig. 1).

Configuratia propusa (fig. 2) pentru TER HCPB se bazeaza pe sita moleculara reactiva si paturi stocatoare, sistemul prezentand urmtaorii parametri de operare:

- Temperatura: < 550 °C (BB outlet) [6], min. 300 °C (BB inlet);
- Presiune: 8 MPa(a) (BB outlet), estimata 8.1 MPa(a) (BB inlet).
- Debit volumetri pentru gazul de purjare (helou) @ BB outlet of 10 000 m³/h @ 520°C and 8 MPa(a) (~12 131 783 mole/ h);
- Compozitia gazului la iesirea din BB in noile conditii de operare, conform tabel 1.

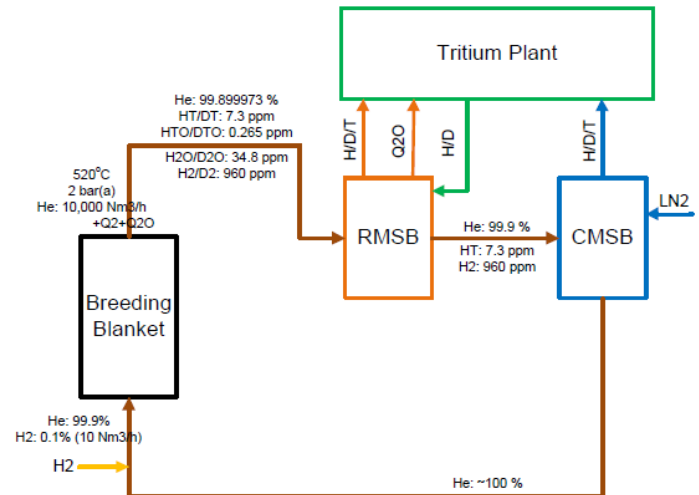
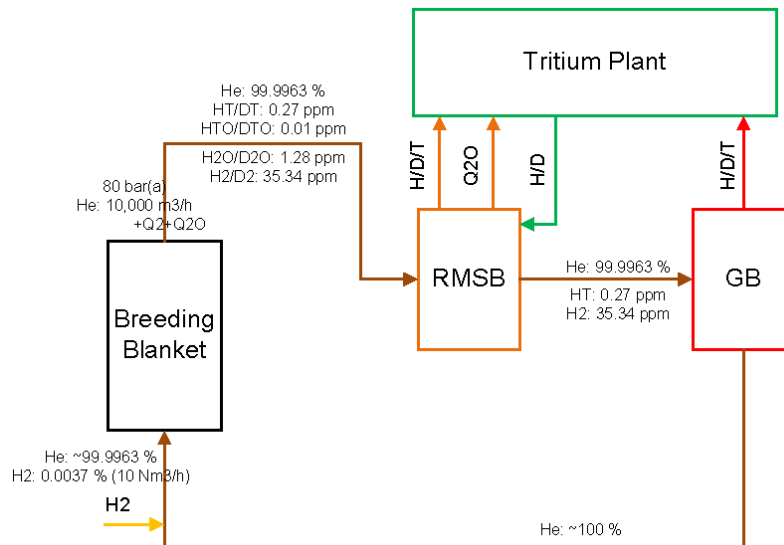


Fig. 1 Reference block diagram of HCPB TER configuration: Reactive and Cryogenic Molecular Sieve beds for Q₂O and Q₂ trapping operated at 0.2 MPa



Proposed HCPB TER configuration: Reactive Molecular Sieve and Getter beds for Q₂O and Q₂ trapping: operated at 8 MPa

BB output stream composition of purge gas in the new operating conditions

Parameter	Estimated DEMO gas flow (mol/day)	Mol Fraction (%) including helium	Mol Fraction (%) excluding helium	Partial pressure (Pa)
He Content	291 162 795	99.99631	N/A	7999704.82
HT/DT Content	78.24	2.69E-05	0.728	2,15
HTO/DTO Content	2.88	9.89E-07	0.027	7.8E-02
H ₂ O/D ₂ O Content	372.96	1.28E-04	3.471	10.25

H ₂ /D ₂ Content	10 289.52	3.53E-03	95.773	282.71
--	-----------	----------	--------	--------

Evaluarea preliminară a tehnologiei GB în vederea înlocuirii CMSB

Evaluare preliminară a materialelor candidate pentru reținerea tritiului

S-au evaluat cinci materiale de stocare considerate candidați pentru reținerea tritiului: uraniu saracit, ZrCo alloy, ST101 (ZrAl alloy 84% Zr-16% Al), ST707 (70%Zr, 24.6% V, 5.4% Fe) and ZAO alloy (Zr V Ti Al) prin prisma a cinci caracteristici considerate importante pentru condițiile de operare ale sistemului TER:

- Presiune de echilibru mică la temperatură de adsorbție (30°C);
- Temperatură de desorbție mică (preferabil < 500°C);
- Capacitate de stocare mare;
- Limita de embrittlement ridicată;
- Capacitate de stocare constantă după multiple cicluri adsorbție/desorbție.

Aliajul ZAO prezintă limita de embrittlement cea mai mare, a doua cea mai mare presiune de echilibru iar temperatură de desorbție estimată este de 500°C. Materialul este în continuare într-un proces de caracterizare în cadrul altor proiecte.

Evaluarea cantității de material de stocare (ZAO) necesar pentru operarea sistemului TER

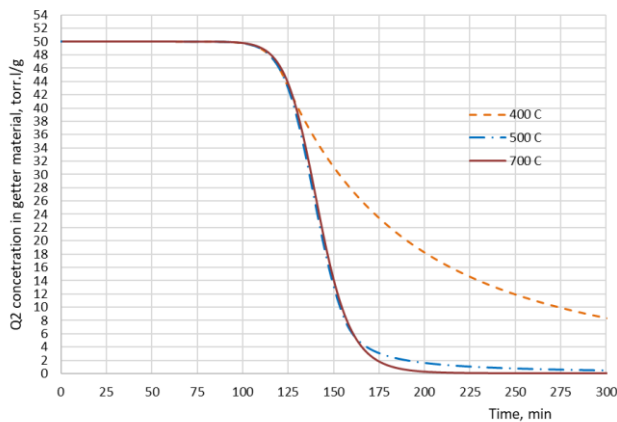
În funcție de timpul de adsorbție dorit s-au determinat patru cantități teoretice de ZAO conform tabel de mai jos.

Required amount of ZAO material for GB for different adsorption periods (τ_s)

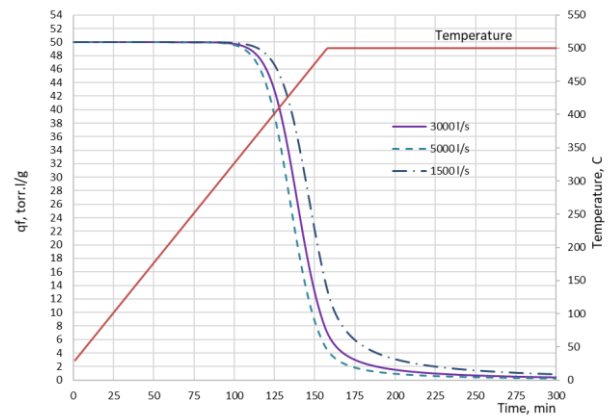
Adsorption time (h)	Amount of ZAO required (kg)
1	151
2	302
3	453
4	605

Evaluarea parametrilor de operare a patului de stocare pe perioada de desorbție

S-a constatat ca temperatura de desorbtie si viteza de pompare auxiliara au un impact major asupra perioadei de desorbtie a patului conform figura de mai jos, propunandu-se 500°C ca temperatura si 3000 l/s viteza de pompare efectiva pe perioada de operare la desorbtie.



