

APLIKOVANÝ VÝZKUM JADERNÉ FÚZE V ŘEŽI

STRUČNÝ
PRŮVODCE
HISTORIÍ



Centrum výzkumu Řež s.r.o.
Research Centre Rez

Skupina ÚJV



Aplikovaný výzkum jaderné fúze v Řeži - Stručný průvodce historií

Vydalo



Centrum výzkumu Řež s.r.o.

Research Centre Rez

Centrum výzkumu Řež s.r.o.

Hlavní 130

250 68 Husinec-Řež

E-mail: cvrez@cvrez.cz

Telefon: +420 266 173 181

IČ 26722445

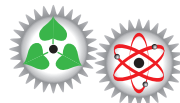
Web: www.cvrez.cz

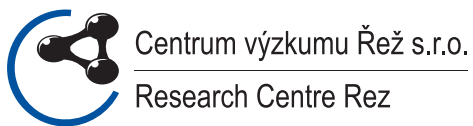
2014

Publikace byla podpořená v rámci projektu OP VK:

**Popularizace VaV v oblasti jaderné bezpečnosti a revitalizace krajiny
v partnerské síti organizací VaV a společnosti Česká hlava**

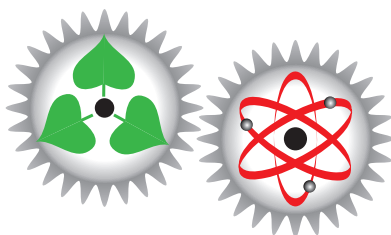
CZ.1.07/2.3.00/35.0046





HISTORIE APLIKOVANÉHO VÝZKUMU JADERNÉ FÚZE V ŘEŽI

Stručný průvodce historií



Popularizace VaV v oblasti jaderné bezpečnosti a revitalizace krajiny
v partnerské síti organizací VaV a společnosti Česká Hlava
CZ.1.07/2.3.00/35.0046

Obsah

Ústav pro atomovou fyziku	3
Ústav jaderné fyziky	4
Ústav jaderného výzkumu	5
Program rychlých reaktorů	5
Počátky výzkumu jaderné fúze v Řeži	6
Projekt ITER	7
Privatizace ÚJV	9
Akademické probuzení	9
Aplikovaný výzkum EFDA	10
Fusion for Energy F4E	12
Evropské konsorcium TBM-CA	13
Centrum výzkumu Řež	14
Projekt SUSEN	15
Kontrahovaný výzkum	17
Ukončení dohody EFDA	17
Fusion Roadmap	17
Konsorcium EUROfusion	18
CVŘ a EUROFUSION	19
Aktuální stav fúzního výzkumu v Řeži	20
Budoucnost aplikovaného výzkumu jaderné fúze	21
Poděkování	21
Použitá literatura	22
Obrazová příloha	23



HISTORIE APLIKOVANÉHO VÝZKUMU JADERNÉ FÚZE V ŘEŽI

Slavomír Entler

Aplikovaný výzkum jaderné fúze má za cíl vyvinout energetický zdroj, založený na jaderném fúzním reaktoru. Tento výzkum po všech stránkách spadá do aplikovaného jaderného výzkumu, jehož tuzemskou základnou je výzkumný areál v Řeži u Prahy. S malou nadsázkou lze datovat zahájení aplikovaného výzkumu jaderné fúze v Čechách do roku 1956, kdy byla v tribunách Strahovského stadionu po vzoru Enrica Fermiho zprovozněna první experimentální smyčka pro výzkum chlazení energetického reaktoru tekutým kovem.

Ústav pro atomovou fyziku

Výzkum atomové fyziky má v českých zemích dlouhou tradici. Například radioaktivita se v Čechách na akademické půdě studovala díky těžbě uranu a obsahu rádia v uranových kalcích jako přirozená součást přírodovědného bádání již od roku 1922. Zahájení tuzemského jaderného výzkumu lze datovat do období těsně po druhé světové válce a svržení atomových bomb na Hirošimu a Nagasaki.

Česká akademie věd a umění (ČAVU) rozhodla dne 14. června 1946 o vytvoření komise pro vypracování návrhu na zřízení Ústavu pro atomovou fyziku. Tato komise zformulovala memorandum, které stanovilo hlavním cílem nového ústavu „soustavné bádání v oboru atomové fyziky a výzkum praktického využívání atomové energie pro účely technické, biologické, lékařské a všeobecně prospěšné lidské společnosti“. Příprava kvalifikovaných pracovníků pro nový ústav byla dohodnuta na dvou stipendijních místech v zahraničí – u profesora Frédériqua Joliot-Curie z Collège de France a u profesora Manne Siegbahna z Královské švédské akademie věd.

V roce 1948 získal Ústav pro atomovou fyziku ČAVU svého prvního zaměstnance, Čestmíra Šimáně. Dřívější stipendista u profesora Curie se stal ředitelem nového ústavu. Ústav nejprve sídlil v kancelářích Fyzikálního ústavu v Praze pod Karlovem. Svou budovu později získal v pražské Hostivaři v bývalém parním mlýně bratří Fingerů. V roce 1951 zde proběhla první oficiální zkouška nového urychlovače zakoupeného ve Švédsku.

V kontextu jaderné fúze je pozoruhodná poznámka profesora Šimáně v jeho knize *Život mezi atomy*, týkající se beryliových terčů: „Připájet berylium na mosaznou podložku už nebyl problém, protože při svém pobytu ve Francii jsem si potřebný postup vypracoval. Na berylium se nejprve pod tavídkem pro lehké kovy navaří vrstvička stříbra, takže na mosaz lze ji pak připájet pomocí běžné cínové pájky. Se zdravotním rizikem, dnes pro práci beryliem přehnaně zveličovaným, jsem si tehdy starosti nedělal, přežil jsem to beze škody a zřejmě při pracích tohoto druhu není asi příliš veliké.“



Prof. Čestmír Šimáně (foto archiv ÚJV Řež)

Po vzniku nové Československé akademie věd (ČSAV) byl Ústav pro atomovou fyziku od roku 1953 začleněn do ČSAV pod názvem „Laboratoř nukleární fyziky“ a ČSAV se současně začala zabývat myšlenkou vybudovat vlastní jaderný reaktor. Nápad byl založen na použití tuzemského přírodního kovového uranu v reaktoru moderovaném těžkou vodou. Do přípravy jaderných materiálů byl zapojen československý průmysl a pro zájemce o problematiku jaderných reaktorů byly v Hostivaři pořádány semináře jaderné fyziky. Důležitou roli při prosazování projektu československého výzkumného reaktoru sehrálo úspěšné spuštění první jaderné elektrárny na světě dne 27. 6. 1954 v ruském Obninsku. Mezinárodní spolupráce v oblasti mírového využití jaderné energie se v té době stala jedním z hlavních celosvětových témat a Valné shromáždění OSN přijalo dne 4. 12. 1954 rezoluci o vytvoření mezinárodního orgánu pro atomovou energii.



Ústav jaderné fyziky

Po spuštění Obninské elektrárny se jadernému výzkumu v Československu otevřely všechny dveře. Při Úřadu předsednictva vlády vznikl Vládní výbor pro výzkum a mírové využití jaderné energie a 23. 4. 1955 byla v Moskvě podepsána Dohoda o pomoci Československé republice v rozvoji výzkumu atomového jádra a ve využití atomové energie pro potřeby národní ekonomiky. Na základě této dohody bylo rozhodnuto o vytvoření nového velkého Ústavu jaderné fyziky.

Ústav jaderné fyziky zahájil činnost 10. 6. 1955 jako samostatná rozpočtová organizace. Vyčlenění nového ústavu z ČSAV mělo zabránit přelévání peněz pro jaderný výzkum do jiných ústavů ČSAV. Ústav měl za úkol „provádět základní a aplikovaný výzkum v oboru jaderné fyziky, radiochemie a jaderné energetiky, zaměřený zvláště na využití výsledků v energetickém hospodářství Československé republiky, jakož i ve vědě a v praxi jiných oborů, zvláště v průmyslu, v zemědělství a ve zdravotnictví“. Pro umístění ústavu byla vybrána malá vesnička Řež v údolí Vltavy severně od Prahy.

V průběhu výstavby areálu v Řeži našli zaměstnanci ústavu dočasné pracoviště na Strahovském stadionu. Po vzoru prvního atomového reaktoru Enrica Fermiho (v tribunách stadionu Chicagské univerzity) bylo ve strahovských tribunách v krátké době postaveno množství experimentálních zařízení a rozeběhly se zde výzkumné práce.

Politické změny postalinské doby a výměna našich politických elit v rámci destalinizace se odrazily i v řízení jaderného výzkumu. V roce 1956 byl zrušen Vládní výbor pro výzkum a mírové využití jaderné energie a zároveň byl Ústav jaderné fyziky k 16. 6. 1956 začleněn zpět do struktury ČSAV. Tím došlo ke ztrátě zvláštních výsad, kterými ústav po krátkou dobu disponoval.

V oddělení jaderné fyziky získal v té době místo mezi jinými Jiří Čermák, který rozpracoval teorii transportu neutronů. Později svoji práci využil pro výpočet neutronových toků ve fúzním reaktoru. V ústavu se také začala formovat první generace československých odborníků na jadernou energetiku, mezi kterými byl i Vlastimil Šulc, jenž se později zasadil o vstup Československa do projektu Mezinárodního termojaderného experimentálního reaktoru ITER. Ještě ve strahovských tribunách v roce 1956 sestavila výzkumná skupina oddělení energetiky první sodíkovou trať pro experimentální výzkum chlazení jaderných reaktorů tekutými kovy.

24. 9. 1957 byl v Řeži spuštěn jaderný reaktor VVRS. Ústav měl v té době tři vědeckovýzkumné úseky – úsek jaderné fyziky, úsek radiochemie a úsek energetiky. Úsek jaderné fyziky byl zaměřen na výzkum základních vlastností elementárních částic, neutronovou fyziku, jadernou spektrometrii a dozimetrii ionizujícího záření. Úsek radiochemie se věnoval výzkumu metod použitelných na přepracování vyhořelého paliva, zneškodňování radioaktivních odpadů, odmořování a výrobu radioizotopů a značených sloučenin. Úseku energetiky připadl výzkum jaderných technologií a řešení konstrukce jaderných reaktorů.



Ústav jaderného výzkumu

V normalizačním období po událostech roku 1968 byl Ústav jaderné fyziky od 1. 1. 1972 rozhodnutím vlády rozdělen na dva ústavy. Ústav jaderné fyziky zůstal součástí ČSAV. Ale rozhodující část ústavu byla převedena do nového Ústavu jaderného výzkumu (ÚJV) spadajícího do kompetence Československé komise pro atomovou energii (ČSKAE). Po dvaceti čtyřech letech své existence aplikovaný jaderný výzkum znovu a tentokrát definitivně opustil akademickou půdu.

