

# Projekt HeFASTo

Petr Vácha ([petr.vacha@ujv.cz](mailto:petr.vacha@ujv.cz))

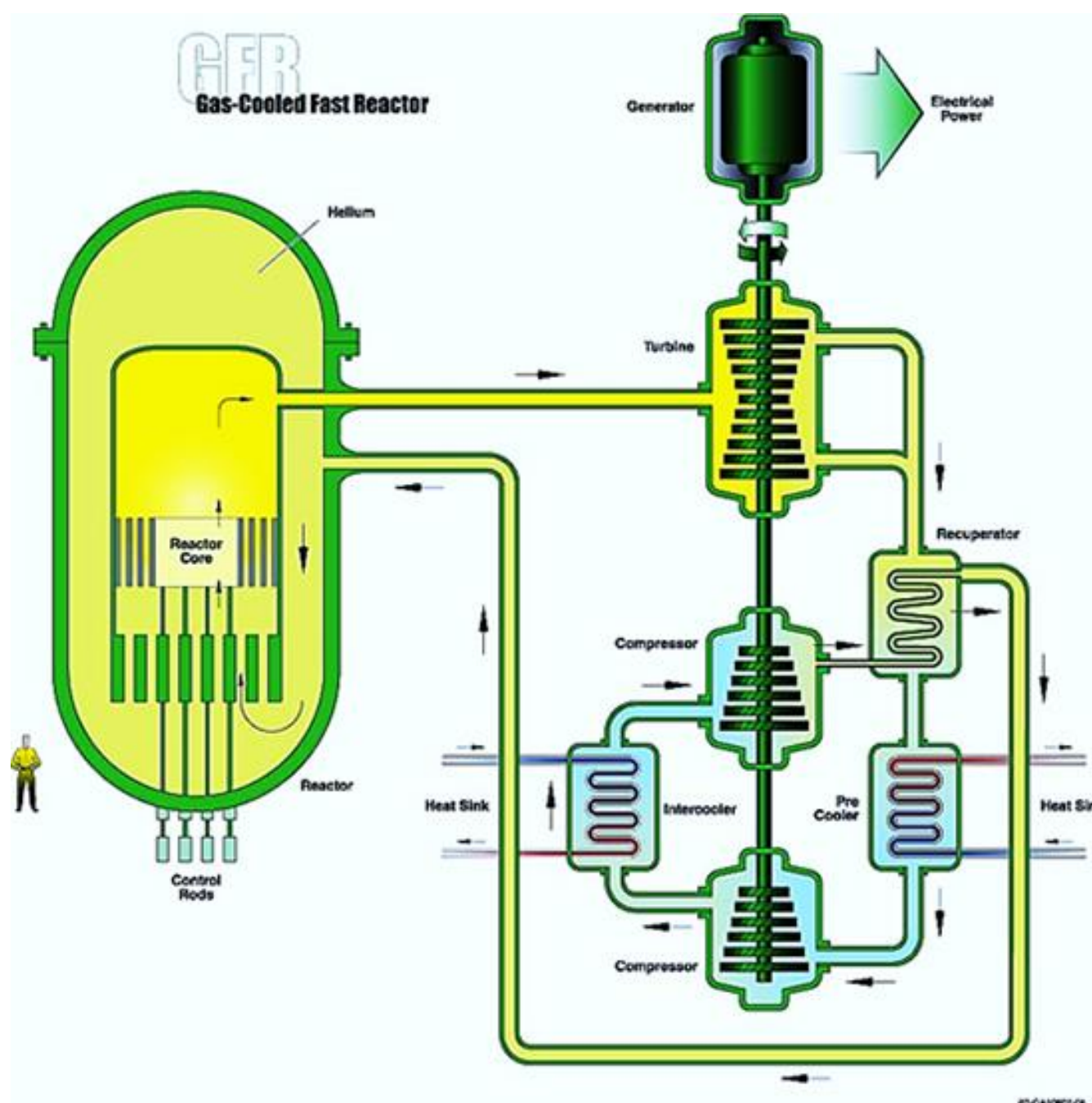
Webinář Malé Modulární Reaktory, 26.5.2021



# OBSAH

- **GFR**
  - Hlavní charakteristiky
  - Historie
- **HeFASTo**
  - Cíle
  - Technické parametry
  - Modularita
  - Bezpečnost
- **Kontext stávajících výzkumných aktivit GFR**
  - Projekt ALLEGRO

# GFR- GAS-COOLED FAST REACTOR



Zdroj: [www.gen-4.org](http://www.gen-4.org)