Evolution of Q_2 concentration in a 605 kg ZAO bed during regeneration under different regeneration temperatures with an initial Q_2 concentration of 50 torr.l/g; effective pumping speed considered: 3000 l/s; ramp-up temperature during heating: 3 °C/min (adsorption temperature considered 30°C)

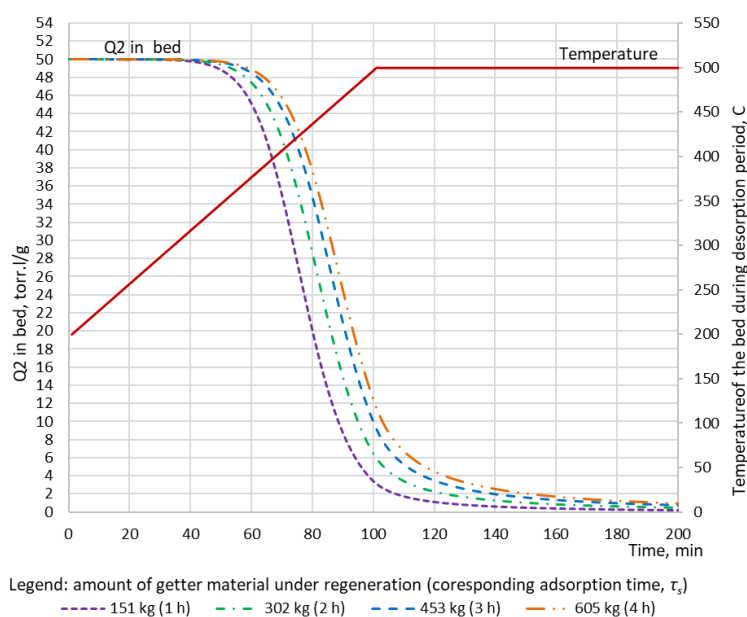


Impact of the backing pumping speed on the desorption time of a 605 kg ZAO bed during heating to 500°C; initial Q_2 concentration of 50 torr.l/g; ramp-up temperature during heating: 3 °C/min (adsorption temperature considered 30°C)

Conform simularilor se observa ca desorbtia hidrogenului incepe pe perioada incalzirii patului de stocare, incepand cu aprox. 300°C, ceea ce ar permite operarea patului pe perioada de retinere (adsorbtie) la o temperatura mai mare de 30°C, cat a fost considerata initial. Operarea la temperatura mai ridicata, reduce timpul necesar incalzirii patului pe perioada de desorbtie. S-a propus o temperatura de adsorbtie conservativa de 200°C.

Determinarea numarului de paturi stocatoare pentru retinerea continua a hidrogenului

Evolutia concentratiei de hidrogen in paturile de stocare este simulate in figura de mai jos.



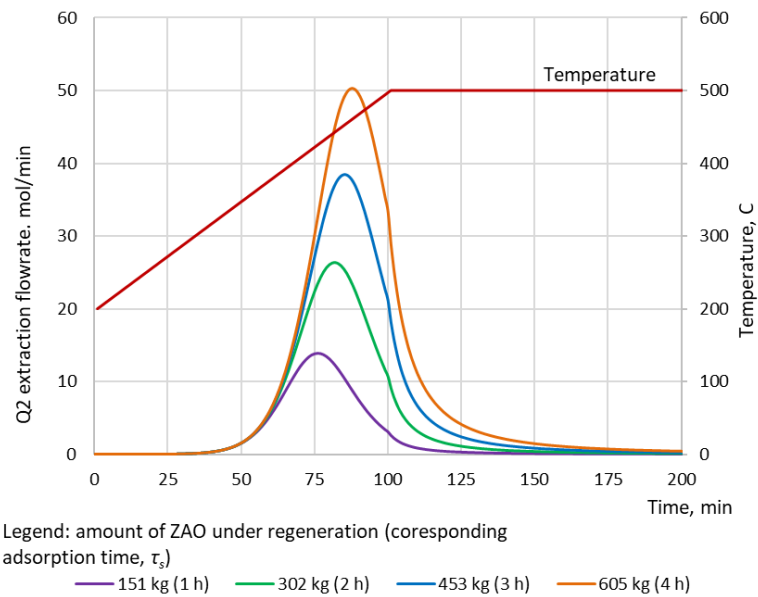
*Evolution of the Q_2 concentration in the getter material during desorption for different amounts of ZAO, which correspond to different adsorption periods
(desorption conditions considered: temperature 500°C, ramp-up temperature 3 °C /min from 200°C, backing pumping speed 3000 l/s)*

Pentru fiecare scenariu de operare c privire la perioada de adsorbție, s-a determinat numărul de paturi de stocare pentru reținerea continuă a hidrogenului, conform tabel de mai jos:

Number of getters determination for different adsorption time scenarios

Mass of ZAO (kg)	Adsorption time, τ_s (min)	Desorption time (warm-up + plateau until 2 torr.l/g is reached), τ_d (min)	Cooling time τ_c (min)	Time for one operating cycle (adsorption+regeneration) $\tau_{cycle} = \tau_s + \tau_d + \tau_c$ (min)	No. of getters $n = \tau_{cycle} / \tau_s$
151	60	110	150	320	6
302	120	125	150	395	4
453	180	145	150	475	3
605	240	160	150	550	3

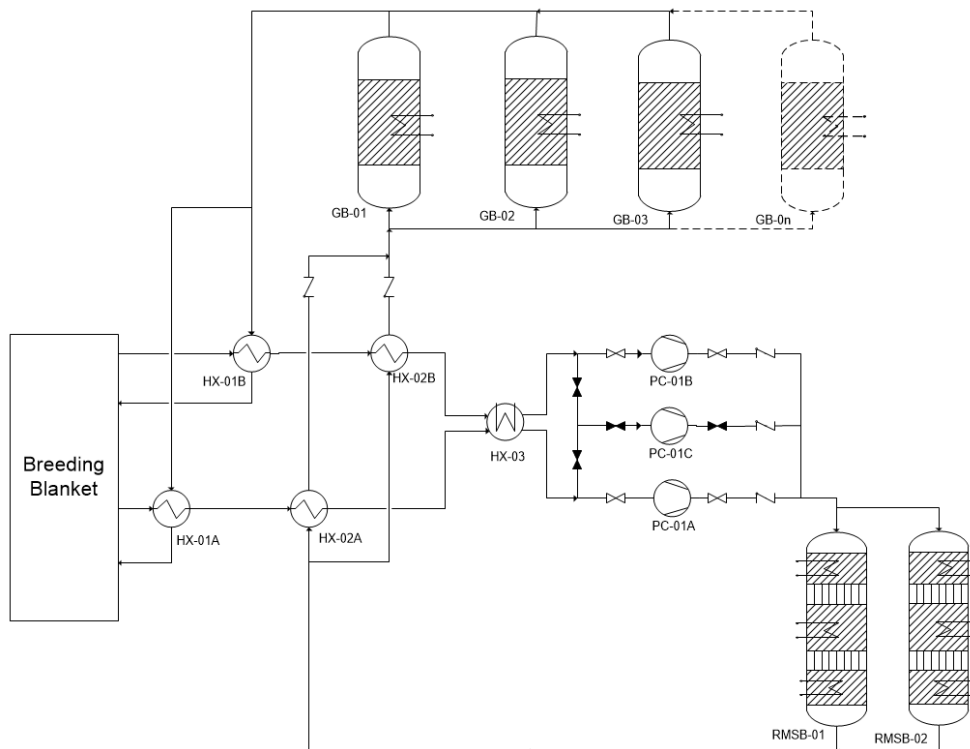
Determinarea impactului masei de material adsorbant asupra debitului de hidrogen desorbit