Program rychlých reaktorů

V letech 1972 až 1985 Ústav jaderného výzkumu koordinoval projekt „Vývoj rychlých reaktorů v ČSSR“, jehož cílem byla příprava výstavby jaderné elektrárny na bázi rychlého reaktoru o výkonu 1600 MW. Na sodíkových smyčkách probíhal rozsáhlý experimentální teplotní výzkum pod vedením V. Šulce a ve vývoji komponent se stal dominantní vývoj sodíkového parního generátoru. V. Křížek a F. Dubšek, kteří se účastnili již seminářů v Hostivaři, se věnovali problematice použití tekutých kovů k přenosu tepla a prováděli experimenty s eutektickou slitinou PbBi.

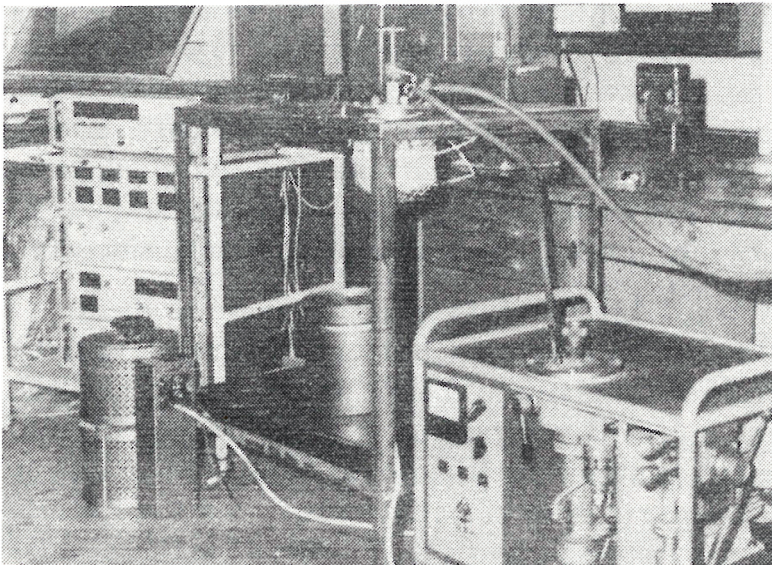
Byl vyvinut originální koncept dvojité trubkovnice pro oddělování vody a sodíku, který umožnil detekci úniku některého z médií dříve, než by došlo k jejich vzájemnému kontaktu. Prototyp parogenerátoru s dvojitou trubkovnicí byl dodán pro ruský experimentální reaktor BOR-60. Protože se plně osvědčil, byl později dodán podobný parogenerátor pro reaktor BN-350, který je funkční dodnes. Podobný koncept dvojité trubkovnice je v současnosti znovu objevován v rámci vývoje vodou chlazeného blanketu WCLL termojaderného reaktoru, využívajícího tekutý kov (eutektickou slitinu lithia a olova LiPb) pro produkci tritia.

Počátky výzkumu jaderné fúze v Řeži

Vysoká odborná úroveň jaderných fyziků a inženýrů v Řeži již od samého počátku nabízela možnost účasti na fúzním výzkumu. Proto se někteří z nich již v průběhu 70. let podíleli na řešení úkolů fúzního výzkumu prováděného Ústavem fyziky plazmatu ČSAV (ÚFP). Například teorie transportu neutronů je obecně použitelná pro štěpné i fúzní neutrony. Jiří Čermák, pracovník oddělení teoretické reaktorové fyziky, spolu s dalšími kolegy z ÚJV modeloval neutronové pole v obalu fúzního reaktoru, podílel se na neutronových výpočtech pro jadernou fúzi a například v roce 1982 v rámci zakázky ÚJV 704 „Vybrané problémy 1. stěny a blanketu reaktoru“ vydal zprávu Výpočet prostorově energetického rozdělení hustoty neutronového toku v blanketu hybridního termojaderného reaktoru.

V roce 1987 do ÚJV nastoupil Slavomír Entler, pravděpodobně první tuzemský absolvent studijního zaměření na technologii fúzních zařízení. Po semináři orientovaném na problematiku fúzní technologie v létě 1987 vedení ústavu rozhodlo, že se ÚJV bude problematikou technologie fúzních reaktorů zabývat. K tomuto rozhodnutí přispěla snaha využít rozsáhlé experimentální zkušenosti na poli tekutých kovů. Fúzní problematikou se začala zabývat výzkumná skupina tekutých kovů V. Šulce v oddělení Teplototechniky, vedeném Františkem Mantlíkem.

V následujícím roce požádal S. Entler docenta Moskevského energetického institutu V. G. Sviridova o přijetí na doktorandské studium se zaměřením na chlazení termojaderného reaktoru tekutou eutektickou slitinou LiPb. Záměrem bylo koordinovat práci výzkumné skupiny v ÚJV s mezinárodním fúzním výzkumem. Výsledkem rozhovorů byl dalekosáhlý návrh legalizovat účast ÚJV na výzkumu chlazení termojaderného reaktoru na mezinárodní úrovni.



Aparatura pro laboratorní výrobu slitiny Li-Pb (1988)

Projekt ITER¹



Na základě dohody S. Entlera a V. G. Sviridova zorganizovali V. Šulc a V. G. Sviridov ve dnech 5.–10. 12. 1988 jednání v Moskvě. Za ruskou stranu se zúčastnili ředitel projektu ITER v SSSR J. A. Sokolov a dále G. J. Šatalov, V. V. Alikajev, V. V. Parail, L. N. Topilskij, A. M. Čelovskij a N. J. Karulin z Institutu atomové energie I. V. Kurčatova, J. S. Strebkov, V. J. Abramov a A. M. Sidorov z Vědecko-výzkumného a konstrukčního ústavu energetiky NIKIET, P. A. Ušakov z FEI Obnisk a V. G. Sviridov z MEI. Za českou stranu se jednání zúčastnil V. Šulc a J. Žďárek z ÚJV, M. Marenčák z ČSKAE, V. Petržílka z ÚFP a F. Chovanec z ELÚ SAV (Elektrotechnický ústav Slovenské akademie věd). Na jednání ruská strana nabídla Československu účast v projektu ITER prostřednictvím SSSR a uvítala možnost využití bohatých zkušeností a experimentálních zařízení ÚJV pro výzkum blanketu (obalu) termojaderného reaktoru. Při rozhodování ruské strany sehrálo velkou roli doporučení FEI Obnisk, oceňující vynikající výsledky spolupráce ÚJV a FEI při výzkumu hydrodynamiky a teplotniky aktivní zóny rychlých reaktorů.

Jednání v Moskvě otevřelo dveře pro vstup Československa do projektu ITER. O rok později, v prosinci 1989, účast Československa v projektu ITER prostřednictvím SSSR odsouhlasila Rada ITER. Této příležitosti následně využil kromě ÚJV také ÚFP a oba výzkumné ústavy se od roku 1989 podílely na projektu ITER, každý ve své oblasti činnosti.

Výzkumná skupina V. Šulce postavila v letech 1988–1990 experimentální zařízení na výrobu eutektické slitiny LiPb a experimentální smyčku pro výzkum termohydrauliky LiPb. Změna politického režimu v roce 1989 však přinesla direktivní zmrazení aktivit a následně úplné přerušování spolupráce se SSSR. Protože financování výzkumu pro projekt ITER probíhalo prostřednictvím SSSR, došlo díky tomu také k zastavení financování fúzního výzkumu a výzkumná skupina byla zrušena.

V roce 1991 prezentoval V. Šulc získané experimentální výsledky na jedné z prvních celosvětových konferencí fúzních technologií ISFNT-2 (The Second International Symposium on Fusion Nuclear Technology) v Karlsruhe v příspěvku „Experimental Research on Time and Spatial Stability of $\text{Li}_{17}\text{Pb}_{83}$ Eutectic Alloy under Various Operational Conditions in the Blanket Channel“.

1 ITER - projekt mezinárodního termojaderného experimentálního reaktoru (International Thermonuclear Experimental Reactor) byl dohodnut v roce 1985 na summitu Ronalda Reagana a Michaila Gorbačova v Ženevě. Smlouvu o projektu ITER podepsaly v roce 1987 USA, SSSR, Evropské společenství a Japonsko. Přistoupení dalších zemí bylo možné prostřednictvím jednoho ze signatářů smlouvy. Počáteční politická podpora projektu ITER se však postupem času vytratila a s ní i finanční zdroje. V roce 1998 USA projekt opustily. Proto byl původní projekt v letech 1999–2001 přepracován a reaktor byl zmenšen. V roce 2003 se k projektu připojila Čína, Jižní Korea a vrátily se USA, v roce 2005 se do projektu připojila Indie. Výstavba reaktoru byla zahájena v roce 2007 ve francouzském městě Cadarache. Spuštění reaktoru je plánováno na rok 2021. Cílem projektu ITER je prokázání možnosti energetického využití jaderné fúzní reakce.

Současně se obrátil na Evropskou komisi s žádostí o financování výzkumu, avšak neúspěšně. Československo v té době již nepatřilo do sovětské zóny, ale zároveň ani nepatřilo do Evropské unie. Po ukončení financování fúzního výzkumu se V. Šulc vrátil k problematice štěpných reaktorů a S. Entler odešel z ÚJV do soukromé sféry. Zařízení na výrobu eutektické slitiny i termohydraulický okruh byly následně zlikvidována při rekonstrukci budovy.



Projekt mezinárodního termojaderného experimentálního reaktoru ITER byl dohodnut v roce 1985 na summitu Ronalda Reagana a Michaila Gorbačova v Ženevě.
(zdroj: <https://www.iter.org/proj/iterhistory>)

Privatizace ÚJV

V roce 1992 byla zahájena privatizace Ústavu jaderného výzkumu jeho transformací na akciovou společnost. Činnost ČSKAE, pod kterou ÚJV spadal, byla ukončena v roce 1993 a jejím nástupcem se stal Státní úřad pro jadernou bezpečnost (SÚJB). V témže roce byl prodán 44% podíl akcií ÚJV, 30 % získal ČEZ, 11 % Škoda Holding Company Plzeň a 3 % obec Husinec. 56 % akcií zůstalo Fondu národního majetku (FNM).

V roce 1997 vstoupila do ÚJV Škoda Jaderné Strojírny a v roce 1999 Slovenské elektrárně. V roce 2001 ČEZ odkoupil zbývající podíl FNM a dokončil tak převzetí ÚJV. V současnosti je ČEZ, a. s., majoritním akcionářem ÚJV s 52.5 %, dalšími akcionáři jsou Slovenské elektrárně, a. s., s 27.8 %, Škoda JS, a. s., s 17.4 % a obec Husinec s 2.4 % podílem.