- **Kombinuje výhody RYCHLÉHO a VYSOKOTEPLOTNÍHO plynem chlazeného reaktoru**

- Uzavřený palivový cyklus
- Minimalizace odpadů
- Možnost produkce vysoko potenciálního tepla a elektřiny s vysokou účinností

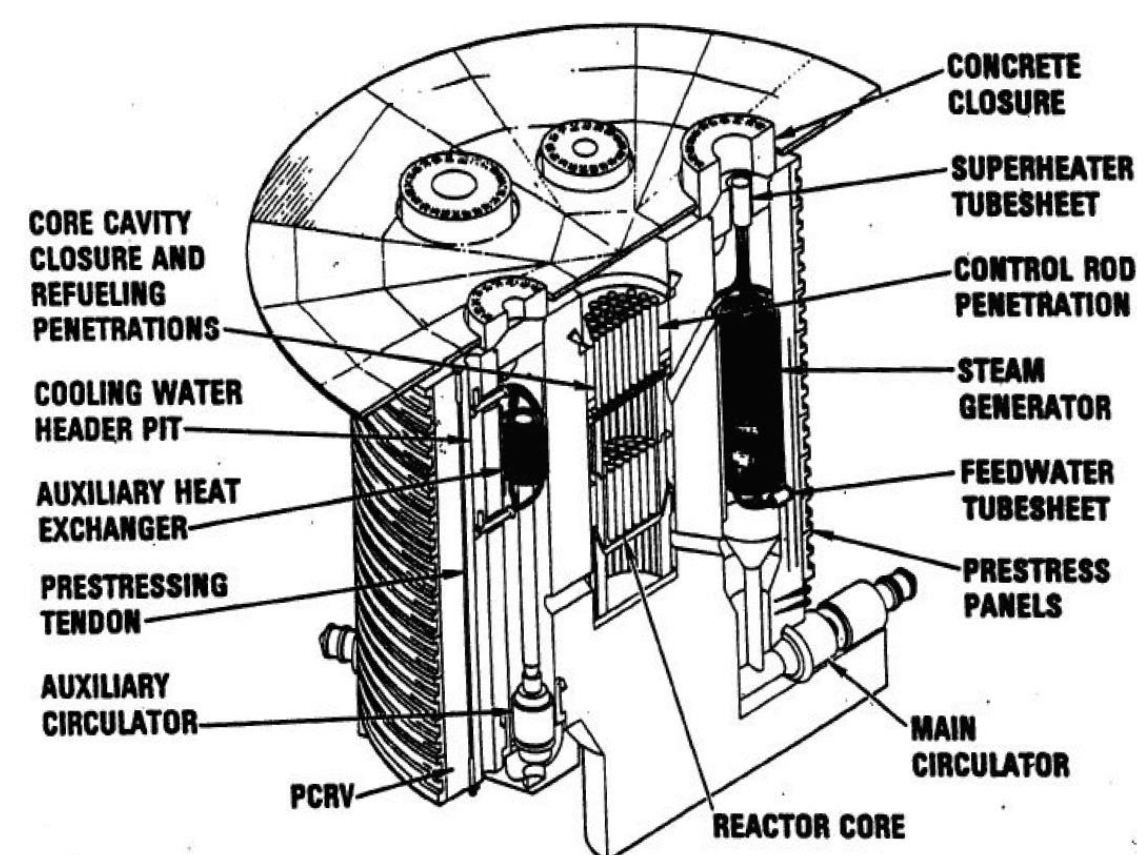
- **Obecné charakteristiky:**

- + Vysoká výstupní teplota z AZ ( $>850^{\circ}\text{C}$ )
- + Dobrá neutronická bezpečnost (na rychlý reaktor)
- + Transparentní chladivo bez fázových změn
- + Velmi efektivní množivý reaktor a transmutátor
- Horší efektivita chlazení (oproti vodě nebo tekutým kovům)
- Extrémní požadavky na odolnost materiálů