Evolution of desorbed Q_2 flow rate during desorption of different mass ZAO beds

Se observa un varf de 50 mol/min de hidrogen in cazul utilizarii de patrui de 605 kg dupa aproximativ 80 minute de la demararea procesului de incalzire. In cazul utilizarii de paturi cu mase mai mici, debitul de hydrogen desorbit scade pana la aprox. 15 mol/min in cazul paturilor de 151 kg.

Pe baza evaluarilor de mai sus, mai jos se prezinta configuratia simplificata a sistemului TER bazat pe RMSB si GB propus.

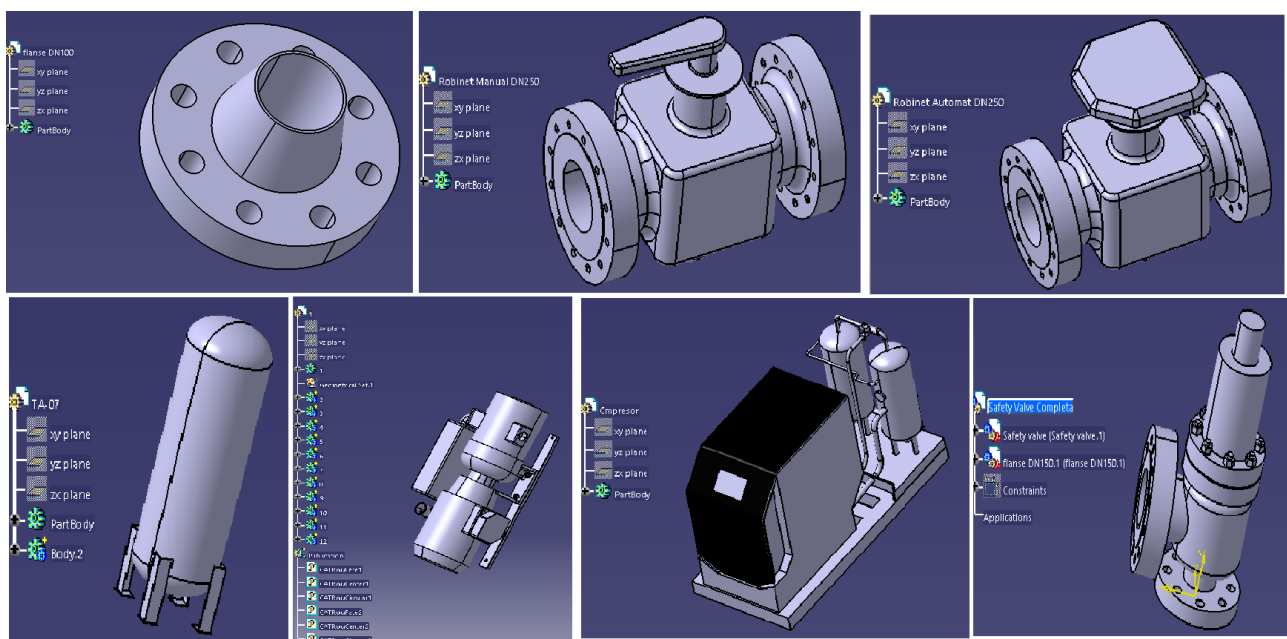


Proposed TER configuration with getter beds as alternative to CMSB for Q_2 recovery

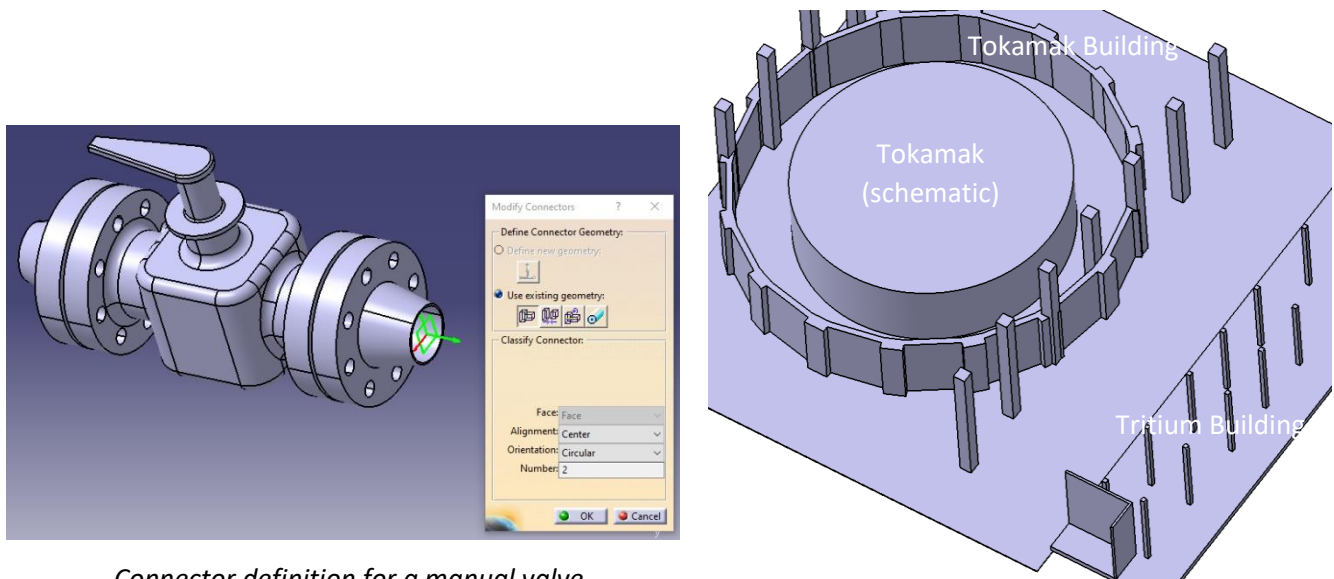
In acelasi timp au fost elaborate schema termomecanica si schema de instrumentatie si control al sistemului impreuna cu detalierea modului/fazelor de operare si control al sistemului.