ČEZ změnil výzkumný charakter ústavu z velké části na technicko-inženýrskou firmu. Odstoupení od výzkumné činnosti se v roce 2012 projeвило také změnou názvu z Ústavu jaderného výzkumu a.s. na prosté „ÚJV Řež“, a. s.

Akademické probuzení

K oživení výzkumu fúzních technologií v údolí Vltavy došlo 10 let po jeho zastavení na základě výzvy Ústavu fyziky plazmatu AVČR, který v roce 1999 inicioval podpis asociační dohody EURATOM-IPP.CR v rámci evropské dohody o fúzním výzkumu European Fusion Development Agreement (EFDA)². V roce 2001 ÚFP přizval do asociace také ÚJV.

Pozvání mělo ryze praktický důvod – pro výzkum fúzních materiálů a technologií byly potřeba silné neutronové zdroje. ÚJV disponoval dvěma experimentálními reaktory a kvalitními odborníky, kteří testování fúzních materiálů dokázali zajistit.

Pozvánkou do asociace EURATOM-IPP.CR skončila v Řeži desetiletá odmlka výzkumu jaderné fúze. Pod vedením tehdejšího ředitele divize reaktorových služeb Jana Kysely se ÚJV zapojil do fúzního výzkumu. Koordinátorem výzkumu se stal Milan Zmítko.

Aplikovaný výzkum EFDA²



V roce 2002 začal ÚJV pod vedením J. Kysely a M. Zmítka pracovat na rozsáhlém spektru problémů fúzního aplikovaného výzkumu, navazujících na dosavadní praxi ve výzkumu materiálů a v technologii tekutých kovů.

Díky kvalifikovaným odborníkům se rychle rozvinul výzkum týkající se korozních vlastností nízkoaktivovatelných feriticko-martenzitických ocelí (RAFMS), především Euroferu 97, ve vodě a v tekutém kovu eutektické slitině LiPb. Předmětem výzkumu byla radiační odolnost a kompatibilita RAFM ocelí s vodíkem a s kapalinami. Byla zkonstruována reaktorová sonda CHOUCA, ve které byly v letech 2002–2004 prováděny statické a dynamické zkoušky houževnatosti Euroferu při přechodové teplotě v neutronovém poli jaderného reaktoru LVR-15. Pro výzkum dynamiky koroze Euroferu v LiPb v neutronovém poli byl v roce 2003 zahájen vývoj reaktorové aktivní sondy LIPB-RIG. Tato reaktorová sonda umožnila v letech 2005–2007 provádět ojedinělé testy synergického vlivu proudící slitiny LiPb, vysoké teploty a neutronového toku na vzorky oceli Eurofer. Pro neaktivní výzkum koroze ocelí v prostředí LiPb a vývoj technologie čištění LiPb byla v roce 2006 zprovozněna experimentální smyčka MELILOO. Pro testování koroze potrubí z Euroferu a jeho svárů v tlakové vodě v podmínkách tlakovodních reaktorů (PWR) byly využity reaktorové vodní experimentální smyčky.

Smutným mementem polistopadového období roku 1991 je skutečnost, že veškeré experimentální zařízení pro výzkum LiPb muselo být konstruováno znovu a eutektikum LiPb muselo být nakoupeno od externích dodavatelů.

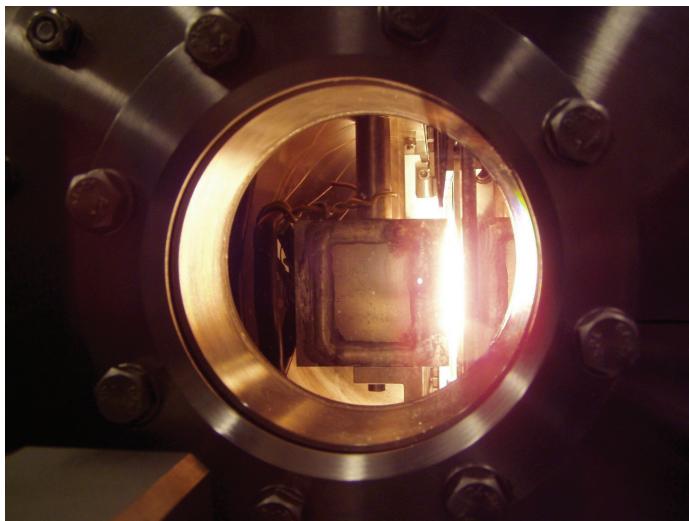
V roce 2004 byla zahájena konstrukce aktivní vnitroreaktorové sondy TW3 pro testování vzorků první stěny reaktoru ITER. Skupině inženýrů a techniků pod vedením Tomáše Klabíka se v následujících letech podařilo vyvinout reaktorovou sondu, která překonala všechna ostatní podobná zařízení na celém světě. Sonda umožnila v aktivní zóně jaderného reaktoru LVR-15 cyklicky ohřívat tepelným tokem 0,5 MW/m² a ochlazovat vzorky první stěny reaktoru ITER a v letech 2010–2012 v rámci testů dosahovala při souběžném radiačním a neutronovém ozařování rekordních 17.000 teplotních cyklů. Jiná podobná zařízení nedosáhla ani poloviny této životnosti.

V roce 2005 získal ÚJV od agentury EFDA další úkol na vývoj autonomního neaktivního testovacího zařízení BESTH pro současný cyklický ohřev dvou modulů první stěny s aktivním chlazením tepelným tokem 0,5 MW/m². V letech 2009–2012 byly na zařízení BESTH testovány vzorky první stěny z Číny, Ruské federace, Jižní Koreje, Evropské unie i USA. Testovací zařízení BESTH umožnilo zatížit vzorky první stěny v každém testu až 30 000 tepelnými cykly.

2 EFDA – Evropská dohoda o fúzním výzkumu (European Fusion Development Agreement) byla iniciována v roce 1999 rozhodnutím Evropské rady v rámci 5. rámcového programu EURATOM na základě výzkumné spolupráce při využívání evropského fúzního reaktoru JET. Cílem EFDA bylo podporovat evropský výzkum a vývoj pro využití řízené termionukleární fúze. V rámci EFDA bylo uzavřeno 30 asociačních dohod s evropskými výzkumnými organizacemi včetně asociační dohody EURATOM-IPP.CR Ústavu fyziky plazmatu AV ČR. Dohoda EFDA zanikla 31. 12. 2013.

Kromě experimentálních činností byla v ÚJV také zpracována koncepční studie testovacího modulu blanketu (TBM)³ reaktoru DEMO⁴ typu WCLL chlazeného vodou a byl zpracován koncepční návrh testovacího zařízení pro vývoj těchto modulů.

V roce 2005 odešel M. Zmítka pracovat do Německa a v roce 2008 získal místo v nově vzniklé evropské agentuře Fusion for Energy v Barceloně. Koordinaci fúzních aktivit v ÚJV převzal Karel Šplíchal, který ji vykonával až do roku 2010.



Zařízení BESTH (Beryllium Sample Thermal Test Facility)

3 TBM – Test Blanket Module je zkušební model obalu reaktoru DEMO⁷. TBM budou testovat odvod tepla z reaktoru a způsoby výroby tritia. Budou vyrobeny z materiálů, vhodných pro DEMO, a umožní testování technologie budoucího fúzního reaktoru DEMO v rámci experimentálního reaktoru ITER. Je vyvíjeno přibližně 20 koncepcí TBM, z nichž 6 bude v prvním kole testováno v reaktoru ITER. Na základě testů ve fúzních podmínkách reaktoru ITER bude vybrána nejvhodnější koncepce obalu reaktoru DEMO.

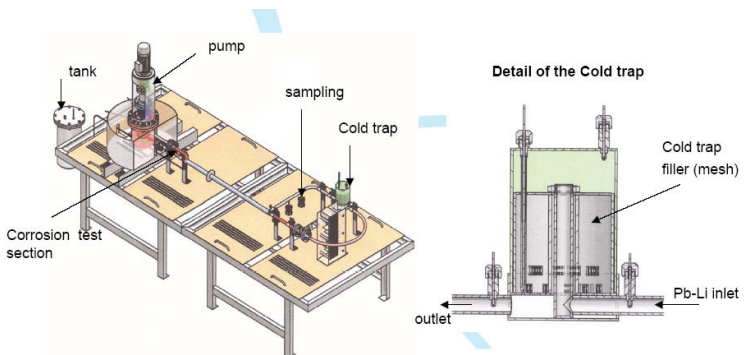
4 DEMO – Projekt DEMO (Demonstration Fusion Power Plant) zahrnuje výstavbu plnohodnotné elektrárny s fúzním reaktorem o energetickém výkonu 2 až 4 GW a má za úkol poskytnout řešení průmyslové fúzní elektrárny. Přípravné práce na projektu DEMO byly zahájeny v roce 2012. Zahájení projektových prací je naplánováno na rok 2020. Zahájení výstavby elektrárny je závislé na výsledcích provozu reaktoru ITER a je naplánováno na rok 2030. Nánavnost termínů projektů ITER a DEMO zajistí bezprostřední implementaci poznatků z projektu ITER do projektu DEMO. Reaktor DEMO by měl být spuštěn v roce 2043 a připojen do elektrické sítě v roce 2047.

Fusion for Energy F4E⁵

V roce 2008 zasáhlo do úspěšně rozvíjejícího se fúzního výzkumu v Řeži politické rozhodnutí o změně v evropském systému jeho financování. V roce 2007 byla založena nová evropská agentura Fusion for Energy (F4E) jako evropský zástupce (Domestic Agency) pro výstavbu ITER, která od roku 2008 převzala část finančních prostředků od EFDA. Změna byla vysvětlována snahou zajistit dostatek finančních prostředků pro zajištění výstavby ITER, avšak v programu F4E od samého počátku figuroval také vývoj fúzní elektrárny DEMO⁴. F4E dostala za úkol splnit evropské závazky v projektu ITER a zajistit dodávky evropských komponent pro stavbu ITER v Cadarache, zatímco EFDA dále pokračovala s mnohem menšími prostředky pouze v podpoře základního výzkumu jaderné fúze.

Tato změna měla na ÚJV významný negativní dopad. Asociace EURATOM-IPP.CR, spadající do EFDA, přestala financovat aplikovaný výzkum ÚJV, protože k agentuře F4E neměla žádný vztah. Bylo proto na ÚJV, aby sám navázal přímé kontakty s F4E a ve výzkumu pokračoval na základě dohody s F4E. K tomu ale nedošlo. Výjimku tvořily pouze nedokončené práce, především testování modulů první stěny reaktoru ITER, které byly převedeny z EFDA do F4E.

