

VYSOKOTEPLTNÍ HÉLIOVÁ SMYČKA – NOVÉ EXPERIMENTÁLNÍ ZAŘÍZENÍ V ÚJV ŘEŽ A.S.

Jan Berka^{1,2}, Michal Černý¹, Josef Matěcha²

¹ VŠCHT Praha, Technická 1905, 16628 Praha 6, jan.berka@vscht.cz

² ÚJV Řež a.s., Husinec-Řež 130, 25068 Řež, bej@ujv.cz

Vysokoteplotní heliová smyčka (HTHL) je experimentální zařízení větších rozměrů, postavené za účelem simulace chemických a fyzikálních podmínek chladiva budoucích typů plynem chlazených jaderných reaktorů (V/HTR a GFR). Smyčka je určena hlavně pro dlouhodobé testy vzorků konstrukčních materiálů pro V/HTR a také pro výzkum chemie a testování postupů čištění plynného chladiva pro tyto typy jaderných reaktorů. Max. teplota ve smyčce má dosahovat 900 % v prostoru pro umístění vzorků, tlak plynu v celém zařízení má být cca 7 MPa, průtok 37,8 kg.hod⁻¹ v hlavním okruhu. Aktivní kanál smyčky bude umístěn v zóně reaktoru LVR-15, který bude sloužit jako zdroj neutronového záření (tok tepelných neutronů cca 5×10^{18} n.m⁻².s⁻¹ a tok rychlých neutronů cca $2,5 \times 10^{18}$ n.m⁻².s⁻¹). Stavba tohoto experimentálního zařízení je nyní dokončována, pro experimenty bez vlivu radioaktivního záření má být HTHL připravena během roku 2011.

Klíčová slova: HTR, VHTR, HTHL vysokoteplotní reaktory, heliová experimentální smyčka, čištění, materiály, reaktor LVR-15

Došlo: 13. 5. 10, přijato 13. 6. 10

1. Úvod

Vysokoteplotní plynem chlazené jaderné reaktory (tzv. V/HTR- Very High Temperature Reactor) a rychlé reaktory chlazené plynem (GFR- Gas Fast Reactor) patří mezi tzv. reaktory IV. generace (GIV) [1]. Tyto budoucí jaderné reaktory by se oproti stávajícím měly vyznačovat vyšší účinností a bezpečností a měly by produkovat radioaktivních odpady s menší radiotoxicitou a zkrácenou potřebnou dobou pro skladování do „vymření“. V/HTR je grafitem moderovaný a heliem chlazený reaktor s termálním neutronovým spektrem. Teplota chladiva na výstupu z aktivní zóny by měla dosahovat až 1000 °C, tlak chladiva se pohybuje v řádu MPa. Jádru reaktoru může být tvořeno prismatickými bloky (např. u japonského HTTR reaktoru) nebo tzv. kulovým ložem (např. u čínského experimentálního reaktoru HTR-10, umožňuje výměnu paliva za provozu). Navržené parametry konceptu V/HTR reaktoru jsou uvedeny v tabulce 1 [1] (v jiných zdrojích se lze ale setkat s trochu odlišnými parametry). Vysoké teploty a tlaky chladiva však kladou značné nároky na konstrukční materiály a design komponent. Prototypy heliem chlazených jaderných reaktorů již byly v minulosti provozovány, jako příklad lze uvést reaktor DRAGON, německý experimentální reaktor AVR-15 nebo první demo elektrárna s HTGR ve Fort St. Vrain v USA (v tomto zařízení bylo použito hexagonálních palivových článků, elektrický výkon byl 330 MW) [2]. Nová zařízení tohoto typu jsou stavěna v Číně a Japonsku (experimentální reaktory) a Jihoafrické republice (komerční elektrárna).

Reaktor typu V/HTR je projektován jednak pro výrobu elektřiny a jednak pro využití vysoké teploty chladiva např. při výrobě vodíku [1], zplyňování uhlí [3], v metalurgii, petrochemii, atd. Zejména pro výrobu vodíku je zapotřebí dosáhnout velmi vysoké teploty VHTR

chladiiva, protože účinnost celého procesu s teplotou prudce vzrůstá [4-7].

Výzkum v oblasti vysokoteplotních plynem chlazených reaktorů by měl být mimo jiné zaměřen na problematiku paliva a palivového cyklu, výzkum a testy konstrukčních materiálů, design jednotlivých komponent, výrobu vodíku, chladivo reaktoru a jeho čištění, bezpečnost systému, atd. Na těchto úkolech se podílejí instituce ve světě (CEA, ENEA, Heatric, atd.) i v České republice (ÚJV Řež, Škoda JS, a.s., vysoké školy - VŠCHT Praha, ČVUT, aj.).