1.2. Dezvoltarea unui model 3D preliminar al TER HCPB bazat pe tehnologia adsorbției tritiului in stocatoare.

Toate echipamentele majore din cadrul sistemului au fost predimensionate avand in vedere conditiile de operare si ulterior modelate 3D la scara 1:1, utilizand CATIA V5. Ulterior, acestea au fost amplasate in cadrul cladirii si realizate conexiunile intre acestea prin conducte principale si robineti. Mai jos se prezinta cateva capturi 3D ale echipamentelor individuale si ale ansamblului sistemului in cladirea DEMO.

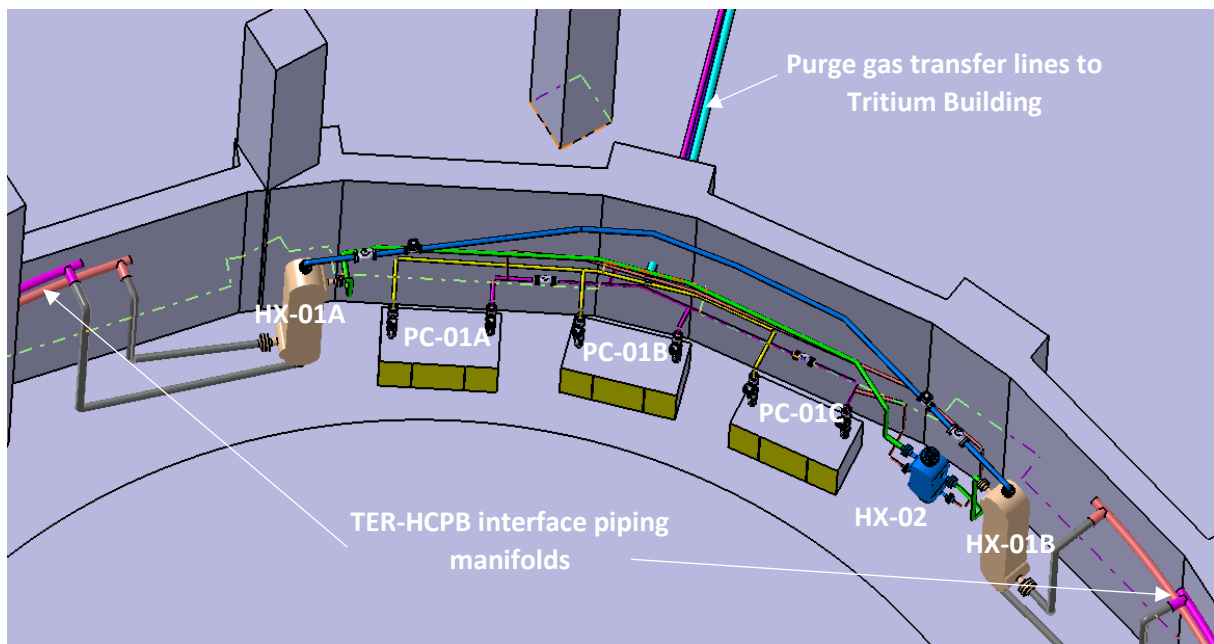


3-D models of equipment and components of the system

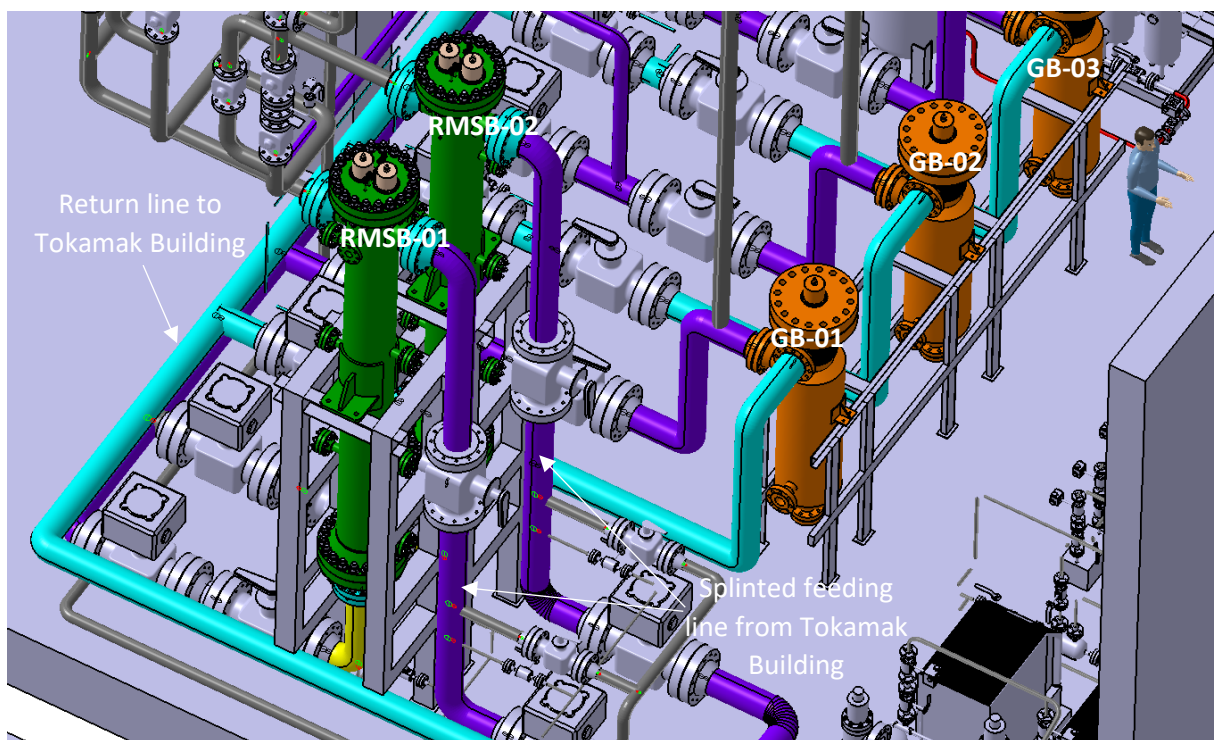


Connector definition for a manual valve

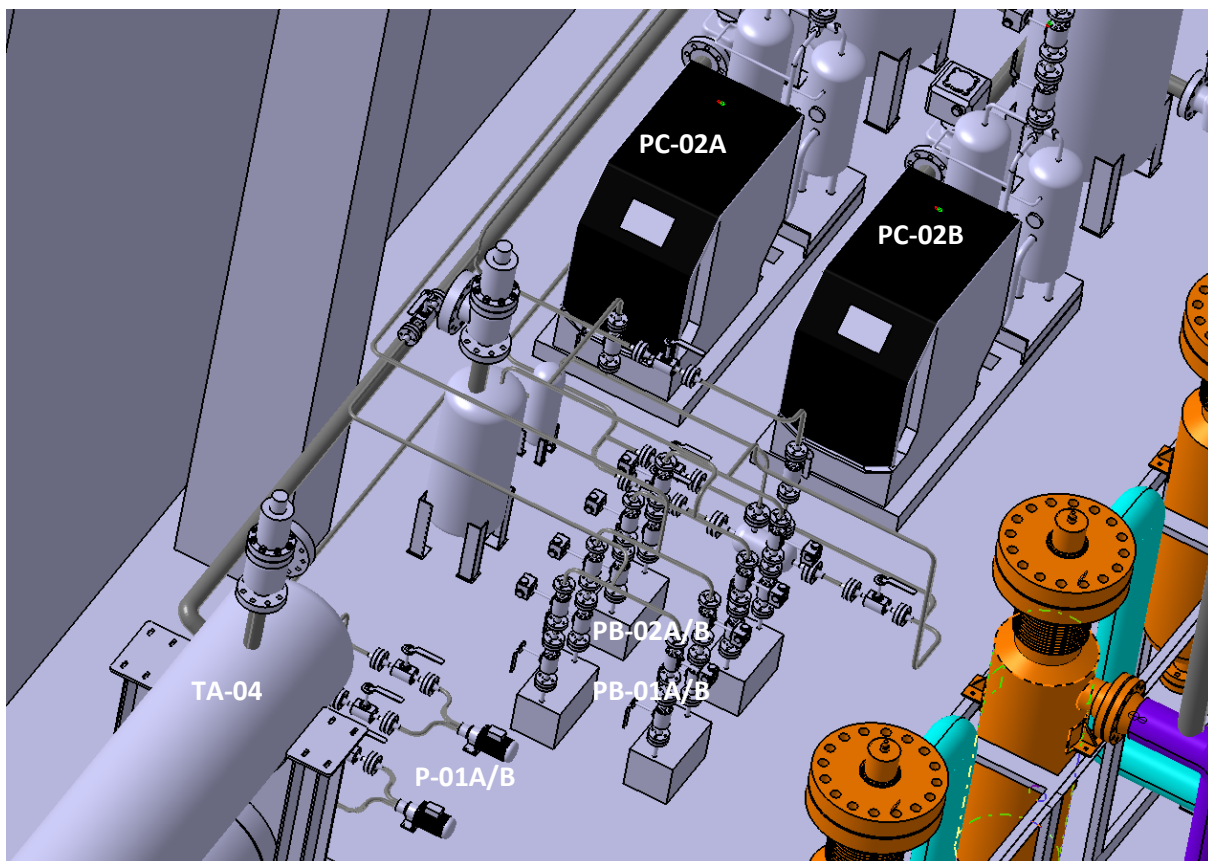
DEMO Building