V rámci původních úkolů EFDA také pokračoval výzkum a vývoj technologie tekutých kovů na testovacím okruhu MELILOO, na kterém byly vyvíjeny metody čištění slitiny LiPb a odstranění korozních produktů a dalších nečistot z LiPb pomocí tzv. studené pasti (angl. Cold Trap). Kromě technologického vývoje umožnil okruh MELILOO studovat korozní odolnost oceli Eurofer a účinek ochranných vrstev v prostředí slitiny LiPb o teplotě 550 °C při dlouhodobém působení této slitiny.



Experimentální okruh MELILOO

5 F4E – Evropská agentura Fusion for Energy je organizační složkou Rady Evropské unie, založená v březnu 2007 v rámci smlouvy Euratom. Úkolem F4E je zajišťovat plnění smluvního podílu EU v projektu ITER a dále podporovat fúzní výzkum a vývoj v rámci smlouvy „Broader Approach“, kterou v únoru 2007 podepsali zástupci Japonska a Euratomu. Tato organizace řízená Governing Board zajišťuje dodávky komponent zařízení ITER, které jsou v gesci EU. V Governing Board F4E má ČR dva zástupce, jakož i další pracovníky v F4E, zodpovědné za vyřizování nákupu dodávek a služeb. F4E vyhlašuje tendry, zadává zakázky a koordinuje evropské dodavatele projektu ITER.

Evropské konsorcium TBM-CA⁶

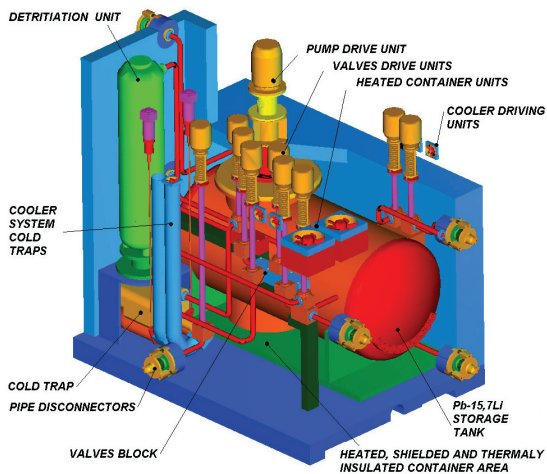
Složitost a náročnost výzkumu fúzní technologie vedla evropské výzkumné ústavy k úzké spolupráci a při plnění úkolů vznikaly neformální pracovní skupiny, které společně řešily výzkumné úkoly. Vznik agentury F4E v roce 2007 a změna způsobu financování vedla výzkumné ústavy k institucionálnímu spolupráce formou konsorcií. Na rozdíl od EFDA, která rozdělovala finanční prostředky mezi své členy, F4E zahájila financování fúzního výzkumu na základě standardních veřejných výběrových řízení. Pokud se o zakázku ucházelo konsorcium více výzkumných organizací, mělo mnohem vyšší šanci tuto zakázku získat.

Proto ÚJV zahájil již v roce 2007 jednání a v roce 2008 se stal zakládajícím členem evropského European Test Blanket Module Consortium of Associates TBM-CA, konsorcium pro výzkum a vývoj testovacích modulů blanketu TBM. Partneři ÚJV se staly výzkumné organizace Karlsruhe Institute of Technology (KIT, Německo), Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA, Francie), Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT, Španělsko), Agenzia Nazionale per l'Efficienza energetica (ENEA, Itálie) a Wigner Központi Fizikai Kutatóintézet (KFKI, Maďarsko). Programem konsorcium se stal kompletní návrh TBM včetně jejich kvalifikace. Konsorcium, vedené významným institutem KIT, snadno získalo pro svůj návrh podporu F4E a již od roku 2008 zahájilo práce na vývoji TBM pod F4E.

V souladu s evropskou koncepcí vývoje TBM se na základě požadavků F4E konsorcium orientovalo na vývoj dvou typů modulů TBM, modulu héliem chlazeného blanketu HCPB s keramickým množivým materiálem Li_4SiO_4 a modulu héliem chlazeného blanketu HCLL s množivým tekutým kovem LiPb. Konsorcium vytvořilo 4 vývojové divize, z nichž dvě se zaměřily na vývoj a specifikaci modulů, třetí na héliové testovací smyčky a čtvrtá na instalaci a diagnostiku modulů.

ÚJV se do činnosti konsorcium zapojil především v oblasti technologie tekutých kovů, kde nabídl své rozsáhlé experimentální zkušenosti. Řízením prací pro TBM-CA byl pověřen Lukáš Košek.

Během let 2008–2010 byl pod jeho vedením vypracován koncepční projekt okruhu LiPb Ancillary System, zahrnující návrh a výpočet čistící jednotky LiPb, cirkulačního systému eutektika a separační kolony. Ve spolupráci s VŠCHT byl vypracován koncepční projekt jednotky pro separaci tritia z LiPb TEU (Tritium Extraction Unit).



LiPb Ancillary System

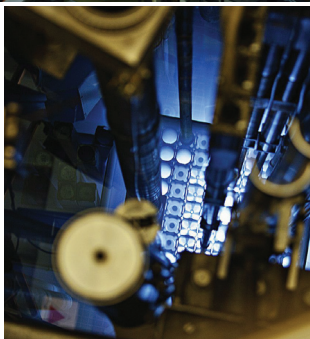
6 TBM-CA – Test Blanket Module Consortium of Associates je konsorcium evropských výzkumných organizací, které se soustředí na vývoj testovacích modulů blanketu TBM³. Bylo založeno v roce 2007 a má 6 členů: KIT Německo, CEA Francie, CIEMAT Španělsko, ENEA Itálie, WIGNER (KFKI) Maďarsko a CVŘ ČR.



Centrum výzkumu Řež

V roce 2002 ÚJV založil neziskovou dceřinou společnost Centrum výzkumu Řež s.r.o. (CVŘ). Tato výzkumná organizace se zaměřila na možnosti využití veřejné institucionální podpory pro vědecké a výzkumné činnosti, prováděné na reaktorech LR-0 a LVR-15. Předmětem činnosti Centra výzkumu Řež byla stanovena „výzkumná a vývojová činnost v oblasti přírodních, medicínských věd na reaktorech LVR-15 a LR-0“ a podpora studentské vědecké činnosti.

Centrum výzkumu Řež postupně rozšiřovalo do té doby úzký rámec činnosti a v roce 2009 byla jeho působnost rozšířena na výzkum a vývoj v oblasti „přírodních a technických věd, jaderné energie a udržitelné energetiky a dalších s tím souvisejících vědních oblastí a dále k šíření výsledků výzkumu a vývoje prostřednictvím výuky nebo převodu technologií“. V témže roce CVŘ převzalo od ÚJV závazky v mezinárodním projektu experimentálního jaderného reaktoru Jules Horowitz (JHR) pro výzkum v oblasti materiálů a jaderného paliva. V roce 2011 byl z ÚJV do CVŘ převeden spolu s dalšími výzkumnými činnostmi také výzkum technologie jaderné fúze. V té době fúzní výzkum koordinoval Ondřej Zlámal pod vedením J. Kysely.



Výzkumná infrastruktura CVŘ zahrnuje výzkumný reaktor LR-0, výzkumný reaktor LVR-15, experimentální technologické obvody, smyčky, sondy atd.

Projekt SUSEN⁷



Koncem roku 2011 schválila Evropská komise rozsáhlý projekt CVŘ: Udržitelná energetika (Sustainable Energy – SUSEN). V rámci projektu SUSEN Centrum výzkumu Řež zahájilo výstavbu rozsáhlé vědecké experimentální infrastruktury pro prodloužení životnosti jaderných reaktorů II. a III. generace, výzkum reaktorů IV. generace a výzkum fúzních technologií. J. Kysela prosadil do projektu vybudování experimentálního zařízení pro testování komponent fúzního reaktoru vysokým tepelným tokem, výstavbu makety testovacího modulu blanketu TBM v měřítku 1:1 pro nácvik a testování dálkové manipulace s komponentami TBM a vybudování nové neutronové laboratoře se zdrojem fúzních neutronů 14 MeV.

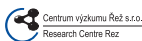
Vybudování experimentálního komplexu pro zatěžování fúzních materiálů a konstrukčních komponent velmi vysokým teplotním tokem, se stalo jednou z největších technologických investic projektu SUSEN. Komplex pojmenovaný HELCZA (High Energy Load Czech Assembly) zajistí ohřev materiálových vzorků a modulů první stěny reaktorů nebo divertorových terčů reaktorů ITER a DEMO o rozměru až 1 x 2 m tepelným tokem až 40 MW/m². HELCZA zajistí jak zátěžové testování prototypů jaderných komponent, tak provozní testování sériových komponent před jejich instalací do reaktoru. Pro materiálový výzkum HELCZA nabídne hustoty tepelného toku ještě 1000x větší - až 40 GW/m². Vzorky budou ohřívány elektronovým paprskem o kontinuálním výkonu 0,8 MW při příkonu zařízení 1,5 MW.

Maketa platformy TBM v měřítku 1:1 bude simulovat strukturu evropského systému testování modulů blanketu HCLL a HCPB, pomocné systémy a prostor ekvatoriálního portu reaktoru ITER ve skutečné velikosti. Tato maketa bude jediná svého druhu na světě. Umožní vývoj a testování robotických procesů údržby, opravy a výměny jednotlivých částí zařízení.

Neutronový zdroj bude generovat fúzní neutrony o energii 14 MeV vhodné pro měření smíšených polí neutronů a gama záření, typických pro fúzní reaktory, validaci, verifikaci a testování počítačových kódů a doplnění knihoven jaderných dat pro jadernou fúzi. Fúzní neutrony budou generovány bombardováním tritiového terče jádru deuteria, které budou urychleny v kompaktním lineárním urychlovači.

Pro experimentální komplex HELCZA a maketu TBM byla vyčleněna část nové experimentální haly, také budované v rámci projektu SUSEN, v Plzni na Borských polích v blízkosti Západočeské univerzity. Neutronový zdroj bude umístěn v nové neutronové laboratoři reaktoru LR-0 v Řeži. Zařízení budou zprovozněna v roce 2015.

www.susen2020.cz



⁷ SUSEN – Projekt Udržitelná energetika (Sustainable Energy) je projektem výstavby vědecké infrastruktury v oblasti aplikovaného jaderného a nejaderného výzkumu Centra výzkumu Řež. Má čtyři základní výzkumné programy: Technologické experimentální okruhy, Strukturální a systémová diagnostika, Jaderně palivový cyklus a Materiálový výzkum. Projekt byl schválen Evropskou komisí v prosinci 2011. Dotace v rámci Operačního programu Výzkum a vývoj pro inovace (OP VaVpI) dosáhne 2,45 miliardy Kč.

Projekt **SUSEN** je postaven na čtyřech základních výzkumných programech:

- Technologické experimentální okruhy, ■ Strukturální a systémová diagnostika, ■ Jaderné palivový cyklus, ■ Materiálový výzkum

Areál ÚJV Řež, a. s.