Tabulka 1 Doporučené parametry V/HTR [1, 2]

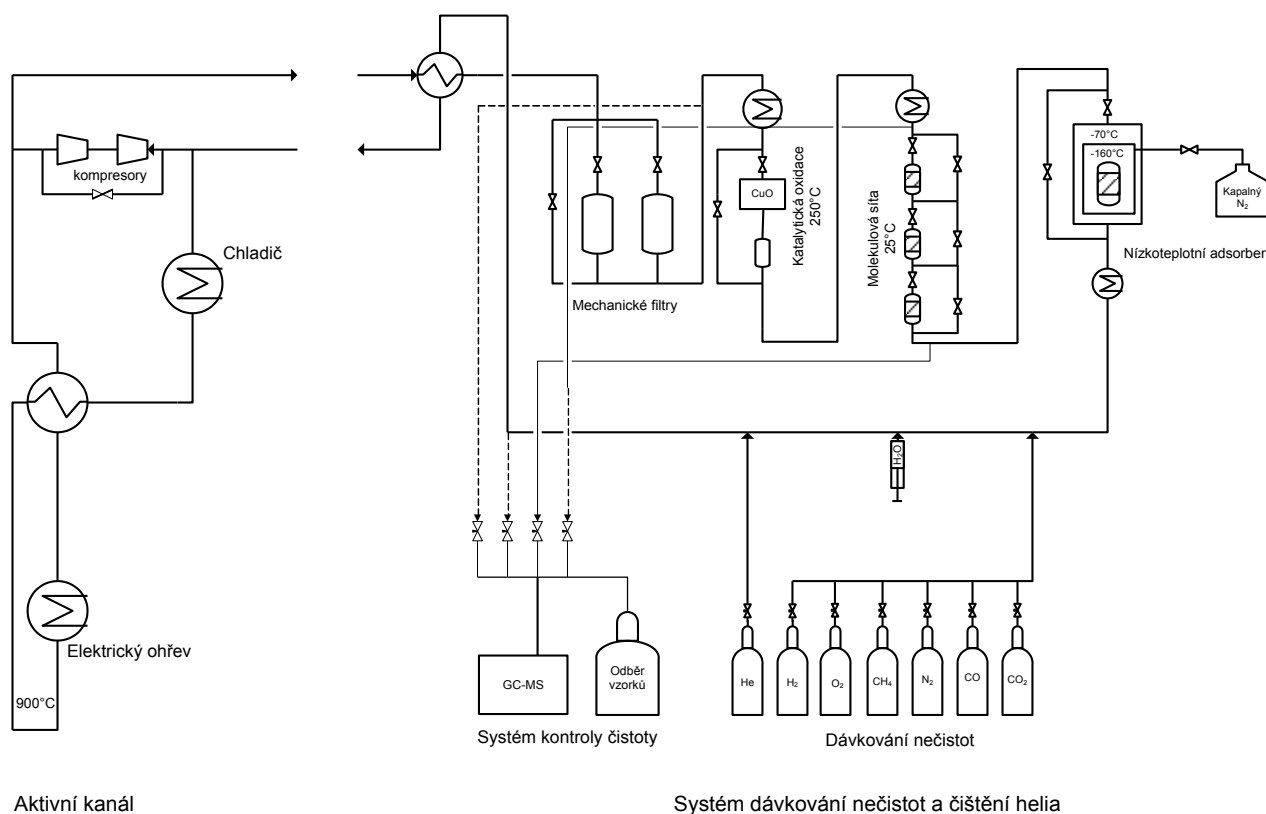
Výkon reaktoru	600 MWth
Teplota chladiva vstup/výstup	640/1000 %
Tlak na vstupu/výstupu	Závisí na využití reaktoru
Průtok helia	320 kg.s ⁻¹
Průměrná hustota energie	6-10 MWth.m ⁻³
Palivo	UO ₂ (²³⁵ U <20%), částice pokryté povlakem ZrC, bloky, jehlice nebo koule
Účinnost	>50%

2. Experimentální vysokoteplotní heliová smyčka (HTHL) v ÚJV Řež, a.s.

Experimentální program ÚJV Řež týkající se V/HTR, na kterém se podílí také VŠCHT Praha, úzce souvisí s výstavbou a provozem nového experimentálního zařízení – vysokoteplotní heliové smyčky (High Temperature Helium Loop – HTHL) v areálu ÚJV Řež a.s. Výstavba tohoto zařízení je financována (mimo jiné) z úkolů 6. rámcového programu EU a Ministerstva obchodu a průmyslu ČR. Účelem HTHL je simulace

fyzikálních a chemických podmínek chladiva reaktorů V/HTR a má sloužit k testování konstrukčních materiálů pro plynem chlazené reaktory a výzkumu chemie plyného chladiva. HTHL se skládá z několika částí: aktivního kanálu, systému čištění, úpravy a kontroly čistoty helia – viz schéma na obr. 1. Aktivní kanál má být umístěn v jádře experimentálního jaderného reaktoru LVR-15 v ÚJV Řež. LVR 15 je lehkovodní reaktor

bazénového typu (tj. tlak nad hladinou vody v reaktoru je pouze atmosférický), tepelný výkon reaktoru dosahuje 10 MW, jako palivo je použito ruské IRT-2M s obohacením 36 %, tok tepelných neutronů v jádře je cca $1,5 \cdot 10^{18} \text{ n.m}^{-2}\text{s}^{-1}$ a tok rychlých neutronů cca $2,5 \cdot 10^{18} \text{ n.m}^{-2}\text{s}^{-1}$.