Equipment in Tokamak Building



Equipment in Tritium Building (RMSBs and GBs)

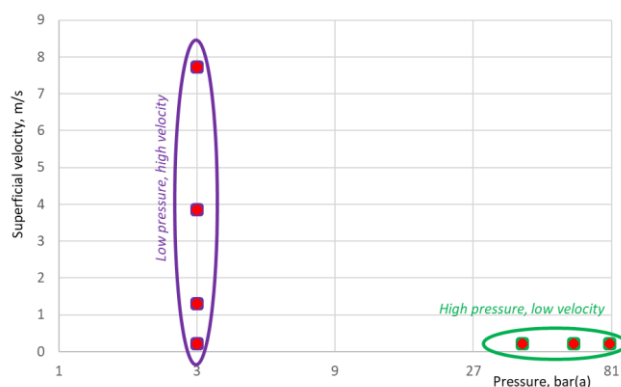


Equipment in Tritium Building (discharge pressure system from RMSBs and GBs, RMSB regeneration circuit, overpressure discharge vessel)

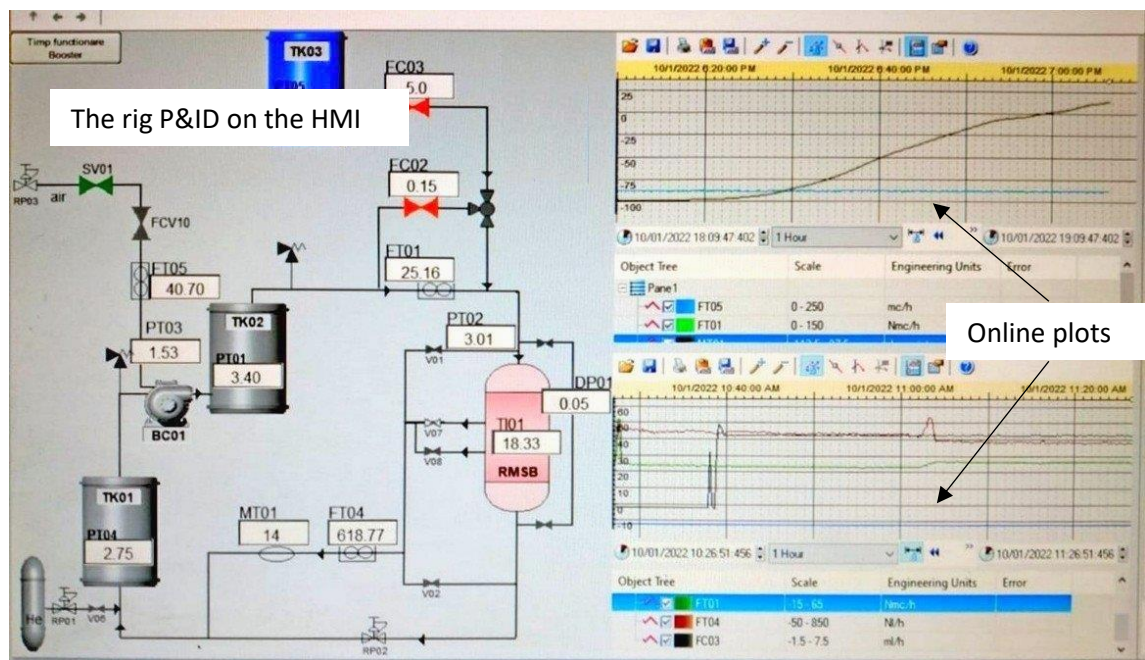
2.1. Dezvoltarea unui stand experimental si a unui program de experimentare in vederea retinerii de apa in cazul operarii la 8MPa a sistemului de purjare cu heliu

S-a dezvoltat schema termomecanica a standului impreuna cu instrumentatia si controlul aferente, in baza careia si a conditiilor de operare s-au procurat echipamente pentru constructia standului. Standul dispune si de o interfata HMI utilizata pentru operare si monitorizare a procesului.