DIAGNOSTICKÉ CENTRUM obj. 271
Laboratoře elektronové mikroskopie
LOCA komora
Laborať SIMS

GEOLOGICKÉ UKLÁDÁNÍ RAO obj. 261
Anaerobní boxy

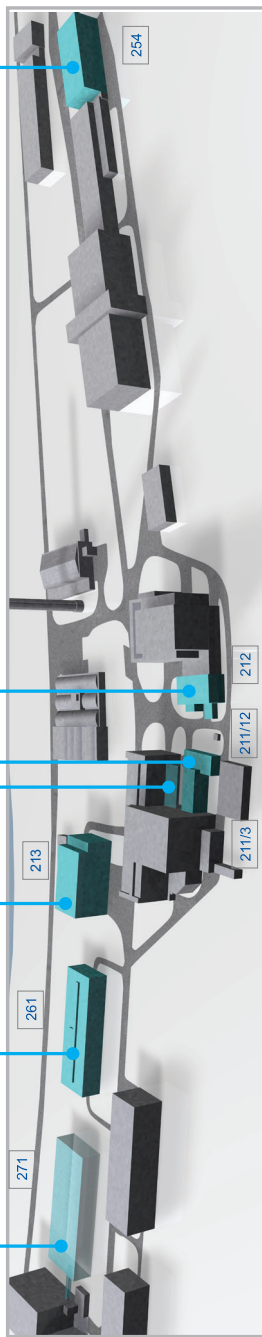
EXPERIMENTÁLNÍ HALA obj. 213
Experimentální smyčka CO2

MALÉ ZBYTKY obj. 211/3
Technologie „Studený kelímek“
Bitumenační linka

TECHNOLOGICKÉ OKRUHY obj. 211/12
Experimentální smyčka SCWR
Experimentální heliová smyčka

URYCHLOVAČ A NEUTRONOVÝ ZDROJ obj. 212
CF - Izotopický zdroj neutronů
Generátor neutronů 14 MeV

HORKÉ KOMORY obj. 254
Komplex horkých komor



Plzeň, Borská pole

EXPERIMENTÁLNÍ HALA

- Zařízení pro testy panelů 1. stěny ITER
- Zařízení pro vývoj a testy TBM
- Zařízení pro výzkum odvodu tepla GFR
- Zařízení pro korozní testy v superkritické vodě



G2 Laboratoř mechanických zkoušek

F2 NDE laboratoř
Laboratoř tažného svařování (ZČU v Plzni)

Kontrahovaný výzkum

V roce 2012 konsorcium TBM-CA uzavřelo s agenturou F4E dva rozsáhlé kontrakty na inženýrskou podporu, návrh a demonstraci technologie TBM a experimentální výzkumnou činnost pro návrh technologie TBM. Na počátku roku 2013 uzavřelo CVŘ spolu s KIT, ENEA a NRG (Nuclear Research and Consultancy Group, Holandsko) s F4E další kontrakt na zpracování návrhu pomocných systémů TBM a jejich integraci do projektu ITER. V rámci těchto kontraktů CVŘ vyvíjí a testuje komponenty systému LiPb, především studenou past na odstraňování nečistot a příměsí ze slitiny LiPb. Koordinaci prací pro konsorcium TBM-CA převzal Ladislav Vála.

V lednu 2013 se do Řeže vrátil S. Entler a zahájil intenzivní přípravu technologie pro testování první stěny a dalších vnitroreaktorových komponent reaktorů ITER a DEMO. V polovině roku 2013 pak CVŘ uspělo ve výběrovém řízení agentury F4E na vybudování zařízení pro testování prototypů a sériových modulů první stěny reaktoru ITER (High Heat Flux Test Facility) a následně uzavřelo s F4E osmiletý kontrakt.

Ukončení dohody EFDA

Po vzniku agentury F4E se CVŘ do fúzního výzkumu v rámci EFDA mělo možnost zapojit pouze okrajově v materiálovém výzkumu. Změnu přineslo opět, jak jinak, politické soupeření o finanční zdroje.

31. prosince 2013 vypršela platnost dohody EFDA a evropská politická reprezentace tuto dohodu neprodloužila. Naopak rozhodla o další změně financování fúzního výzkumu. Při této změně bylo potlačeno financování základního výzkumu jaderné fúze a velká část prostředků byla soustředěna na aplikovaný fúzní výzkum. Tato změna byla ku prospěchu velkých evropských výzkumných institucí a Německa. Shodou okolností se tím ale naskytly nové příležitosti pro CVŘ.

Fusion Roadmap

V rámci politické strategie vydala EFDA rok před ukončením své činnosti v listopadu roku 2012 zlomový dokument „Fúzní elektřina, Plán na realizaci fúzního zdroje energie“ („Fusion electricity, A roadmap to the realisation of fusion energy“), který stanovuje postup, jak v nejbližší budoucnosti dosáhnout energetického využití jaderné fúze. Plán, který je zkráceně nazýván jako Fusion Roadmap (Cestovní mapa k fúzi), předpokládá dosažení výroby elektřiny z fúzních zdrojů do roku 2050. Klíčovými projekty plánu jsou experimentální reaktor ITER a demonstrační fúzní elektrárna DEMO. Tento plán se stal výchozím referenčním dokumentem pro program Euratomu a pro finanční podporu evropského fúzního výzkumu.

Konsorcium EUROfusion⁸

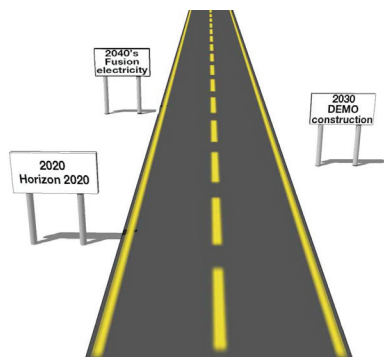
Ukončení dohody EFDA bylo doprovázeno intenzivní činností její reprezentace, která nejprve nechala schválit Fusion Roadmap jako programový dokument celoevropského fúzního výzkumu pro období do roku 2050 a poté zahájila intenzivní přípravu přesunu činností EFDA na nový subjekt. Aby zabránila převzetí činností EFDA agenturou F4E, využila politický vliv velkých evropských organizací jaderného výzkumu, které jsou často státními organizacemi. Tak prosadila, aby se novým příjemcem evropských dotací stalo konsorcium výzkumných organizací. V průběhu roku 2013 bylo tímto způsobem založeno nové evropské konsorcium EUROfusion.

Nové konsorcium plně převzalo stávající členskou strukturu EFDA včetně české asociace EURATOM-IPP.CR. Díky tomu byla zachována formální kontinuita dosavadní struktury řízení výzkumu EFDA, zásadní změny však nastaly ve vědeckém programu. V souladu s Fusion Roadmap došlo k odklonu od financování základního výzkumu jaderné fúze a naopak k výraznému posílení financování aplikovaného výzkumu fúzních technologií.

Tím se však nové konsorcium dostalo do zájmové oblasti agentury F4E. EFDA deklarovala jednoduché řešení – F4E bylo ustanoveno především pro zajištění výstavby reaktoru ITER, zatímco EUROfusion má za cíl přípravu výstavby fúzní elektrárny DEMO. K odstranění třecích ploch touto deklarací ale nedošlo, protože jedním s cílů činnosti F4E je kromě výstavby reaktoru ITER také výstavba elektrárny DEMO a F4E již nyní hledá náplň své činnosti po dokončení projektu ITER. Navíc F4E v rámci projektu ITER již brzy po svém vzniku F4E zahájila vývoj modulů TBM, které s návrhem elektrárny DEMO bezprostředně souvisejí.

Kompetenční spor se podařilo vyřešit dohodou obou organizací, na základě které se bude F4E podílet na činnosti konsorcia EUROfusion a nominuje své zástupce do programové skupiny EUROfusion a naopak zřídí svoji poradní komisi, složenou ze zástupců evropských fúzních výzkumných organizací EFLO (European Fusion Laboratories Liaison Officers).

Významným rozdílem mezi F4E a EUROfusion ale zůstala forma financování výzkumu – F4E vypisuje na každý úkol veřejné výběrové řízení, zatímco EUROfusion rozděluje úkoly mezi své členy na základě rozhodnutí rady konsorcia, které zohledňuje dosažené vědecké výsledky.



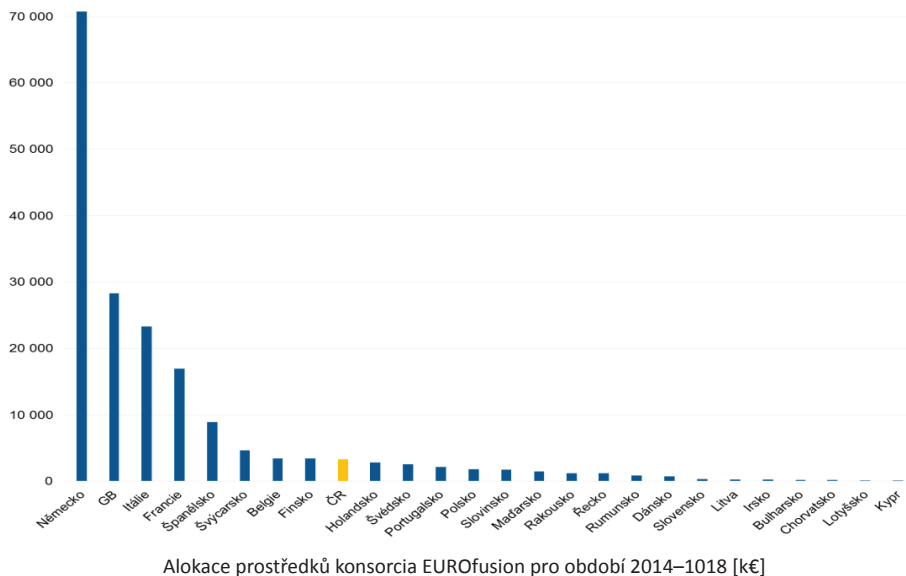
⁸ EUROfusion – konsorcium evropských výzkumných organizací pro fúzní výzkum a vývoj demonstrační fúzní elektrárny DEMO. Konsorcium bylo založeno v roce 2013 a sdružuje 31 výzkumných ústavů a národních asociací z celé Evropy včetně české asociace EURATOM-IPP.CR. Cílem konsorcia je výzkum a vývoj fúzních technologií, který umožní zahájit výrobu elektrické energie z jaderné fúze.