Obr. 1 Schéma vysokoteplotní heliové smyčky v ÚJV Řež

Maximální teplota helia v HTHL v prostoru pro testování vzorků (prostor válcového tvaru o průměr 50 mm a délce 475 mm) by se měla pohybovat kolem 900 °C, tlak ve smyčce by měl být cca 7 MPa, max. průtok plynu ve smyčce 38 kg.hod⁻¹.

Většina komponent smyčky je vyrobena z titaniem stabilizované oceli s obsahem 18 % Cr a 10 % Ni, teplota vnějšího povrchu trubky by měla dosahovat max. 500 °C (podmínka SÚJB pro udělení povolení k provozu v reaktoru). Aktivní kanál (obr. 2) je tvořen systémem koaxiálních trubek, regeneračním výměníkem, elektrickým ohřivačem, vodním chladičem, izolací a dalšími podpůrnými systémy (expanzní nádoby, ventily, atd.). Médium vstupuje do kanálu hlavou kanálu a protéká směrem dolů kolem tlakové trubice. Během této fáze médium předává teplo získané radiačním ohřevem v reaktoru (až 30 kW). Během odstávek reaktoru bude výpadek radiačního ohřevu kompenzován elektrickým ohřevem. Po dosažení dna kanálu se médium vrací zpět

směrem nahoru trubici procházející středem výměníku. Poté proudí médium opět směrem dolů skrz tepelný výměník vnější trubici, kolem zóny s elektrickým ohřevem, kde je dosaženo požadované teploty před vstupem do prostoru pro testování vzorků materiálů. Po opuštění testovacího prostoru je tok média zchlazen ve výměníku. Tento postup by měl dle výpočtů zaručit minimální tepelné ztráty. Délka aktivního kanálu je cca 6 m.

Důležitou součástí aktivního kanálu je i oběhový dvoustupňový kompresor (obr. 3). Při návrhu této součásti bylo nutno překonat určité problémy (např. velké zatížení hlavního ložiska kompresoru). Kompresor byl vyroben ve strojárnách ve Velké Bíteši. Maximální teplota helia v kompresoru by, kvůli namáhání součástek, neměla přesáhnout 200 °C. Vývoj kompresoru pro HTR a podobné systémy je také jedním z úkolů evropského výzkumného projektu „Integrated Infrastructure Initiatives for Material Testing Reactors Innovations“ (MTR+I3).

2.1. Systém čištění helia a dávkování nečistot

HTHL by měla sloužit mimo jiné i k testování postupů čištění plynného chladiva pro reaktory V/HTR, případně i GFR (Gas Fast Reactor – rychlý reaktor chlazený plynem). Systém čištění helia a dávkování nečistot (obr. 4) zahrnuje přesné dávkování nečistot do proudu plynu, čistící okruh a systém kontroly čistoty.

Hlavní typy nečistot očekávaných v heliu ve VHTR jsou uvedeny v tabulce 2. Tyto nečistoty se do plynného chladiva reaktoru mohou dostat průnikem z okolí, desorpcí z konstrukčních materiálů, mohou vznikat následnými reakcemi (např. vlhkostí nebo kyslíku s grafitem v jádru V/HTR), atd., zdroje nečistot v plyném chladivu V/HTR jsou schématicky znázorněny na obr. 5 [8]. Pro porovnání jsou v tabulce uvedeny koncentrace nečistot dosahované při stabilním provozu prototypů HTR [9] provozovaných v 60. – 80. letech 20. století. I takto nízké koncentrace nečistot mohou způsobit poškození konstrukčních materiálů. Nejčastěji dochází k nauhličení, oduhlíčení nebo oxidaci oceli a tím i ke změně mechanických vlastností [7, 10]. Vlhkost nebo kyslík v chladivu reagují za vysoké teploty s grafitem v aktivní zóně reaktoru.