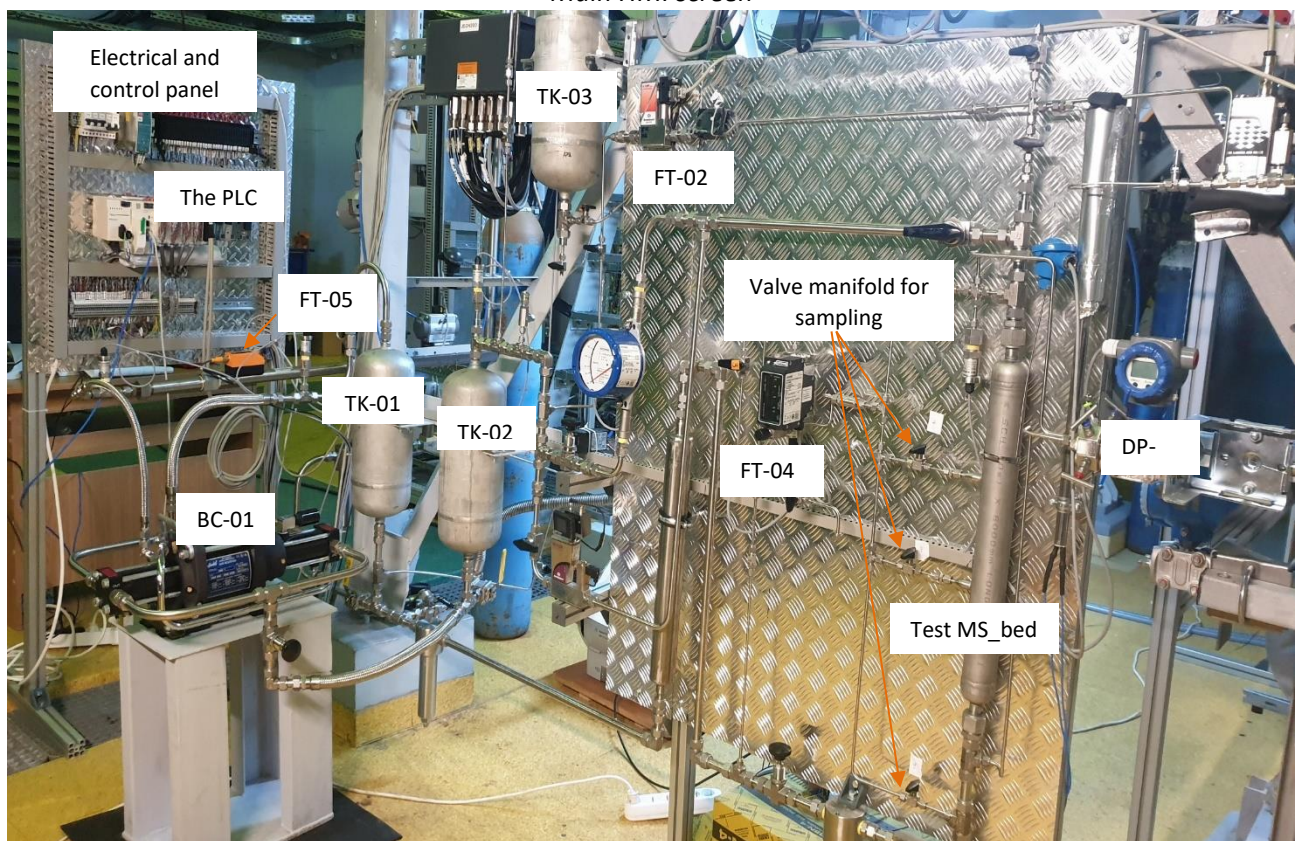
S-au efectuat teste preliminare cu testul privind functionalitatea la parametrii maximi de operare (presiune si debit).



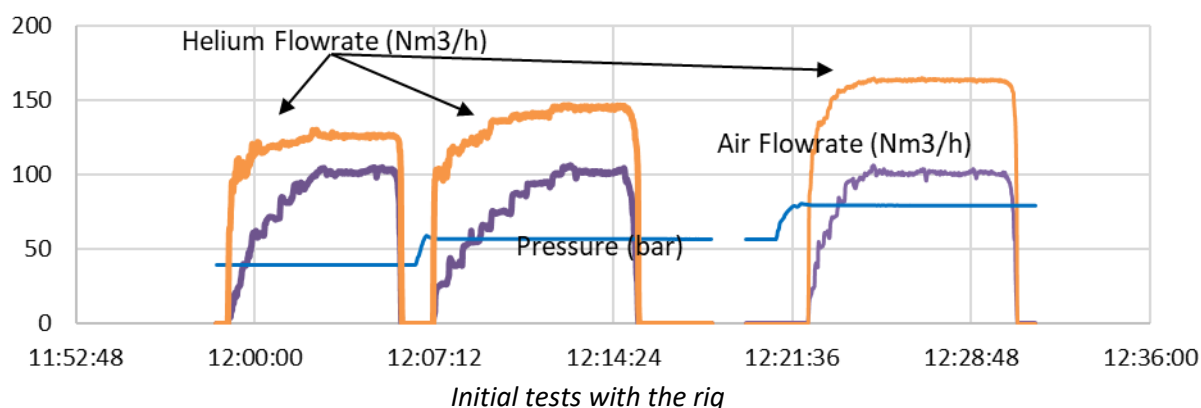
Tentative experimental matrix for performance assessment of the molecular sieve



Main HMI screen

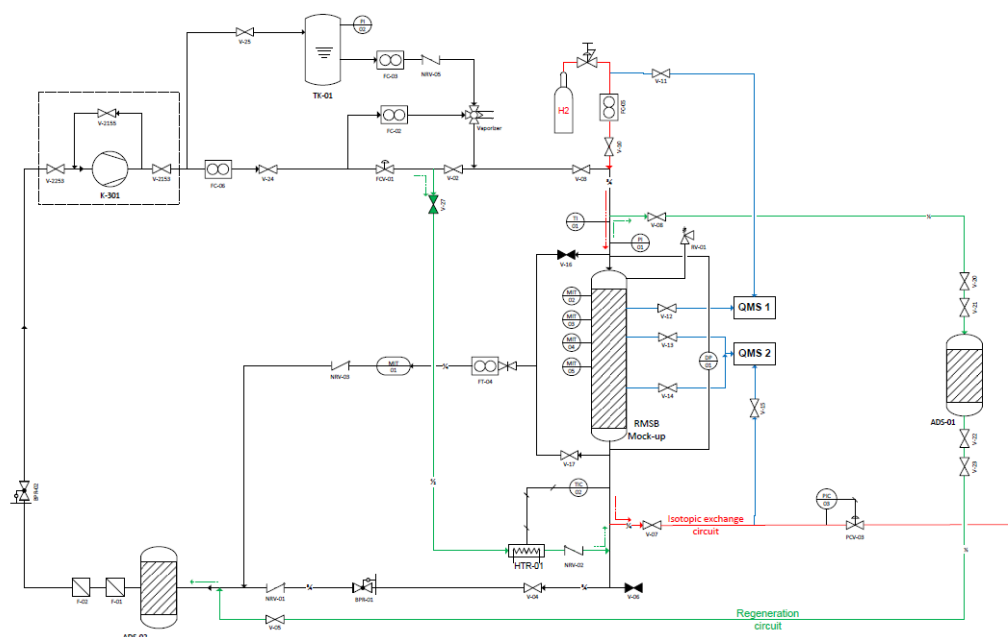


Experimental setup



2.2. Dezvoltarea partiala a unui stand experimental si procurarea de materiale si servicii in vederea validarii procesului de schimb izotopic in cadrul RMSB mock-up

S-au dezvoltat schemele termomecanice ale standului impreuna cu instrumentatia si controlul aferente, in baza careia si a conditiilor de operare s-au procurat echipamente pentru constructia standului si s-a intocmit specificatia pentru industrie in vederea evaluarii de solutii tehnice si constructia unui mock-up pentru echipamentul RMSB.