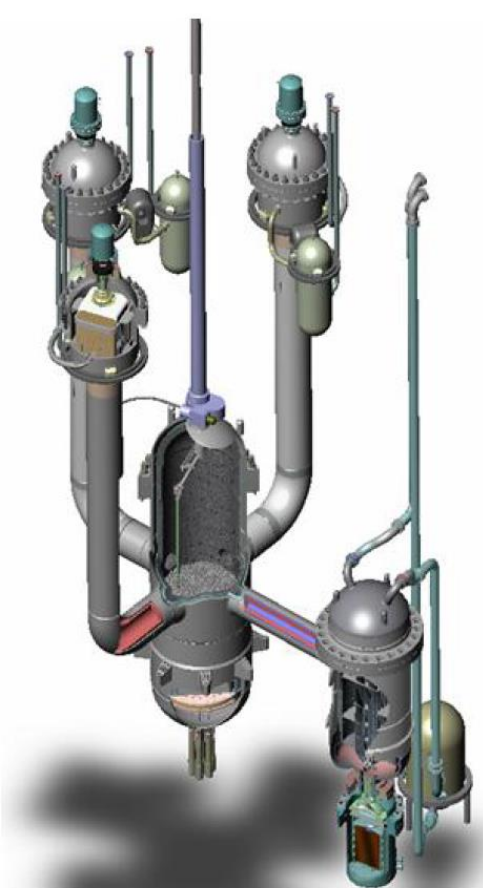
- **Hlavní výzvy**

- Chlazení aktivní zóny při haváriích s únikem chladiva (LOCA)
- Výměna paliva při zvýšeném tlaku v reaktorové nádobě

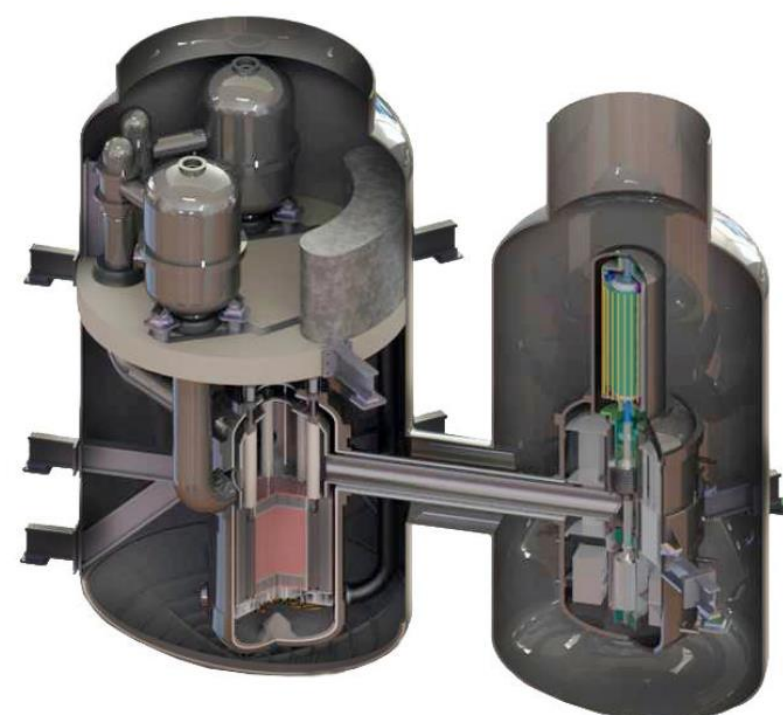
# HISTORIE GFR



70. Léta - Koncept GCFR 300 MWth  
General Atomics



2002 – ETDR, CEA



2009 – EM<sup>2</sup>, GA

## ■ Překvapivě bohatá historie:

- Sahá do 60. let 20. století – první vlna zájmu o rychlé reaktory
- Koncepty v Evropě, USA, SSSR, Japonsku
- Nikdy nerealizované – příliš náročné na materiály a technologie dostupné v dané době