CVŘ a EUROFUSION

Při zahájení přípravy konsorcia vyzvala EFDA všechny své členy k aktivní účasti v tomto procesu. Asociace EURATOM-IPP.CR v čele s vedoucím asociace Pavlem Pavlo od jara 2013 intenzivně analyzovala celou situaci. Protože byla programová náplň nového konsorcia zaměřena do oblasti, řešené v CVŘ, J. Kysela a S. Entler zpracovali a prosadili výrazné zapojení CVŘ do aktivit konsorcia. V roce 2013 se tak zopakovala situace z roku 1988. Řež a ÚFP společně vstoupily do další éry fúzního výzkumu.

CVŘ nabídlo konsorciu své rozsáhlé experimentální vybavení a kvalifikované odborníky ve čtyřech oblastech výzkumu – pro vývoj blanketu, pro vývoj divertoru, v oblasti jaderné bezpečnosti a nakládání s radioaktivními odpady a pro materiálový výzkum. Podle konečné dohody se CVŘ bude na činnosti konsorcia podílet v prvních třech oblastech. Nabídka v oblasti materiálového výzkumu, na které se spolu s CVŘ podílel také ÚFP a ÚFM ČSAV, nebyla přijata.

Zapojením do činnosti konsorcia CVŘ dosáhlo silného synergického efektu. Vývoj reaktoru DEMO může z velké části zajistit udržitelnost projektu SUSEN a úzce souvisí s kontrakty agentury F4E. Granty EUROfusion umožní v CVŘ vytvořit stabilní tým specialistů na fúzní problematiku.



Aktuální stav fúzního výzkumu v Řeži

Aktivity Centra výzkumu Řež v oblasti aplikovaného fúzního výzkumu jsou v současnosti rozděleny do tří provázaných oblastí:

1. Projekt SUSEN:

Platforma TBM	Maketa evropského systému testování modulů blanketu Test Blanket System (TBS) typu HCLL a HCPB v měřítku 1:1 pro vývoj a testování robotických procesů údržby, opravy a výměny jednotlivých částí zařízení.
Technologie PFW	Zařízení pro testování prototypů a sériových modulů jaderných komponent fúzního reaktoru v plné velikosti velmi vysokým teplotním tokem (High Heat Flux Test Facility HHFTF).
NG14	Neutronový zdroj fúzních neutronů 14 MeV pro měření smíšených polí neutronů a gama záření, typických pro fúzní reaktory.

2. Kontrakty F4E:

OMF-331	Předběžný návrh podpůrných subsystémů evropského systému testování modulů blanketu Test Blanket System (TBS) a jeho integrace do projektu ITER.
FPA-372	R&D experimentální činnosti na podporu koncepčního a předběžného návrhu evropského systému pro TBS.
FPA-380	Podpora koncepčního a předběžného návrhu evropského systému pro TBS.
OPE-319	Zařízení pro testování vnitroreaktorových komponent velmi vysokým teplotním tokem (HHFTF) a testování velmi vysokým teplotním tokem.

3. Granty EUROfusion:

HCLL blanket design	Konstrukční a výpočtové práce.
DCLL blanket design	Konstrukční a výpočtové práce.
LiPb Technology	Koncepční návrh LiPb technologie koncepty blanketu s tekutým kovem.
LiPb Technology	Radiační testy povrchových vrstev v LiPb.
LiPb Technology	Čištění LiPb od korozních produktů.
Blanket design	Experimentální výzkum vodní koroze a vznik trhlin v PWR podmínkách.
FW design	Výzkum přestupu tepla při vodním chlazení první stěny.
Divertor design	Termohydraulické zátěžové testy divertorových terčů.
Divertor design	Optimalizace a kvalifikace technologie terčů pro podmínky reaktoru DEMO.
Divertor design	Vývoj technologie terčů na základě pokročilých materiálů.
Integrated Safety	Bezpečnostní výpočty.
Radioactive waste	Vývoj a demonstrace efektivní detritiace pevných odpadů.
Radioactive waste	Posouzení proveditelnosti recyklace odpadů, demonstrace technologie.

Budoucnost aplikovaného výzkumu jaderné fúze

Ačkoliv ještě nejsou ani zdaleka vyřešeny všechny otázky fyziky plazmatu fúzního energetického reaktoru, dochází celosvětově k nárůstu zájmu o výzkum technologie jaderné fúze. Tento výzkum není jednoúčelový a souvisí především s vývojem tepelně a radiačně odolných materiálů, důležitých v celé řadě jiných odvětví. Zvyšování účinnosti průmyslové výroby elektřiny vyžaduje vyšší provozní parametry energetických zařízení a to klade nové požadavky na jejich konstrukční materiály.

Aplikovaný výzkum jaderné fúze má za cíl vyvinout levný, nevyčerpatelný a bezpečný průmyslový zdroj energie. Reaktor ITER předvede v blízké době celému světu, že výroba fúzní energie je technicky možná. Jakmile k tomu dojde, tak pravděpodobně naroste politický a hospodářský tlak na realizaci průmyslově využitelného fúzního energetického zdroje a finanční prostředky pro aplikovaný výzkum jaderné fúze budou prakticky neomezené. Přesto bude cesta k elektřině z fúze ještě dlouhá a bohatá na vědecké výzvy.



Reaktor ITER – (zdroj: www.FusionForEnergy.europa.org)

Poděkování

Děkuji všem, kdo pomohli při zpracování tohoto článku svými poznámkami a vzpomínkami, především Ing. Vlastimilu Šulcovi, CSc., Ing. Františku Mantlíkovi, CSc., Ing. Janu Kyselovi, CSc., Ing. Milanu Zmítkovi, Ph.D., Ing. Pavlu Pavlo, CSc., doc. RNDr. Janu Mlynářovi, Ph.D., Ing. Ladislavu Válovi Ph.D. a Ing. Lukáši Koškovi.

Použitá literatura

Čermák, J.: Vybrané problémy 1. stěny a blanketu reaktoru, ÚJV Řež a.s. 6005-R, 1982

EU: Rozhodnutí rady EU ze dne 27. března 2007 o založení společného evropského podniku pro ITER a rozvoj energie z jaderné syntézy a o poskytnutí výhod tomuto podniku, 2007/198/Euratom

IAEA: ITER Newsletter, Vol.3, No.2, IAEA, Vídeň, 2/1990

Mantlík, F., Šulc V.: Studie možností zapojení ÚJV Řež a.s. do programu ITER, ÚJV Řež a.s., 2001

Romanelli, F.: Fusion Electricity, A roadmap to the realization of fusion energy, EFDA, 2012

Šimáně, Č.: Ústav pro atomovou fyziku České akademie věd a umění: začátky poválečného jaderného výzkumu v Československu, IAA 05 - Seminář Radioanalytické metody IAA 05, Praha, 2005

Šimáně, Č.: Život mezi atomy, ÚJV Řež a.s., 2005

Šulc, V.: Experimental Research on Time and Spatial Stability of Li17Pb83 Eutectic Alloy under Various Operational Conditions in the Blanket Channel, ISFNT-2, Německo, 1992

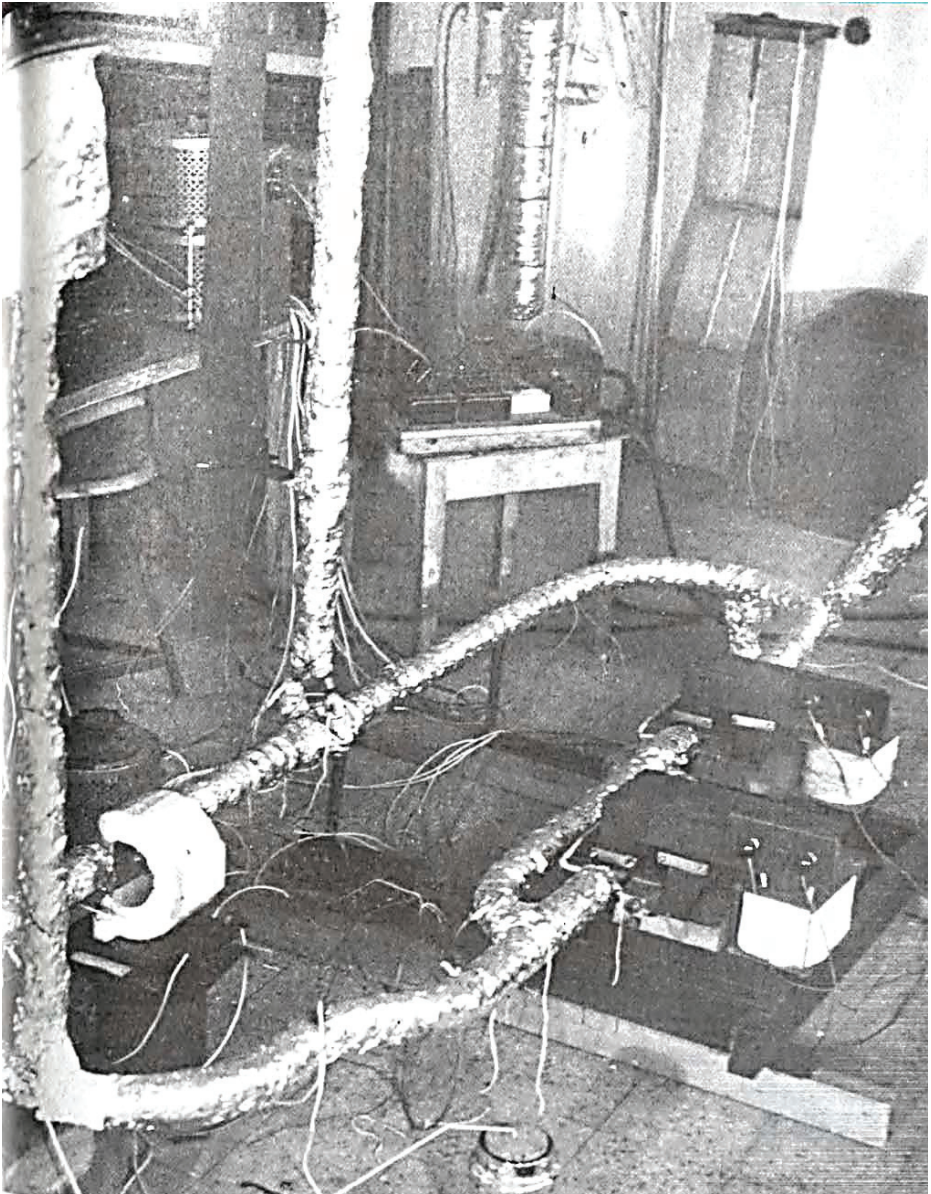
Šulc, V., Entler, S: K problematice blanketu termojaderného reaktoru, Nukleon č. 4/1989

