

# Jaderné Reaktory Generace IV

M. Křelina\*, P. Vácha\*\*

Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, Břehová 7, 115 19 Praha 1

\*[krelimic@jfifi.cvut.cz](mailto:krelimic@jfifi.cvut.cz), \*\*[vachape2@jfifi.cvut.cz](mailto:vachape2@jfifi.cvut.cz),

## Abstrakt

Příspěvek se zabývá dvěma vybranými typy reaktorů, které byly v rámci Generation IV International Forum (GIF) zařazeny mezi reaktory generace IV a v budoucnu by měli nahradit stávající reaktory. V příspěvku jsou uvedeny dva reaktory, které dle nás si zaslouží největší očekávání. Na konci pokládáme otázku o budoucnosti vyhořelého paliva, neboť to bude základ reaktorů generace IV.

## 1 Úvod

V roce 2003 vybralo „mezinárodní fórum pro IV. generaci“ 6 návrhů (GFR, LFR, MSR, SFR, SCWR, VHTR) na tzv. jaderné reaktory generace IV. Začala se tím v podstatě odehrávat nová kapitola v jaderné energetice a vědci z celého světa na sebe vzali výzvu uvést alespoň některé projekty k životu.

## 2 Metody výběru

Rozhodli jsme se všech 6 návrhů co nejdůkladněji prostudovat a vybrat z nich dva, které jsou podle nás kombinací ekonomické realizovatelnosti a navíc přinášejí do oblasti jaderné energetiky nové postupy a technologie. Podle těchto kritérií jsme postupně vyřazovali z původní šestice. Návrhy LFR a SFR byly vyškrtnuty jako první, protože nesplňovaly náš požadavek na přínos v oblasti nových technologií a postupů – s oběma těmito typy se již několik desítek let experimentuje. Návrh MSR sám sebe diskvalifikuje, jelikož autoři návrhu se netají faktem, že výroba elektřiny nebo vodíku pomocí tohoto reaktoru je značně neekonomická a jediný přínos MSR je ve zpracování jaderného odpadu na méně nebezpečné prvky – s čímž se ovšem počítá i při použití jiných reaktorů generace IV. Naopak SCWR je návrh, který jde svou vlastní cestou a slibuje přinést mnoho nových poznatků nejen v oblasti energetiky, ale i materiálového inženýrství – proto se stal jedním z projektů, na které jsme se zaměřili. Zbývající dva Návrhy GFR a VHTR si ve svých vlastnostech konkurují, proto výběr mezi nimi nebyl jednoduchý. Nakonec zvítězil GFR díky tomu, že k návrhu VHTR nebyli autoři schopni najít dostatek relevantních informací.

## 3 Rychlý reaktor chlazený plynem (GFR)

Návrh rychlého reaktoru chlazeného plynem vyhází ze současných tepelných reaktorů využívající k chlazení plyny. Vývoj GFR probíhá ve dvou liniích, jako první zřejmě dosáhnou dílčích úspěchů v JAR a Číně.

Jako palivo se uvažují keramické mikročástice a keramické kompozity z uranu a plutonia ve formě kuliček. Jako druhá varianta se může použít palivo ve formě „mnohobokých“ hranolů. Jako záložní alternativa může být použita směs karbidů a dusíkatých sloučenin aktinidů (přepřacovaný jaderný odpad). Palivo ve formě kuliček je výhodné díky velkému povrchu – v rychlých reaktorech dochází hůře ke štěpení materiálu než v tepelném, proto také musí být palivo do rychlého reaktoru silně obohacené (20% - 50% Pu239 nebo U235). Velkou výhodou je uzavřený palivový cyklus, při kterém se palivo dá po úpravách použít několikrát po sobě a zpracuje se většina energie v něm obsažené.

Z hlediska výkonu je nejdůležitějším parametrem GFR absence dělení na primární a sekundární okruh. Helium je přímo proháněno přes turbínu, navíc se pracuje při teplotách až 900°C. To dovoluje zvýšit tepelnou účinnost až k 50% a použít procesní teplo k výrobě vodíku termochemickou cestou.

Vyskytuje se ovšem i řada konstrukčních problémů - chladicí plyn dosahující teploty až 900°C vyžaduje použití úplně nových materiálů a postupů, při kterých vydrží elektrárna bez poškození i v krizových situacích (materiály musí vydržet až 1600°C).

Problém potřeby silně obohaceného paliva může být odstraněn využitím tzv. množivých reaktorů – rychlých reaktorů, okolo nichž je v tyčích rozmístěný U238. Díky tomu, že nezpomalených neutronů je emitováno mnohem větší množství, než jaké je potřeba k udržení reakce, se z Uranu 238 v okolí reaktoru stává Pu 239, které je dále využitelné jako palivo.

Vstupní/výstupní teplota chladiva	490°C\ 870°C
Tlak v primárním okruhu	9 MPa
Výkon reaktoru (plánovaný)	600 MW
Tepelná účinnost	až 50%
Denzita výkonu (hustota výkonu)	100 MW/1 m <sup>3</sup>

Tab. 1 Parametry reaktoru GFR

## 4 Reaktory chlazené vodou se superkritickými parametry(SCWR)

Reaktory chlazené vodou se superkritickými parametry (Supercritical water reactor SCWR), patří do rodiny reaktorů Generace IV. Jedná se o pokročilý nukleární systém s vysokou tepelnou účinností oproti stávajícím lehkovodním reaktorům LWRS (účinnost SCWR je asi 45% oproti 33% LWRS) a značným zjednodušením zařízení. SCWR je založen na LWRS, ale pracuje s většími teplotami a tlakem a také používá jeden okruh, kde voda se seperkritickými parametry jde z reaktoru přímo do turbíny. SCWR je určen na výrobu elektřiny s nižšími náklady. Projektem SCWR se zabývá 32 organizací ze 13 zemí.