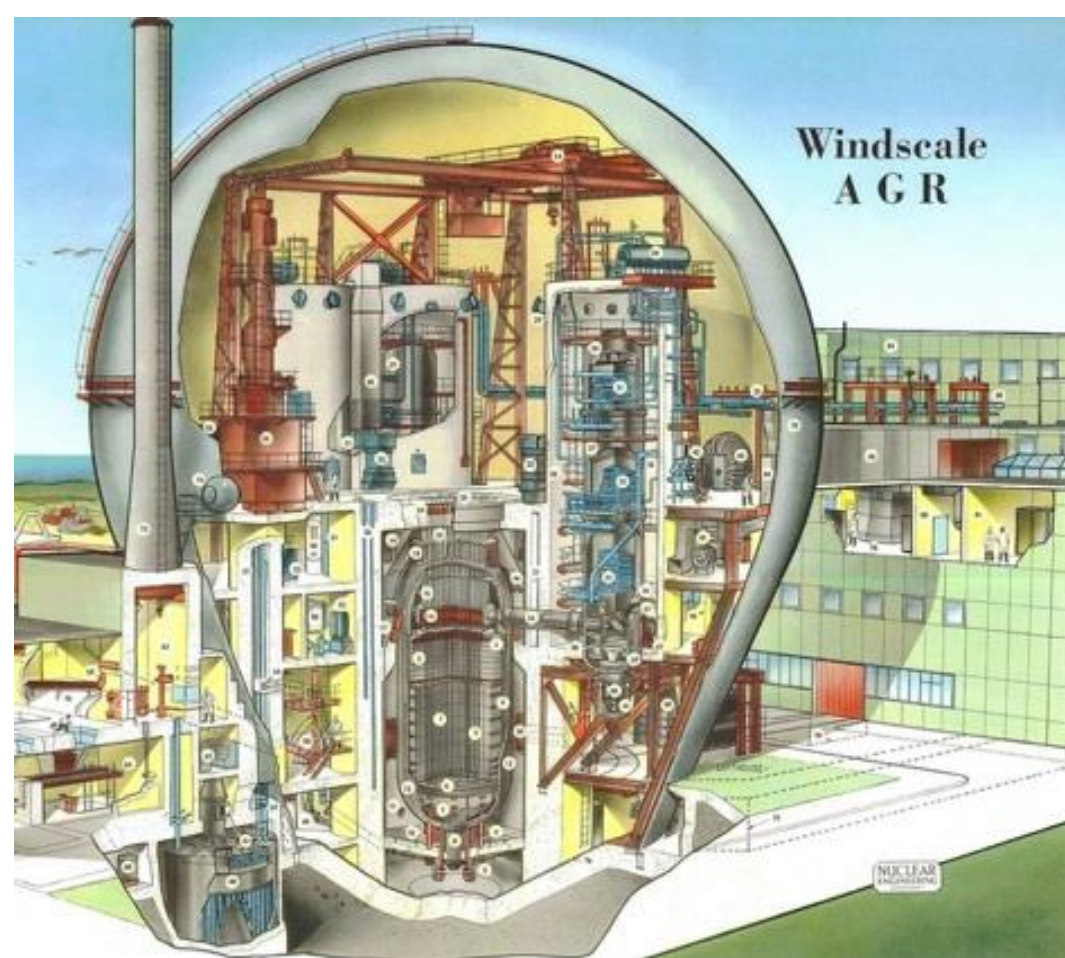
## ■ Moderní éra

- GFR jako jedna z 6 nejperspektivnějších jaderných technologií budoucnosti dle Generation IV International Forum
- Vývoj především v Evropě a USA

# HISTORIE GFR – PLYNEM CHLAZENÉ REAKTORY

## ▪ Plynem chlazené reaktory s moderátorem

- Dlouhá historie komerční aplikace (již od konce 50. let)
- Ve Velké Británii reaktory MAGNOX a AGR dodávaly a stále dodávají desítky procent vyrobené energie do elektrické soustavy
- Helium chlazené grafitové reaktory v polo-komerčním provozu dříve v Německu, nyní v Číně a Japonsku
- Celkově přes 500 reaktor-roků provozních zkušeností ve světě

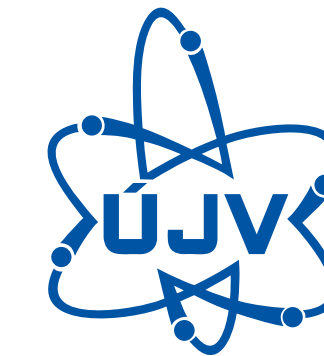


1965 – AGR, [theengineer.co.uk](http://theengineer.co.uk)



1985 – THTR 300, [thtr.de](http://thtr.de)

# HeFASTo - Helium-cooled Fast Reactor



## ▪ **Koncept pokročilého modulárního reaktoru na bázi GFR:**

- Vyvíjený od roku 2021 v ÚJV Řež, a. s.
- Uzavřený palivový cyklus s možností využití vyhořelého paliva z PWR – klíčové při masivním rozvoji jaderné energetiky v budoucnu
- Vysoká míra modularity a dlouhá palivová kampaň zvyšující ekonomickou konkurenceschopnost a zajišťující univerzálnost ve využití
- Vysoká pasivní bezpečnost splňující podmínky GENIV