ÚFP AVČR: Activity Report Association EURATOM/IPP.CR, ÚFP AVČR, 2000-2006

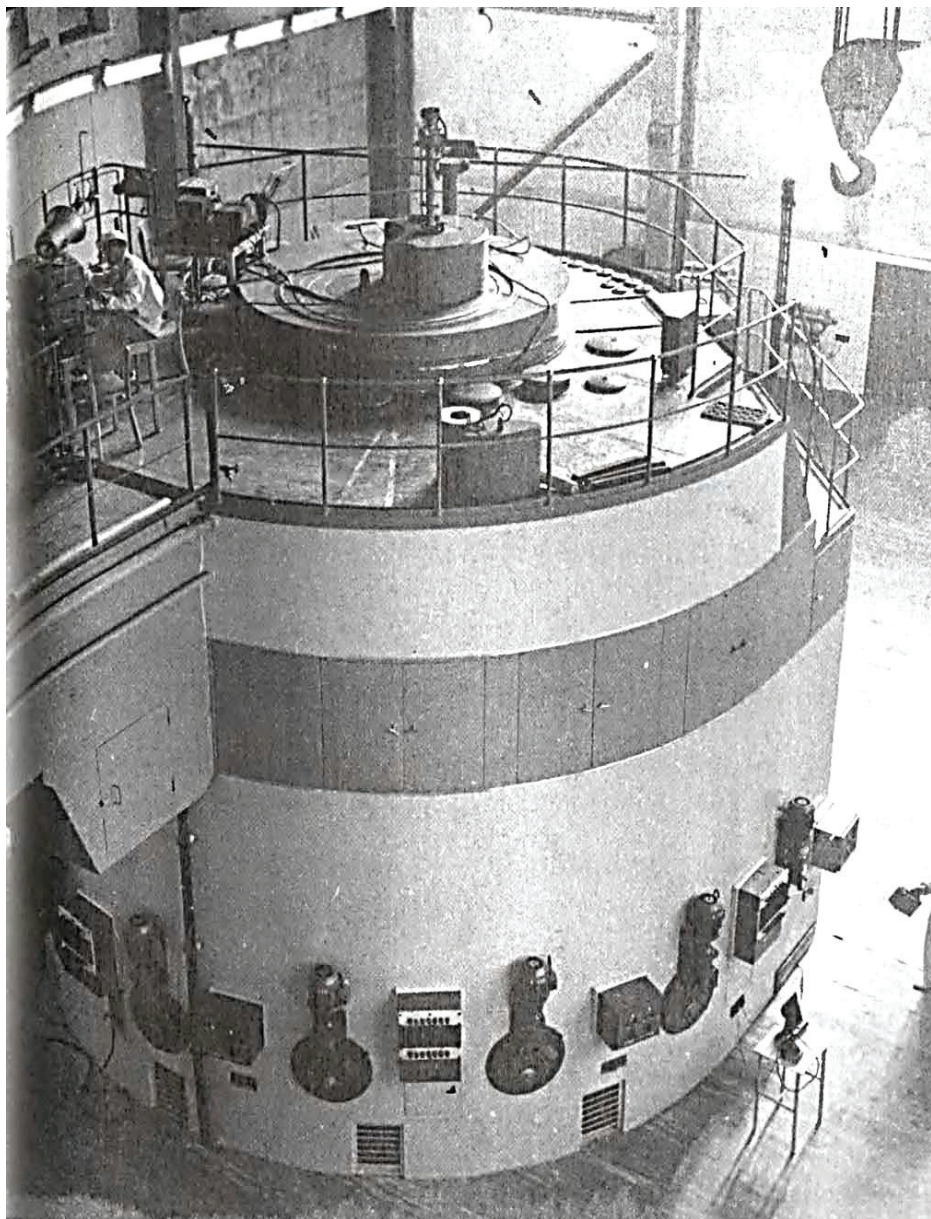
ÚFP AVČR: Annual Report Association EURATOM/IPP.CR, ÚFP AVČR, 2007-2012

ÚJV Řež, a. s.: Úspěchy a milníky - 50 let Ústavu jaderného výzkumu, ÚJV Řež a.s., 2005

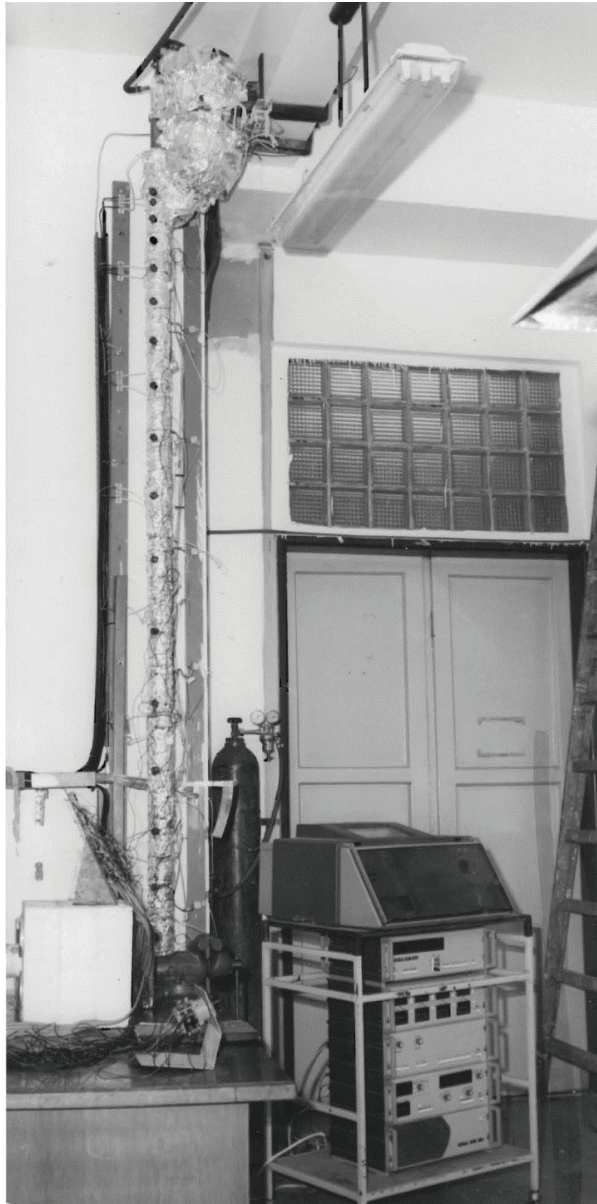
Obrazová příloha



Experimentální smyčka s tekutým sodíkem pro výzkum chlazení reaktoru tekutým kovem postavená v tribuně Strahovského stadionu v roce 1956 (archiv ÚJV Řež)



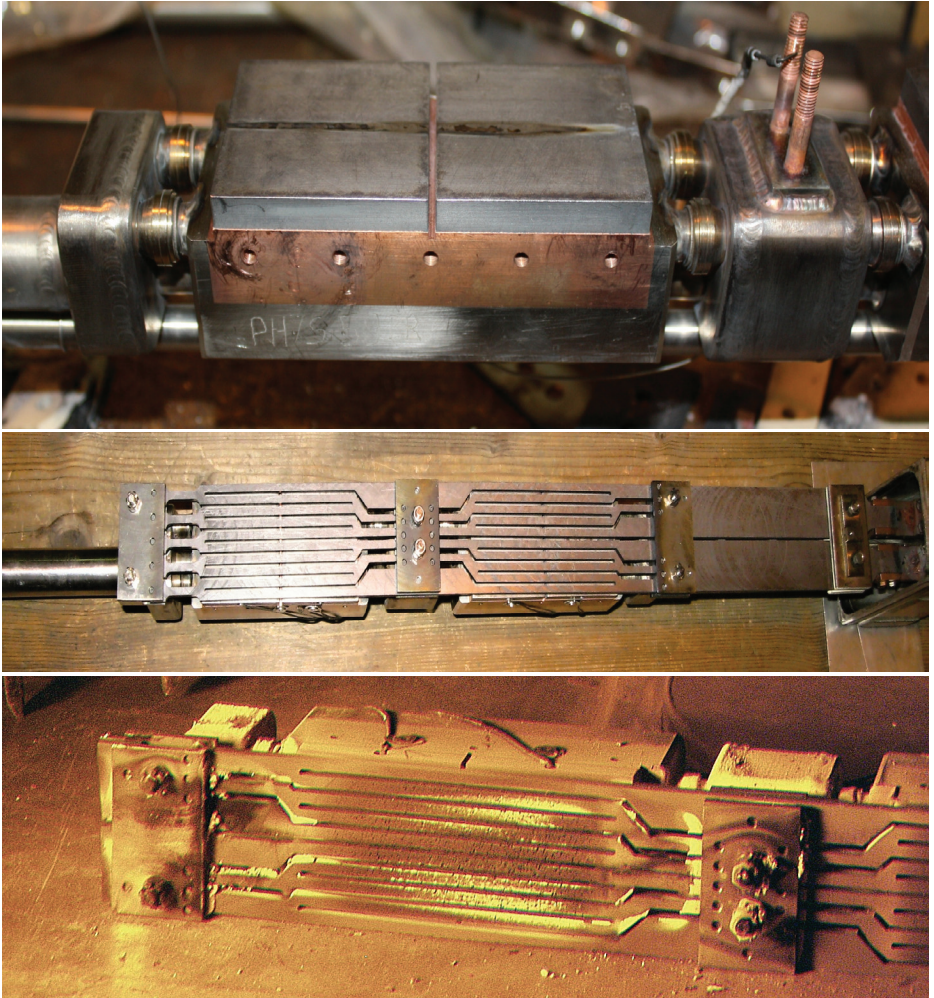
Reaktor VVRS ÚJV ČSAV bezprostředně po spuštění v roce 1957 (archiv ÚJV Řež)



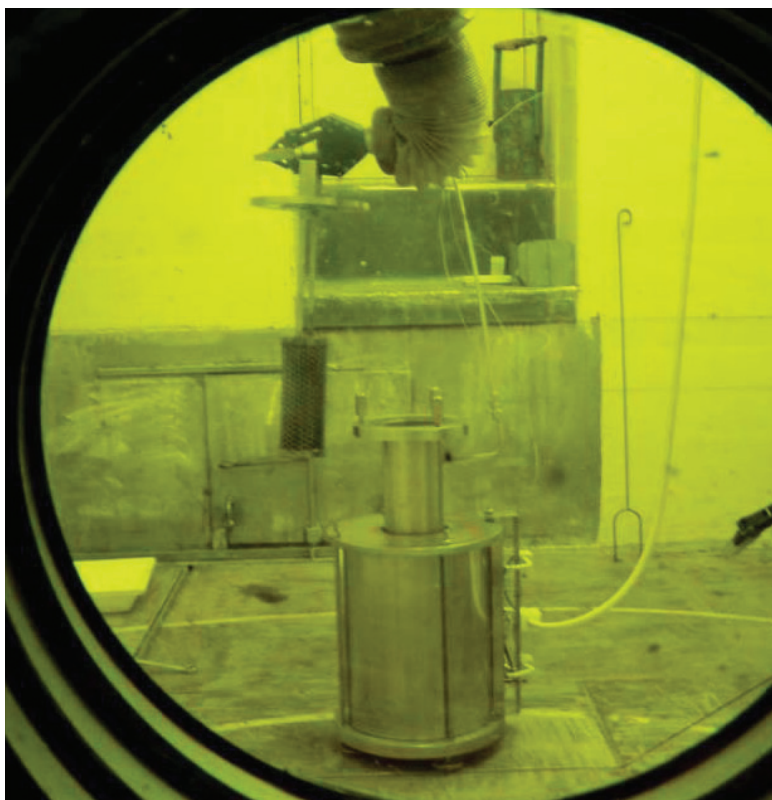
Experimentální smyčka s eutektickou slitinou LiPb pro výzkum chlazení blanketu fúzního reaktoru postavená v ÚJV v roce 1990 (soukromý archiv V. Šulce)