Schema 1 stand: Trasee principale – adsorbtie, desorbtie si schimb izotopic catalizat

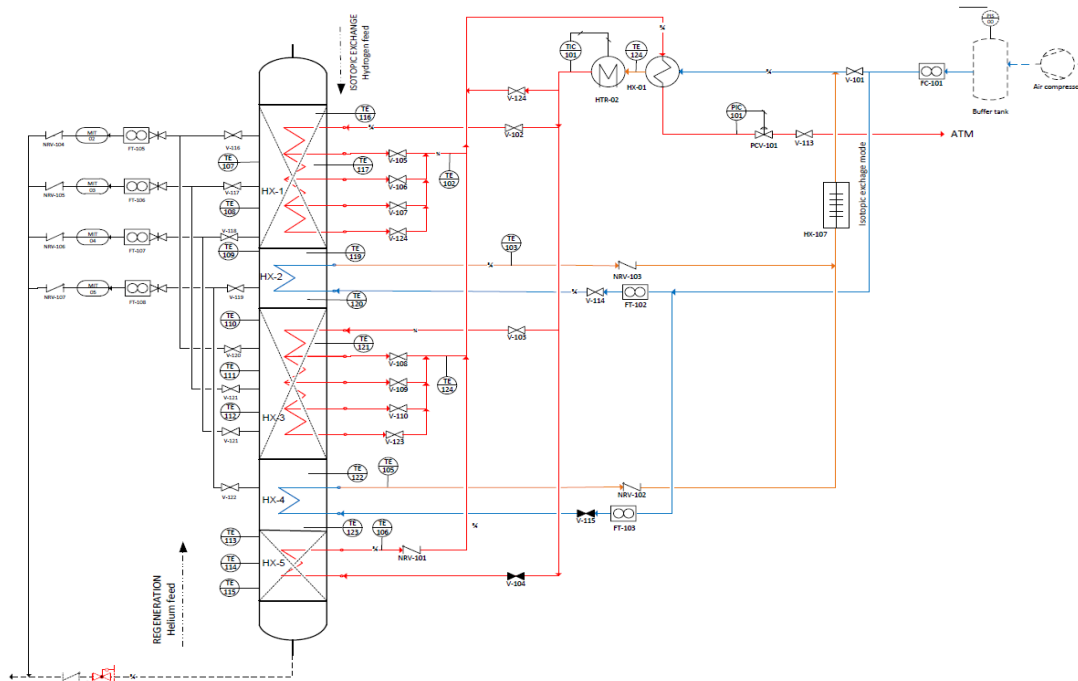
Au fost achizitionate o serie de componente necesare constructiei standului: robineti, incalzitoare electrice, schimbatoare de caldura, instrumentatie si control etc.

Contractorul care a castigat licitatiea pentru evaluarea de solutii tehnice si constructia unui mock-up pentru echipamentul RMSB a furnizat doua rapoarte cu privire la:

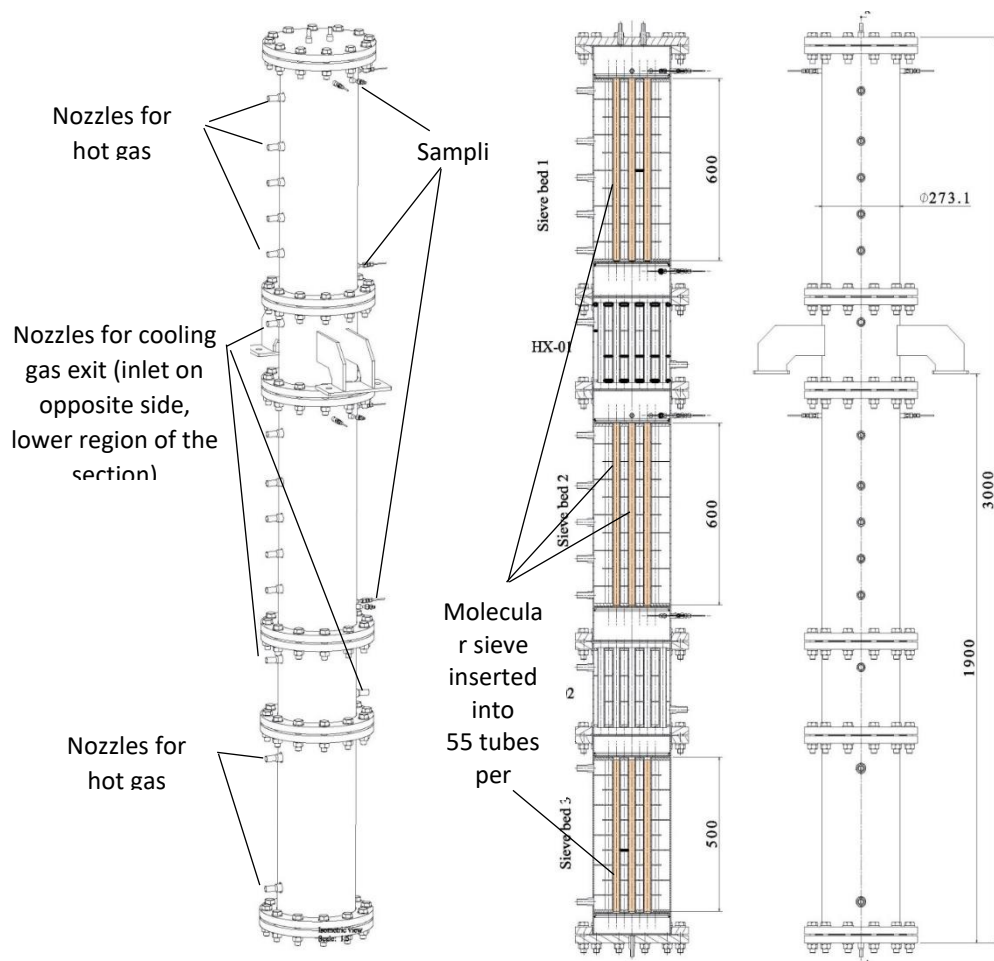
- Evaluarea solutiilor tehnice pentru proiectarea unui mock-up RMSB pentru DEMO TER;
- Raport de proiectare pentru mock-up RMSB pentru DEMO TER.

Din rapoartele contractorului reiese in baza unei analize multicriteriale ca solutie de implementat in configuratia RMSB a incalzirii utilizand aer cald in detrimentul incalzirii electrice pe perioada de

desorbție. Astfel, echipamentul a fost proiectat în consecință. Mai jos se prezintă configurația mock-up-ului.