# HeFASTo - Helium-cooled Fast Reactor



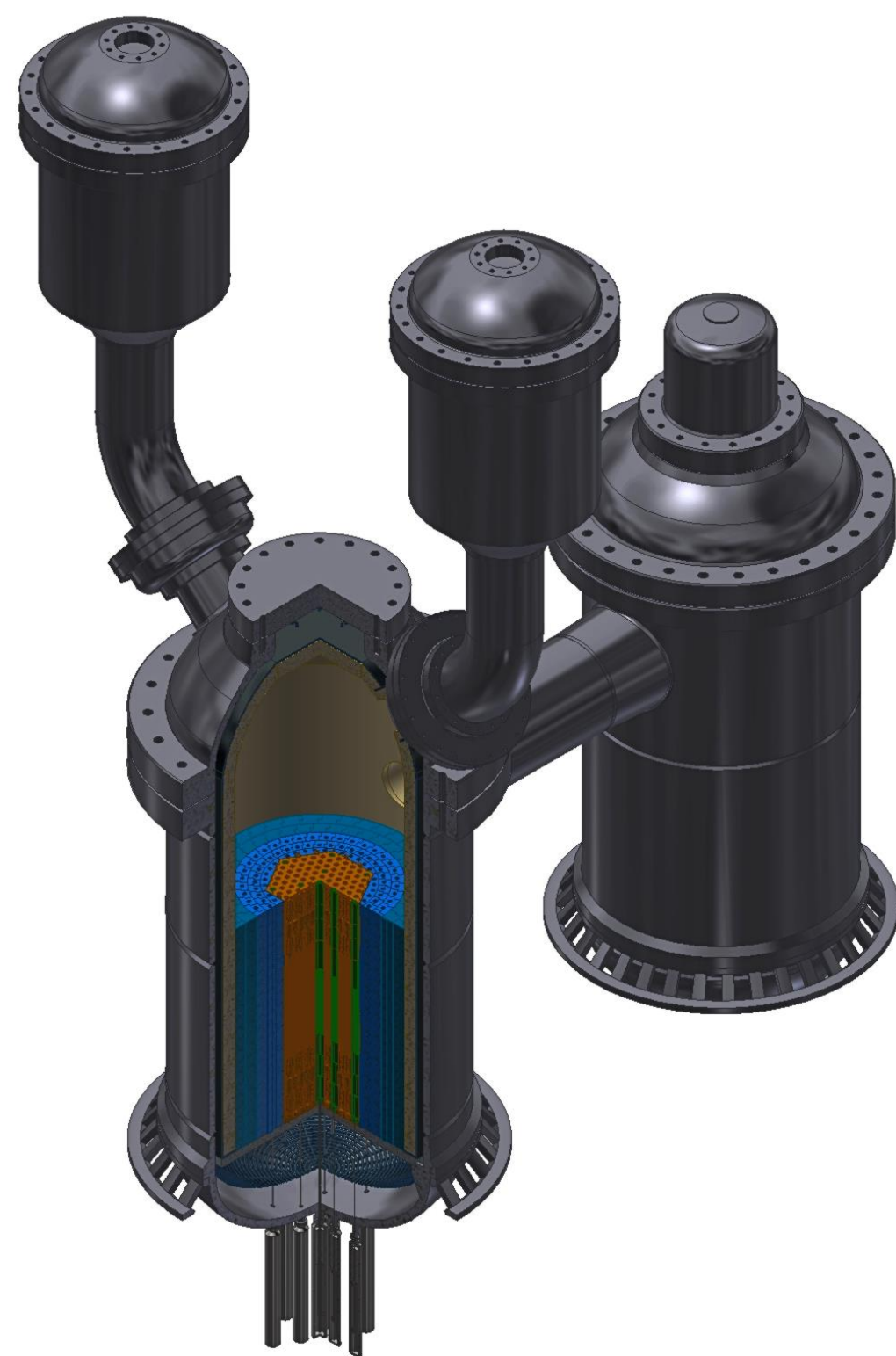
(zdroj: cs.wikipedia.org)

## ▪ Odkaz do mytologie

▪ [cs.wikipedia.org](https://cs.wikipedia.org):

- „Héfaistos je ošklivý a slabý hned od svého narození. Vlastní matka ho pro jeho nedokonalost svrhla z Olympu, ...“
  - „Často bývá srovnáván s bohyní Pallas Athénou. Je velmi zručným kovářem, který zhotovuje mistrná díla, ...“
- Stejně jako bájný Héfaistos se GFR vrací zpět, jako jedna z nejperspektivnějších jaderných technologií pro 21. století v podobě malého modulárního reaktoru