V rámci Ganeration IV International Forum (GIF) se mluví o dvou přístupech ke konstrukci SCWR. První a nejvíce vyvíjenou konstrukcí SCWR je typ tlakové nádoby (vyvíjené hlavně v USA) která má kořeny ve stávajících LWRS reaktorech. Konstrukcí tlakové nádoby se zabývají i v Japonsku, Koreji a v Evropě. Druhou konstrukcí je konstrukce tlakových trub vyvíjená v Kanadě.

Americká konstrukce pracuje při tlaku 25MPa s teplotou vstupní a výstupní 280°C, respektive 500°C. Přičemž hustota chladiva klesne ze vstupních 760kg/m<sup>3</sup> na 90kg/m<sup>3</sup> na výstupu z jádra.

Konstrukce reaktoru bude podobná LWRS, avšak usilovně se pracuje na výzkumu, jaký materiál se použije, neboť u vody se superkritickými parametry dochází k obrovské korozi a praskání napěťové koroze (CSS). Nový materiál by měl mít vysokou pevnost a odolnost proti korozi při teplotách až 600°C, nízkou náchylnost k praskání napěťové koroze, nízkou hodnotu pohlcování neutronů a objemovou stabilitu.

Vstupní/výstupní teplota chladiva	280°C\ 500°C
Tlak v primárním okruhu	25 MPa
Výkon reaktoru (plánovaný)	1600 MW
Tepelná účinnost	44,8 %
Plánovaná životnost	60 let

Tab. 2 Parametry reaktoru SWCR

## 5 Závěr

Zjištěné informace o reaktorech GFR a SCWR nás utvrdili v našem přesvědčení, že tyto dva návrhy mají potenciál přinést na pole moderní fyziky mnoho nového a zajímavého a navíc mají díky svým parametrům a výkonu reálnou šanci, že se v budoucnu, minimálně do příchodu fúzních elektráren, stanou páteří světové energetiky.

Autoři by také chtěli tímto podnítit veřejnou diskuzi na téma – Proč by měla ČR sbírat jaderný odpad z ostatních zemí. Bylo by velice lukrativní, jelikož bychom dostali zapláceno dvakrát – poprvé za to, že si necháme odpad skladovat na našem území, podruhé až budou v provozu rychlé reaktory a kvůli slábnoucím zásobám paliva se z odpadu stane vysoce ceněný artikl. Bohužel praktická realizovatelnost takového projektu se v dnešní době blíží nule, protože společnost je neustále strašena „jadernou hrozbou“ a takovýto návrh by jistě zvedl ze židle nejenom ekoaktivisty.

## 6 Poděkování

Autoři by rádi poděkovali vedoucímu fyzikálního semináře Ing. Vojtěchu Svobodovi, CSc. za podnětné připomínky k obsahové i grafické stránce našeho projektu.

## Reference

- [1] H. Khalil, THE GAS-COOLED FAST REACTOR SYSTEM, <http://anes.fiu.edu/Pro/s9Kha.pdf>, 20.11.2007
- [2] anonym, Supercritical Water Reactor, Nuclear Energy Research Initiative, [http://neri.inel.gov/program\\_plans/pdfs/appendix\\_2.pdf](http://neri.inel.gov/program_plans/pdfs/appendix_2.pdf), 21. října 2007
- [3] J. Buongiorno, The Supercritical-Water-Cooled Reactor (SCWR) ANS, 2002 Winter Meeting November 18, [http://gif.inel.gov/roadmap/pdfs/supercritical-water-cooled\\_reactor.pdf](http://gif.inel.gov/roadmap/pdfs/supercritical-water-cooled_reactor.pdf), 21. října 2007
- [4] J. Buongiorno, P. E. MacDonald Supercritical Water Reactor (SCWR) Progress Report for the FY-03 Generation-IV R&D Activities for the Development of the SCWR in the U.S., [http://nuclear.inl.gov/gen4/docs/scwr\\_annual\\_progress\\_report\\_gen-iv\\_fy-03.pdf](http://nuclear.inl.gov/gen4/docs/scwr_annual_progress_report_gen-iv_fy-03.pdf), 21. října 2007
- [5] D. Danielyan Supercritical-Water-Cooled Reactor System - as one of the most promising type of Generation IV Nuclear Reactor Systems , [http://www.tkk.fi/Units/AES/courses/crspages/Tfy-56.181\\_03/Danielyan.pdf](http://www.tkk.fi/Units/AES/courses/crspages/Tfy-56.181_03/Danielyan.pdf), 21. října 2007
- [6] [http://en.wikipedia.org/wiki/Gas\\_cooled\\_fast\\_reactor](http://en.wikipedia.org/wiki/Gas_cooled_fast_reactor), 21. října 2007
- [7] <http://en.wikipedia.org/wiki/SCWR>, 21. října 2007