Obr. 2 Aktivní kanál HTHL

Nečistoty budou do helia v HTHL dávkovány přesnými elektrickými ventily přes dávkovací nádobu, voda bude dávkována v kapalném stavu. Návrh systému čištění byl inspirován systémem čištění helia pro čínský experimentální reaktor HTR-10 [11]. Princip odstranění nečistot je následující: Prach a korozní produkty obsahující radioaktivní částice (^{60}Co , ^{59}Fe) o průměru větším než $5\mu\text{m}$ se zachytí na mechanických filtrech. H_2 včetně radioaktivních izotopů (tritia) a oxid uhelnatý se zoxidují na katalyzátoru (CuO , Cr_2O_3) při cca $250\text{ }^\circ\text{C}$ na vodu a CO_2 . Voda a oxid uhličitý se následně zachytí na molekulových sítích při teplotě $25 - 50\text{ }^\circ\text{C}$. CH_4 , O_2 , N_2 a ostatní zbytkové nečistoty budou zachyceny na nízkoteplotním adsorberu při teplotě až $160\text{ }^\circ\text{C}$. Tento aparát má dvoustupňové chlazení, teploty do $-70\text{ }^\circ\text{C}$ jsou dosažovány kompresorovým chlazením, nižší teploty chlazením kapalným dusíkem.

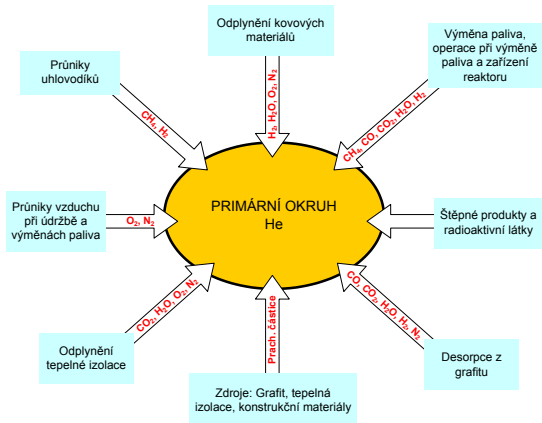


Obr. 3 Oběhový kompresor HTHL

Systém čištění helia bude propojen s aktivním kanálem smyčky, max. průtok skrz tento systém by se měl pohybovat kolem 10 % z celkového průtoku helia smyčkou. Systém je navržen jako variabilní, průtok je možno měnit, některé aparáty bude možno během experimentů bez nutnosti demontáže vyřadit z provozu. Jako náplň jednotlivých adsorberů jsou navržena molekulová síta o velikosti pórů 4A nebo 5A (byla využita v prototypch HTR reaktorů pro odstranění CO_2 a H_2O [11]) a různé typy aktivního uhlí pro zachycení CH_4 a ostatních typů nečistot zejména v nízkoteplotním adsorberu. V úvahu připadají též adsorbenty na bázi silikagelu, které byly rovněž používány na jaderných elektrárnách s plynem chlazenými reaktory [11]. Vyvíjeny jsou rovněž i selektivní membrány pro separaci výše zmíněných nečistot. Testování účinnosti vybraných adsorbentů při odstraňování nečistot z helia bude předmětem výzkumu.



Obr. 4 Komponenty systému čištění a kontroly čistoty helia a dávkování nečistot umístěné v ocelovém rámu 3,5·3, 4·2,7 m



Obr. 5 Zdroje nečistot v plynném chladiči vysokoteplotních reaktorů

Tabulka 2 Rozmezí koncentrací nečistot v HTR heliu

Nečistota	Koncentrace (cm ³ ·m ⁻³)		
	Očekávané rozmezí	AVR – stabilní provoz	DRAGON – stabilní provoz
H ₂ , tritium	20 – 500	30	1,0
H ₂ O	do 10	3	0,05
CO	1 – 300	30	0,6
CH ₄	2 – 40	-	0,15
CO ₂	0,1 – 10	10	<0,02
N ₂	do 1,5	-	0,15
O ₂	<1	-	-
prach	-	-	-

2.2. Systém kontroly čistoty helia

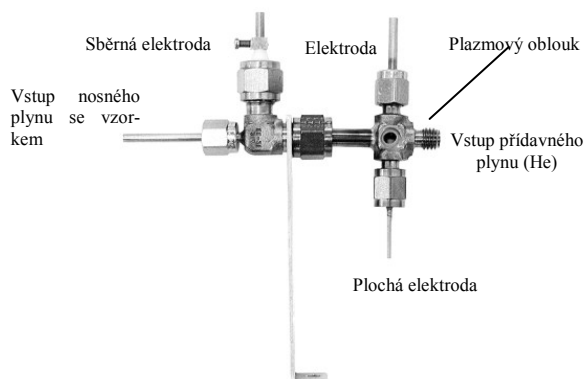
Přesné stanovení nízkých koncentrací nečistot uvedených v tabulce 2 klade značné nároky na analytické metody a případně i odběr vzorku plynného média. Součástí HTHL je panel pro odběr vzorků (patrný na obr. 4). Odběrové trasy jsou navrženy tak, aby byla minimalizována kontaminace odebraného vzorku okol-

ním vzduchem, mimo jiné je to zajištěno evakuací odběrových tras po připojení odběrového kanystru. Počítá se i s napojením analytických přístrojů přímo na odběrové místo HTHL.