# HeFASTo – Základní Technické Parametry



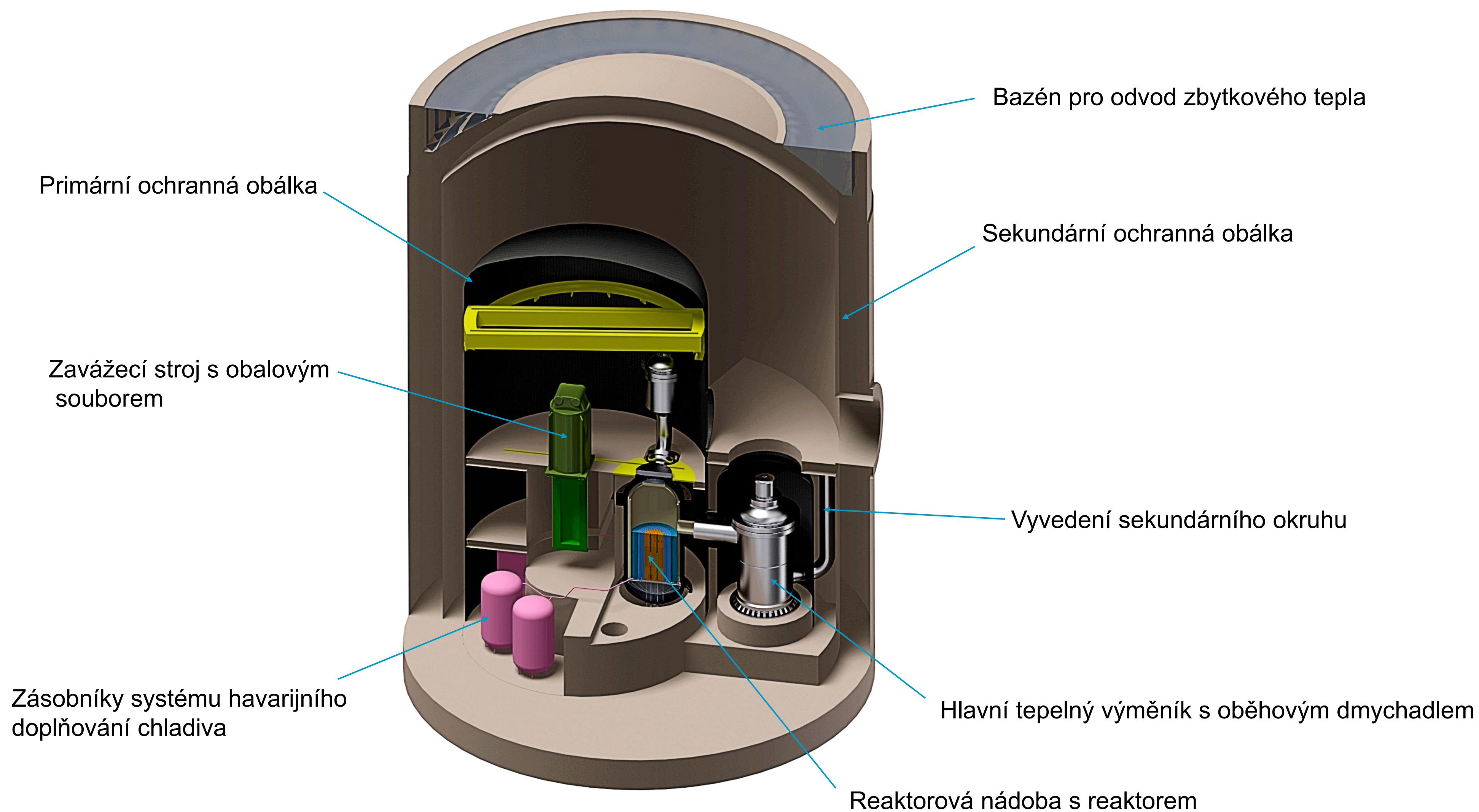
## ▪ Hlavní technické rysy reaktoru HeFASTo

- Nepřímý cyklus – modularita na sekundární straně
- Dvojitý kontejnment pro ochranu před únikem RA látek i vnějšími hrozbami
- Umístění částečně pod zemí – nadzemní část s výškou 18 m
- 5 let provozu bez nutnosti překládky paliva

Parametr	Hodnota	Jednotka
Tepelný výkon	200	MWth
Teplota vstupní/výstupní	450 / 900	°C
Primární chladivo	He	-
Primární tlak	7,5	MPa
Sekundární chladivo	N <sub>2</sub> +He	-
Sekundární tlak	8,0	MPa
Palivo	UC, případně (U,Pu)C	-
Obohacení paliva	UC - 19,5 (U,PU)C - 30	%
Provoz s jednou palivovou vsázkou	5	let
Koeficient využití	>95	%