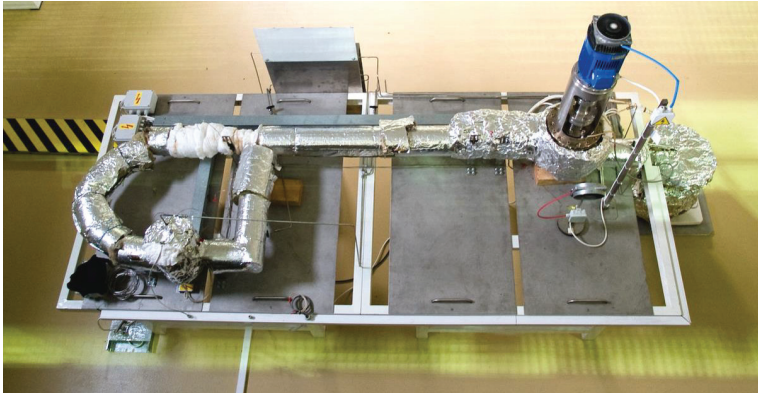
Vnitroreaktorová sonda TW3 pro testování teplotní a radiační odolnosti maket 1. stěny reaktoru ITER vyvinutá v ÚJV v letech 2002 až 2005 (archiv ČVŘ)



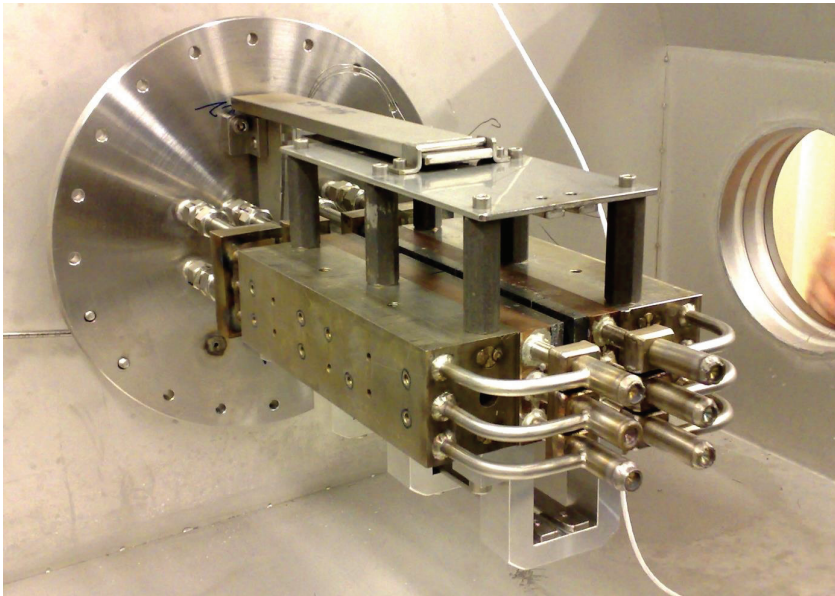
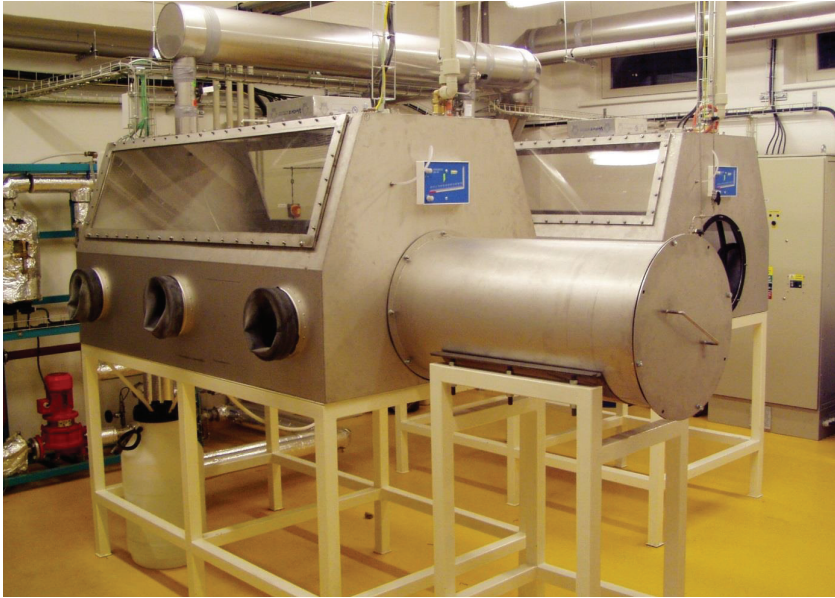
Aktivní sonda TW-3



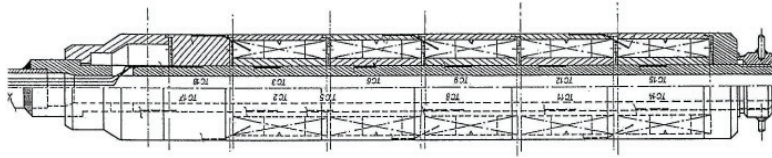
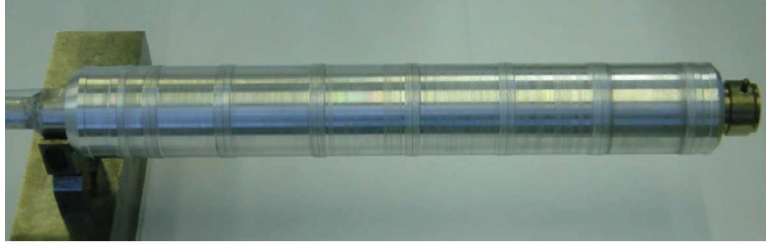
Vnitroreaktorová sonda LIPB RIG pro výzkum dynamiky koroze v prostředí slity LiPb v neutronovém poli vyvinutá v ÚJV v letech 2003 až 2005 (archiv CVŘ)



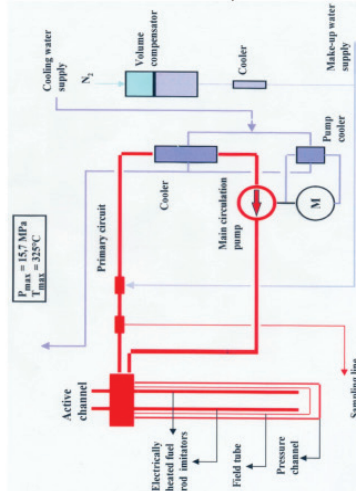
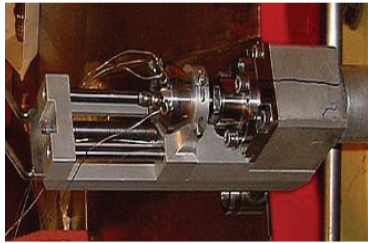
Experimentální smyčka MELILOO pro neaktivní testování koroze v prostředí slitiny LiPb, zprovozněná v ÚJV v roce 2006 (archiv CVŘ)



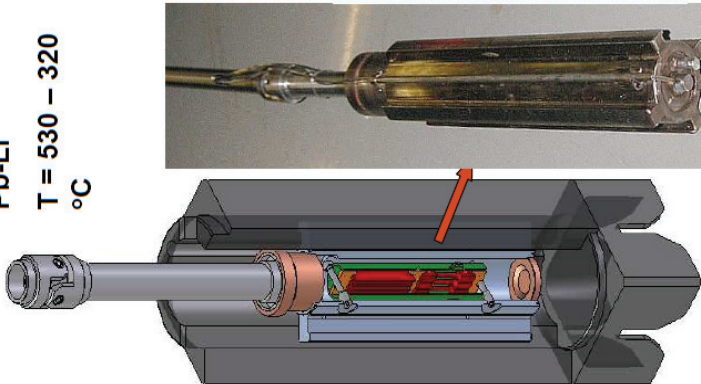
Testovací zařízení BESTH pro únavové teplotní testování maket
 1. stěny reaktoru ITER vyvinuté v ÚJV v letech 2005–2009
 (archiv CVŘ)



Chouca
T = 235 - 320
°C



Pb-Li
T = 530 - 320
°C



Reaktorové korozní sondy Pb-Li Chouca

Ústav jaderného výzkumu Řež
.....

C e s t o v n í z p r á v a

ze zahraniční pracovní cesty do: SSSR

Trvání cesty: 5. 12. 1988 do 10. 12. 1988

Účel cesty: Projednání možné účasti organizací ČSSR při řešení problémů sovětské části mezinárodního projektu ITER (z toho pro ÚJV - konzultace charakteru a rozsahu prací prováděných v ÚJV pro projekt termojaderného reaktoru)

Účastníci cesty :

RNDr. M. Marenčák, CSc. (vedoucí delegace)	ČSKAE
Ing. V. Šulc, CSc.	ÚJV Řež
Ing. J. Žďárek, CSc.	ÚJV Řež
Dr. V. Petržílka	ÚFP Praha
Ing. F. Chovanec	EÚ SAV Bratislava

Číslo cestovního příkazu : 711, 708

Rozdělovník :

6x RZV odb. 260

1x úsek 210

1x odd. 211

1x úsek 220

5x účastníci cesty

.....
Schválil: Ing. M. Hron, CSc.
nám. ředitele
pro výzkum

.....
Schválil: Prof. Ing. P. Koutský, CSc.
vedoucí úseku 220

.....
Schválil: Ing. K. Dach, CSc.
vedoucí úseku 210-
-jader.energetiky

Datum:

.....
Ing. F. Mantlík, CSc.
vedoucí odd. 211

Cestovní zpráva ze zahraniční pracovní cesty do SSSR za účelem projednání spolupráce ČSSR a SSSR v mezinárodního projektu ITER, Ústav jaderného výzkumu Řež, 1988

Vyrobila



Jan Kadlec
3D světelná reklama
Přemyslova 344, 278 01 Kralupy nad Vltavou
IČ: 664 04 835
Tel.: 608 805 850
Email: info@3d-svetelna-reklama.cz