Velmi důležitý je výběr samotné analytické metody. Experimentálně bylo např. zjištěno, že plynová chromatografie s plamenovým ionizačním detektorem (FID) ani tepelně-vodivostním detektorem (TCD) nejsou pro tyto látky v nízkých koncentracích dostatečně citlivé. Vhodnou metodou pro stanovení obsahu výše uvedených nečistot v daném rozmezí koncentrací může být hmotnostní spektrometrie s plynovou chromatografií (GC-MS), plynová chromatografie s heliově ionizačním detektorem (GC-HID) nebo infračervené spektrometrie s Fourierovou transformací (FTIR) a speciální metody pro stanovení stopové vlhkosti v plynu. Předběžné experimenty stanovení obsahu výše zmíněných látek v kalibračním plynu metodou GC-MS na VŠCHT Praha však zatím nepřinesly očekávané výsledky, na optimalizaci metody se pracuje. Vývojem analytické metody založené na využití GC-HID bylo dosaženo těchto detekčních limitů: H₂: 0,3 cm³·m⁻³, CO: 0,6 cm³·m⁻³, CH₄: 0,4 cm³·m⁻³, CO₂: 0,2 cm³·m⁻³, N₂: 0,1 cm³·m⁻³, O₂: 0,1 cm³·m⁻³. Na dalším vývoji metody, který by vedl k dalšímu snížení detekčních limitů, se pracuje na VŠCHT Praha i v ÚJV Řež a.s.

Detektor HID (obr. 6) pracuje na tomto principu: Helium prochází prostorem mezi dvěma elektrodami, atomy helia jsou zde přivedeny do excitovaného stavu za vzniku heliové plazmy. Při návratu atomů helia do základního stavu dojde k vyzáření fotonu. Tento foton následně ionizuje molekuly vzorku, ionizovány jsou všechny látky s nižším ionizačním potenciálem než 17,7eV. Ionizované molekuly jsou přitahovány ke sběrné elektrodě, signál je poté zesílen a veden do vyhodnocovací jednotky [12].

Velmi citlivá je i metoda FTIR, lze pomocí ní stanovit ale pouze látky s různými atomy v molekule, např. molekuly N₂ nebo O₂ nelze touto metodou detekovat.



Obr. 6 HID detektor

Pro vyhodnocení korozních testů jsou důležité také přesné údaje o obsahu vlhkosti v heliu. Pro monitorování vlhkosti v HTHL byl vybrán systém BARTEC F 5673 (obr. 7). Řídící jednotka tohoto systému umožňuje

zapojit až tři čidla pro měření obsahu vlhkosti v plynu. Obsah vody v plynu je tímto přístrojem stanovován na principu měření změny vlnové délky paprsku infračerveného světla [14]. Tato metoda je přesná hlavně pro stanovení stopových koncentrací vlhkosti – od $1 \text{ cm}^2 \cdot \text{m}^{-3}$ (1 vppm), při vyšších koncentracích vody v plynu (řádu objemových %) je tato metoda méně přesná. Výhodou systému BARTEC oproti konkurenčním systémům je, že senzory vlhkosti není nutné během provozu zařízení pravidelně kalibrovat. Kalibrace se provádí pouze jednou před prvním použitím nebo první montáží systému. Nevýhodou může být, že tato metoda vykazuje poměrně pomalou odezvu na skokovou změnu vlhkosti. Primárně měřenou veličinou je relativní vlhkost, pomocí aktuální teploty a tlaku plynu může být tato veličina ve vyhodnocovací jednotce přepočtena na další veličiny, např. rosný bod, parciální tlak vodní páry, $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, aj. Čidla pro stanovení vlhkosti jsou v HTHL umístěna na vstupu do systému dávkování nečistot a čištění helia, za adsorbéry s molekulovými sítí a na výstupu ze systému čištění a dávkování (tj. za nízkoteplotním adsorbérem).



Obr. 7 Analyzátor vlhkosti BARTEC 5673 s čidly vlhkosti [15]

2.3. Současný stav a plánované využití HTHL

Zkušební provoz hlavního okruhu (tj. aktivního kanálu) HTHL bez ohřevu plynu byl zahájen v r. 2009. Projevilo se ale několik závad na oběhovém kompresoru, který musel být kvůli odstranění závad odeslán zpět k výrobci. Další provozní testy jsou plánovány v průběhu r. 2010. První experimenty mimo reaktor by mohly začít v r. 2011, přesun aktivního kanálu smyčky do reaktoru LVR-15 je odhadován na rok 2012. S HTHL se počítá např. při řešení projektů 7. rámcového programu EU zaměřených na testování konstrukčních materiálů a komponent systémů V/HTR, některé projekty byly přihlášeny v r. 2010.