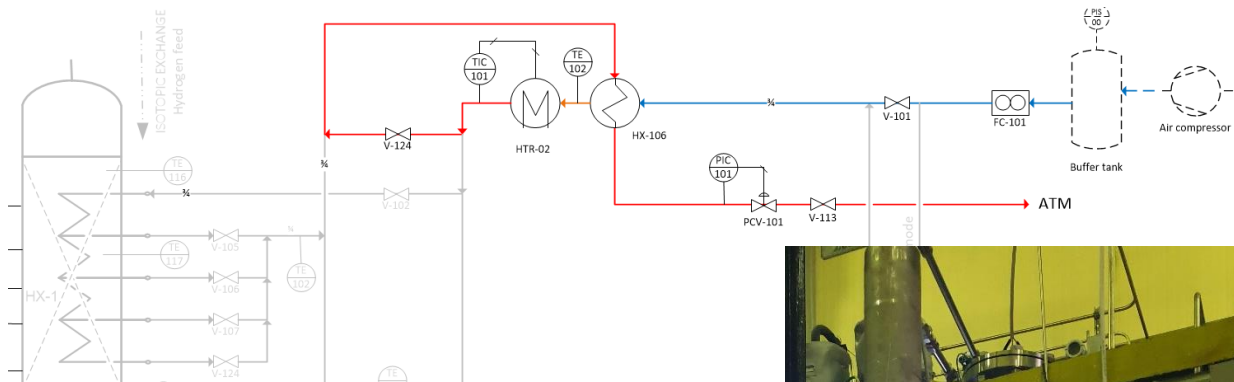
Schema 2 stand: Trasee secundare – circuite cu aer pentru încălzire și trasee prelevări



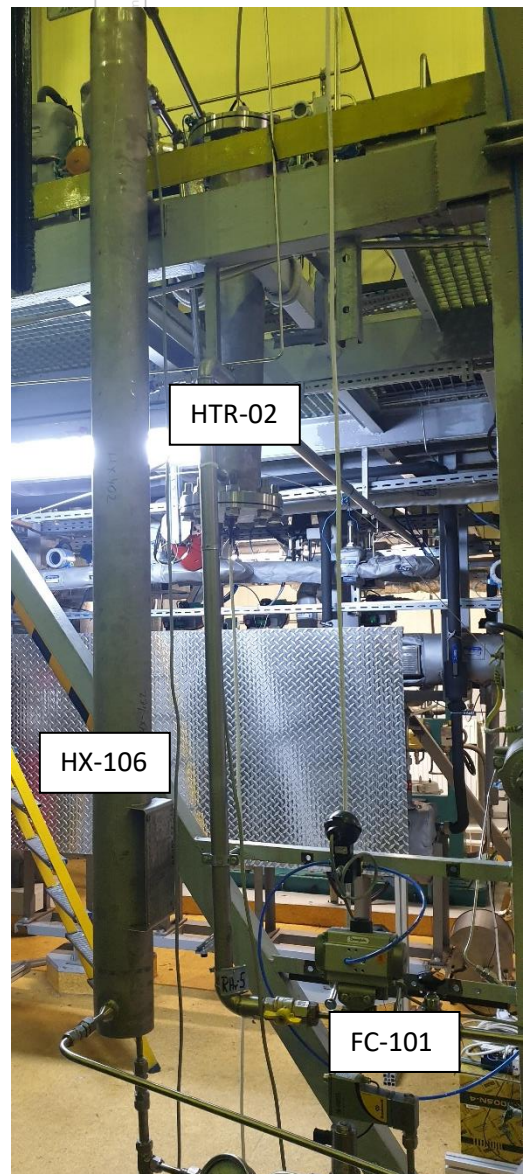
Configuration of the RMSB mock-up heated using hot gas

Construcția standului a fost demarată în vederea testării funcționării ansamblului constituit din încălzitorul electric HTR-02 și schimbatorul de căldură HX-106.

Testele s-au finalizat cu succes, astfel ca 30 Nm³/h de aer instrumental la 2 bar(g) au fost încălziti până la 400°C.



Extract of the rig P&ID indicating the constructed part of it for component testing



Partially constructed rig, before thermal insulating

3.1. Definirea cerințelor tehnice și a programului de testare pentru investigarea coroziunii EUROFER97

- literature review cu privire la coroziunea suprafetelor metalice, inclusiv asupra EUROFER97 si stabilirea tipurilor de coroziune avute în vedere pentru investigare in conditii similare operarii sistemului TER.
- Identificarea si stabilirea conditiilor de testare la coroziune:
 - o Mediu de heliu
 - o temperatura 500°C;
 - o presiune 2 bar;
 - o concentratie de hidrogen: pana la 200 Pa presiune partiala;
 - o concentratie de apa: presiuni partiala 7 Pa, 200 Pa si 1000 Pa.
- elaborarea cerintelor tehnice privind constructia unui stand experimental pentru investigarea coroziunii, inclusiv dezvoltarea unei scheme termomecanice preliminare (PFD) a acestuia;

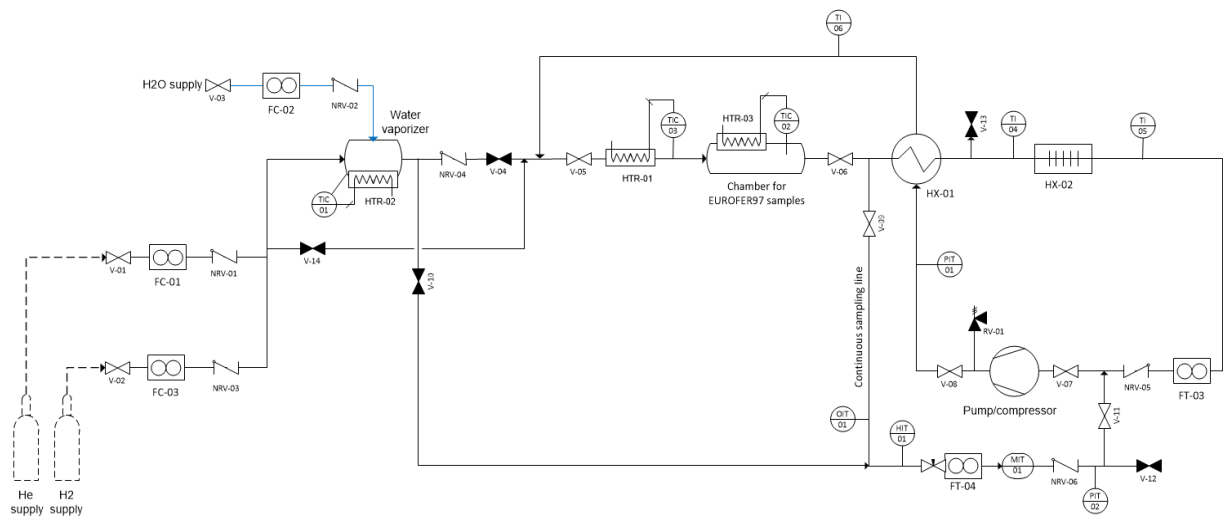


Diagrama standului experimental pentru testarea coroziunii EUROFER97

- Identificarea cerintelor privind instrumentatia necesara standului pentru monitorizarea si controlul operarii;
- Stabilirea modului de operare stand experimental;
- Stabilirea procedurii privind pregatirea, curatarea probelor si evaluarea coroziunii si a mijloacelor/instrumentelor de masura implicate in activitatea de evaluare.

Conferinte:

- G. Ana, Gh. Bulubasa, A. Niculescu, I. Cristescu, C. Bucur, I. Stefan, Gh. Popescu, HCPB TER components performance validation, 32nd Symposium on Fusion Technology 18th – 23rd September 2022 in Dubrovnik, Croatia
- G. Ana, O. Balteanu, I. Cristescu, R. Ana, Progress in the development of the HCPB TER architecture, 32nd Symposium on Fusion Technology 18th – 23rd September 2022 in Dubrovnik, Croatia

B. Nuclear Data Evaluation

Director de proiect: Vlad Avrigeanu (IFIN-HH, Bucuresti-Magurele, vlad.avrigeanu@nipne.ro)

Detalii in pagina web: <https://www.nipne.ro/proiecte/pn3/57-projects.html>