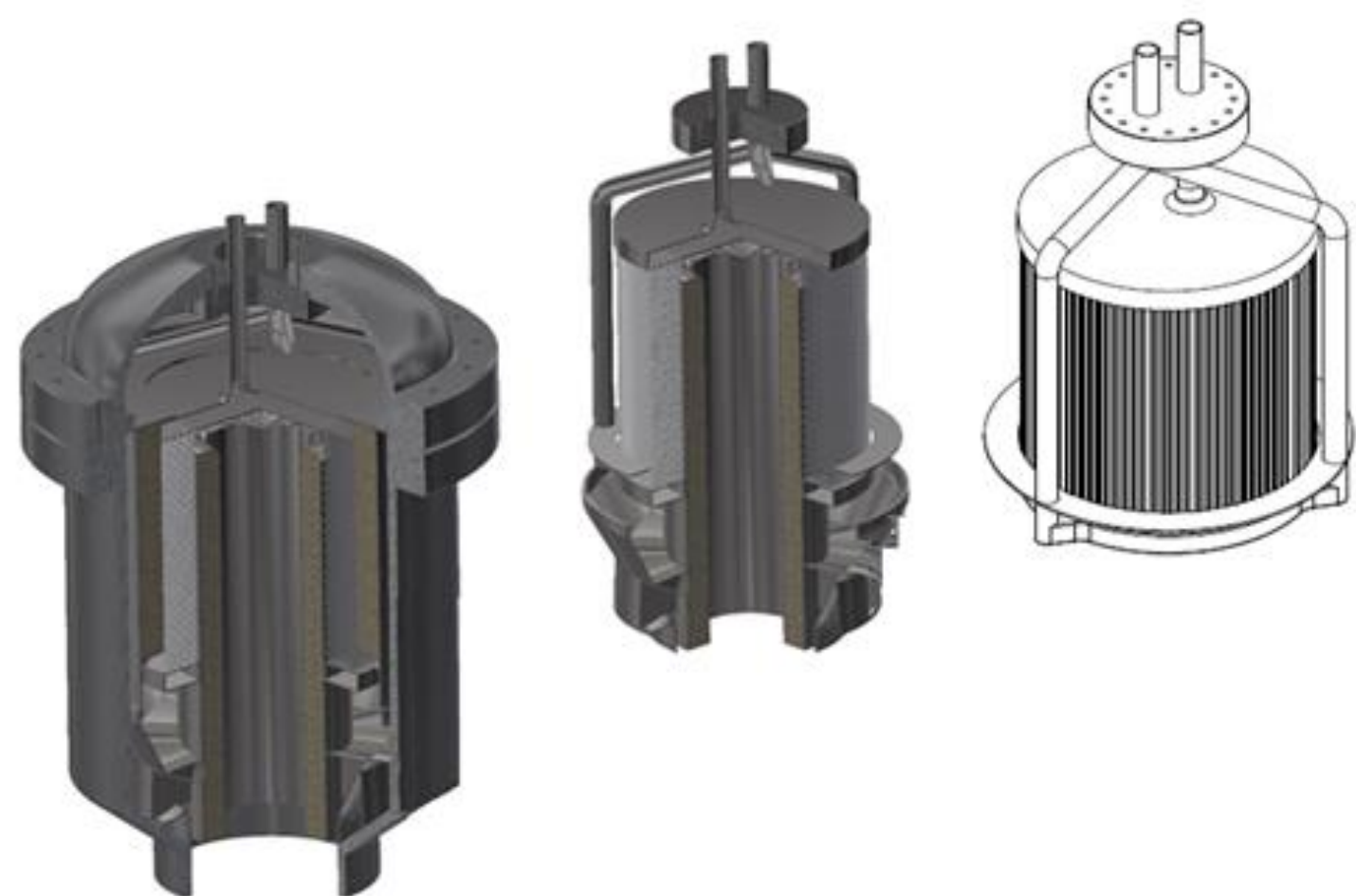
# HeFASTo – Design



# HeFASTo – Modularita

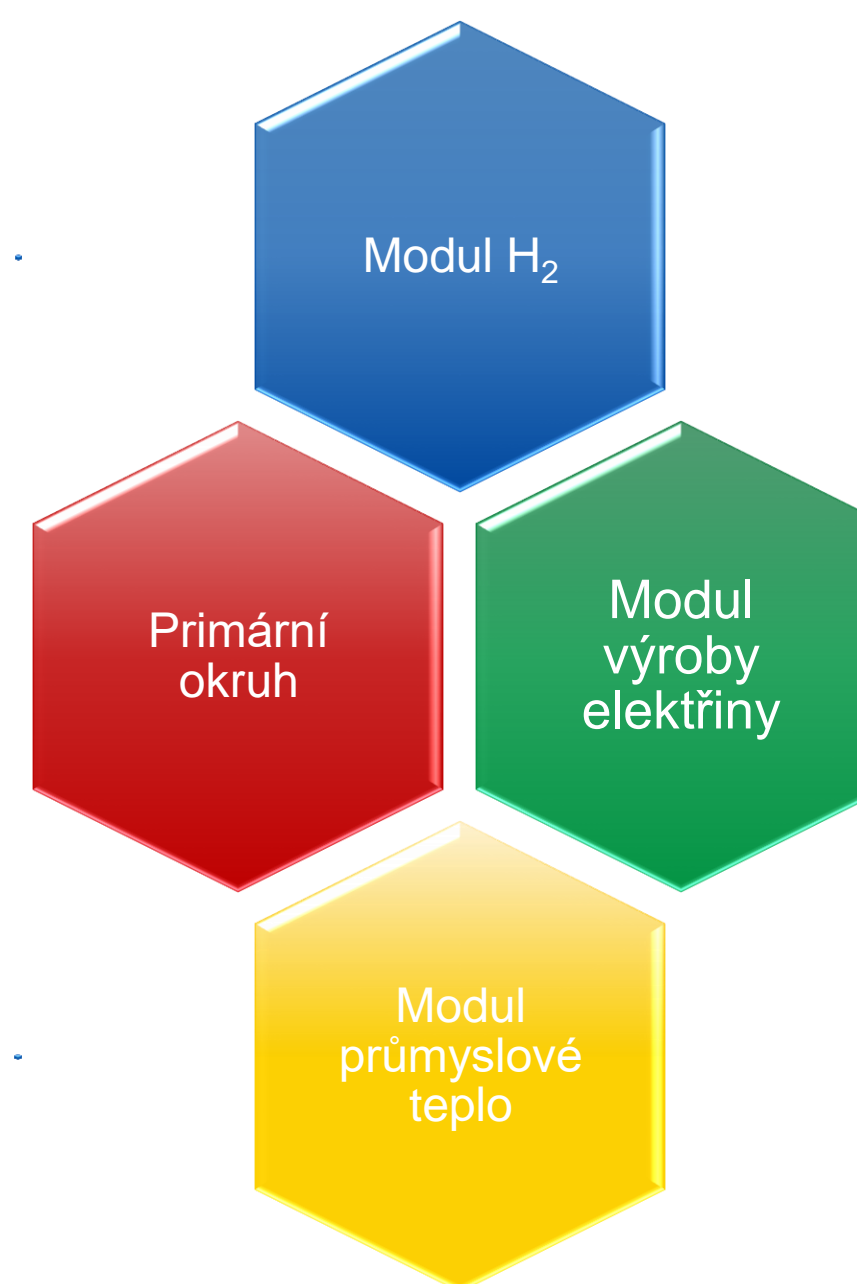
## ▪ Zaměření na zjednodušení výstavby a dopravy

- Minimalizace svarů na místě realizace