3. Zařízení pro výzkum plynem chlazených reaktorů ve světě

Zařízení pro testování konstrukčních materiálů byla provozována celá řada zejména v 60. až 80. letech minulého století, kdy byly provozovány prototypy plynem chlazených jaderných reaktorů a tento výzkum byl proto velmi intenzivní. Jako příklad lze uvést např. experimentální smyčku AIDA, která byla provozována v 80. letech ve Francouzském jaderném institutu CEA.

Provozní tlak v tomto zařízení byl 5 MPa, max. průtok plynu ve smyčce $125 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$ a $2 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$ v okruhu s autoklávy, což odpovídalo rychlosti průtoku $2 - 5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ v hlavním okruhu smyčky a $5 - 15 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ v autoklávech. Smyčka byla vybavena třemi autoklávy pro testování korozních vlastností vzorků materiálů, pracovní teplota v autoklávech se pohybovala mezi $600 - 900 \text{ }^\circ\text{C}$. Součástí zařízení byl i samostatný okruh pro čištění helia. V celé smyčce mohlo být testováno max. 36 vzorků z toho 6 mechanicky namáhaných [15]. Podobná zařízení byla provozována i v jiných výzkumných institucích, některá byla provozována na nižších tlacích. Zařízení často nebyla vybavena zdrojem radioaktivního záření pro testování vlivu radiace na konstrukční materiály, spíše výjimečně byla tato zařízení vybavena např. komůrkou se zdrojem gama záření pro ozařování vzorků [16]. V některých případech byly prováděny testy na vzorcích předozářených v experimentálních reaktorech. V pozdější době byl výzkum plynem chlazených reaktorů utlumen, což souvisí jednak s útlumem jaderné energetiky celkově a jednak preferencí vodou chlazených reaktorů. Zájem o výzkum v oblasti vysokoteplotních reaktorů se opět zvýšil po r. 2000 v souvislosti se stoupající celosvětovou spotřebou energie a potřebou vývoje nových, efektivnějších energetických zdrojů.

V současné době se zařízení pro výzkum koroze konstrukčních materiálů pro V/HTR nacházejí např. ve francouzské CEA nebo ve Francouzském podniku jaderného strojírenství AREVA. Jde vesměs o zařízení umožňující přesné dávkování nečistot do proudu helia pro vytvoření definovaného korozního prostředí, koncentraci těchto látek v heliu je možno monitorovat pomocí analyzátorů. Zařízení jsou vybavena pecemi křemennými retortami, ve kterých lze dosáhnout nejvyšších teplot mezi 900 a $1500 \text{ }^\circ\text{C}$. Zařízení pracují na nízkém, většinou atmosférickém tlaku. Bližší informace o těchto zařízeních lze nalézt v literatuře [9]. Před dokončením je v CEA dynamická heliová smyčka, v níž by mělo být dosahováno tlaku až 10 MPa, teploty $850 \text{ }^\circ\text{C}$ při průtoku helia $50 \text{ g} \cdot \text{s}^{-1}$.

V roce 2009 byla agenturou pro jadernou energii při OECD (OECD-NEA) vypracována studie, jejímž cílem bylo určit hlavní směry výzkumu a vývoje v oblasti plynem chlazených jaderných reaktorů a vytvořit seznam existujících (nebo právě dokončovaných) experimentálních zařízení ve světě, na kterých lze tento výzkum provádět [17]. Dle této studie existuje v rámci problematiky plynem chlazených reaktorů celkem 5 oblastí, ve kterých by měl být prováděn výzkum a vývoj: havarijní stavy a termohydraulika, transport štěpných produktů v reaktorovém systému, (kovové) vysokoteplotní konstrukční materiály, grafit a keramické materiály a jaderná paliva.

Jedním z nejvýznamnějších experimentálních zařízení pro výzkum plynem chlazených reaktorů je výzkumný reaktor HTTR (High Temperature Test Reactor) Japonské atomové agentury (JAEA). Jedná se o heliem chlazený reaktor o tepelném výkonu 30 MW využívající palivo ve tvaru jehlic uspořádané v tzv.

prizmatických blocích. Maximální teplota chladiwa na výstupu aktivní zóny může dosáhnout až 950 °C, tlak v primárním okruhu je 4 MPa [17 - 19]. Toto zařízení bylo postaveno v průběhu 90. let 20. století, kritického stavu bylo v aktivní zóně HTTR dosaženo 10. 11. 1998. Od roku 2002 probíhají na tomto zařízení různé provozní testy. HTTR byl postaven hlavně za účelem výzkumu a vývoje technologií využití vysoké teploty chladiwa, především při výrobě vodíku vysokoteplotní elektrolýzou nebo v tzv. termochemických cyklech [19]. HTTR lze ale také využít pro výzkum chování reaktoru při nestandardních provozních podmínkách, transportu štěpných produktů v systému a testům vzorků konstrukčních materiálů [18].

Výzkum vysokoteplotních plynem chlazených reaktorů probíhá i v USA, kde vznikl mimo jiné i ambiciózní projekt na výstavbu prototypu závodu vyrábějícího vodík s využitím vysoké teploty chladiwa V/HTR (tzv. NNGP – Next Generation Nuclear Plant) [19]. Realizován by měl být kolem roku 2020. Mezi nejvýznamnější experimentální zařízení pro výzkum materiálů v USA patří reaktor s vysokým neutronovým tokem pro ozařování paliva a grafitu v Oak Ridge National Laboratory a 5 MW výzkumný reaktor v Massachusetts Institute of Technology, jenž je vybaven zařízeními umožňujícími ozařování paliva nebo grafitu při teplotě 1400 °C. Další experimentální zařízení jsou např. v Idaho National Laboratory, Argonne National Laboratory, aj.

Relativně známým evropským zařízením je smyčka HELOKA (Helium loop Karlsruhe) ve Forschungszentrum Karlsruhe v Německu. Jedná se o nové experimentální zařízení, jehož účelem je výzkum termohydrauliky a testování komponent pro heliem chlazený blanket fuzních reaktorů. Toto zařízení je tedy primárně určeno pro výzkum spojený s termojadernou fúzí, i když po určitých úpravách by mohla sloužit i k výzkumu plynem chlazených (štěpných) reaktorů. HELOKA je smyčka ve tvaru „8“ s výměníkem (ekonomizérem) plyn-plyn, má být provozována při tlaku 10 MPa na teplotách 300 – 500 °C. HELOKA by měla být uvedena do provozu v r. 2010, uvažuje se o doplnění této smyčky o horké větve, ve kterých by měla teplota dosáhnout až 900 °C za účelem provádění vysokoteplotních experimentů [17, 20, 21].

Zařízení HTHL v ÚJV Řež a.s. příkládá studii OECD-NEA [17] velikou důležitost, výhodná se jeví zejména značná variabilita tohoto zařízení, možnost provádět experimenty bez i s přítomností radiace, parametry zařízení (max. teplota a tlak) se navíc blíží parametrům reaktoru V/HTR (Tabulka 1).

Dalším významným výzkumným zařízením, které ovšem není uvedeno ve studii OECD-NEA [17], je čínský reaktor HTR-10. Výstavba tohoto reaktoru nedaleko Pekingu byla dokončena v r. 2000, provoz při plných parametrech začal v lednu r. 2003. Účelem HTR-10 je ověření technických a bezpečnostních parametrů modulární plynem chlazených reaktorů a sběr dat pro vývoj aplikací využívající procesní teplo z jaderných reaktorů [19]. Koncepce tohoto reaktoru je podobná

koncepci německých prototypů HTR reaktorů. Průměr aktivní zóny HTR-10 je 1,8 m. Částice jaderného paliva jsou obsaženy v grafitových koulích o průměru 6,5 cm (tzv. TRISO palivo, koule jsou tvořeny několika vrstvami grafitu). Aktivní zóna obsahuje 27000 palivových koulí. Tyto koule v zóně cirkulují, čímž se dosahuje rovnoměrnému vyhoření paliva. Na druhou stranu je třením koulí o sebe produkováno zvýšené množství prachu v primárním okruhu. Provoz HTR-10 by měl mít dvě fáze: V současné době teplota helia v primárním okruhu dosahuje teploty max. 700 °C při tlaku 3 MPa, sekundární okruh je parovodní s parogenerátorem a klasickou parní turbinou. V další fázi by měl být tento sekundární okruh nahrazen plynovou turbínou zapojenou v primárním okruhu (tzv. uspořádání v přímém cyklu) pracující v tzv. Barytonově cyklu (podrobnosti viz. [19]). Teplota helia na výstupu z aktivní zóny by měla vzrůst na 900 °C. Realizaci tohoto řešení však zatím brání technické problémy.

4. Závěr

V ÚJV Řež a.s. byla dokončena výstavba zařízení, jehož účelem je testování konstrukčních materiálů pro vysokoteplotní plynem chlazené jaderné reaktory, výzkum chemie chladiwa a testování metod čištění plynného chladiwa. Hlavní parametry tohoto zařízení jsou: max. teplota 900 °C, tlak 7 MPa, průtok helia 38 kg.hod⁻¹. Zařízení by mělo umožnit testy bez i při současném působení radioaktivního záření. Do konce roku 2010 by mělo být provedeno ověření parametrů zařízení, první experimenty bez vlivu radiace by mohly začít v průběhu r. 2011, přesun aktivního kanálu smyčky do reaktoru LVR-15 by se mohl uskutečnit v r. 2012. Prokáže-li se během zkušebního provozu, že zařízení je schopno dlouhodobého provozu na projektovaných parametrech, bude mít toto zařízení mezinárodní význam pro výzkum a vývoj v oblasti vysokoteplotních a rychlých plynem chlazených reaktorů.

Poděkování

Práce vznikla (mimo jiné) za finanční podpory vyčleněné z prostředků výzkumného záměru MSM 6046137304 řešeného na FTOP VŠCHT Praha. Autoři příspěvku děkují MŠMT ČR.

Literatura

1. A technology roadmap for Generation IV Nuclear Energy System, U.S. DOE Nuclear Energy Research Advisory Committee and the Generation IV International Forum, 2002 <http://gif.inel.gov/roadmap/> staženo 16.2.2010
2. Nickel H., Shubert F., Schuster H.: Nuclear Engineering and Design 78, 1984, 251
3. Verfondern V., Barnert H., von Lensa W.: The Production of Nuclear Hydrogen by means of Process Heat from HTGRs Proceedings of ICAPP, Cordoba-Spain 2003

4. Citary X., Le Duigou A., Charles P.: *Energy Conversion and Management* 47, 2006, 2740
5. Piera M., Martínez-Val J. M., Montes M. J. : *Energy Conversion and Management* 47, 2006, 2732
6. Bečvář J.: *Jaderné elektrárny*, SNTL Praha 1981
7. Natesan K., Purohit, A., Tam S. W.: report NUREG/CR-6824: Materials Behavior in HTGR Environments, Office of Nuclear Regulatory Research, Washington, 2003
8. Board J.: *The journal of the British nuclear energy society* 9/2, 1970, 101
9. Cabet C., Terlain A., Girardin G., Kaczorowski D., Blat M., Séran J. L., Dubiez Le Goff S.: Benchmark CEA – AREVA NP – EDF of the Corrosion Facilities for VHTR Proceedings of ICAPP 2007 Nice, France, May 13-18, 2007, Paper 7192
10. Yao M. S., Wang R. P., Liu Z. Y., He X. D., Li J.: *Nuclear Engineering and Design* 218, 2002, 163
11. Collins A. C., Gliddon B. J., Phennah P. J.: Component design in high temperature reactors using helium as a coolant. 1972. , Conference on component design in high temperature reactors using helium as a coolant. London, UK. 3 May 1972, str. 105
12. www.srigc.com/HIDman.pdf - staženo 30.3.2010
13. Prokeš O., Tenkrát D.: Stanovení vlhkosti v heliu, technická zpráva 015/08, VŠCHT Praha 2008
14. http://www.jontech.nl/hygrophil_fr2.pdf staženo 12.5.2010
15. Cappelaere M., Perrot M., Sannier J.: *Nuclear Technology* 66, 1984, 465
16. Sasaki Y., Imai H., Nomura S., Kurosawa T., Fujii K.: The corrosion of nuclear graphites with water vapor in helium, Proceedings of the second U.S.-Japan seminar on HTGR safety technology, Japan Atomic Energy Research Inst., Tokai, Ibaraki. Tokai Research Establishment, JAERI. Jun 1979, str. 230
17. Experimental Facilities for Gas-cooled Reactor Safety Studies, OECD-NEA No 6864, 2009 <http://www.nea.fr/nsd/reports/2009/nea6864-TAREF.pdf>, staženo 10.5.2010
18. Shiozawa S., Fujikawa S., Iyoku T., Kunitomi K., Tachibana Y.: *Nuclear Engineering and Design* 233, 2004, 11
19. Elder R., Allen R.: *Progress in Nuclear Energy* 51, 2009, 500
20. Ghidersa B. E., Ionescu-Bujor M., Janeschitz G.: *Fusion Engineering and Design* 81, 2006, 1471–1476
21. Wu Z., Lin D., Zhong D.: *Nuclear Engineering and Design* 218, 2002, 25

Summary

Jan Berka^{1,2}, Michal Černý¹, Josef Matěcha²

¹ VŠCHT Praha, Technická 1905, 16628 Praha 6,
² ÚJV Řež, Husinec-Řež 130, 25068 Řež,

High Temperature Helium Loop – a new experimental device in NRI Řež plc.

High Temperature Helium Loop (HTHL) which is presently under construction and will simulate the physical and chemical parameters of helium coolant in High Temperature nuclear Reactors (HTR). Pure helium will be used as working medium in the HTHL. Its main physical parameters are the pressure of 7MPa, max. temperature in the test section 900 °C and the flow rate 37.8 kg.h⁻¹. HTHL will include helium purification system, system of impurities dosage and helium sampling. HTHL is proposed for tests of VHTR structural materials and helium purification testing. In the future the active channel of HTHL will be placed to the experimental nuclear reactor LVR-15, so the experiments could be carried out under irradiation.