- Velikost hlavních komponent designovaná pro snadnou přepravu po silnici nebo železnici
- Důraz na servisovatelnost a vyměnitelnost hlavních komponent

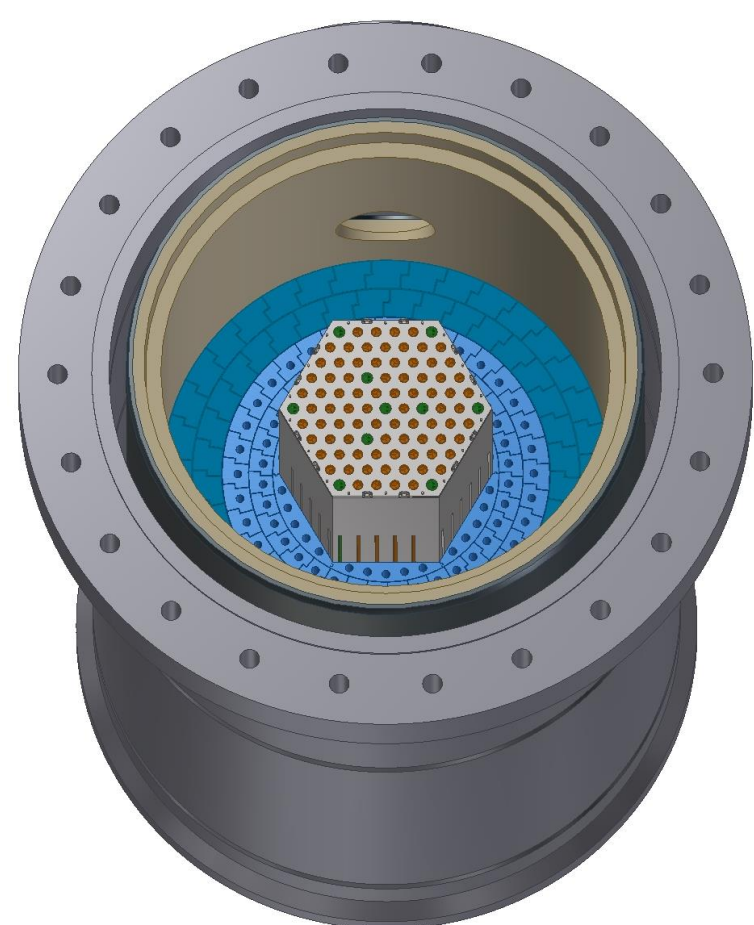
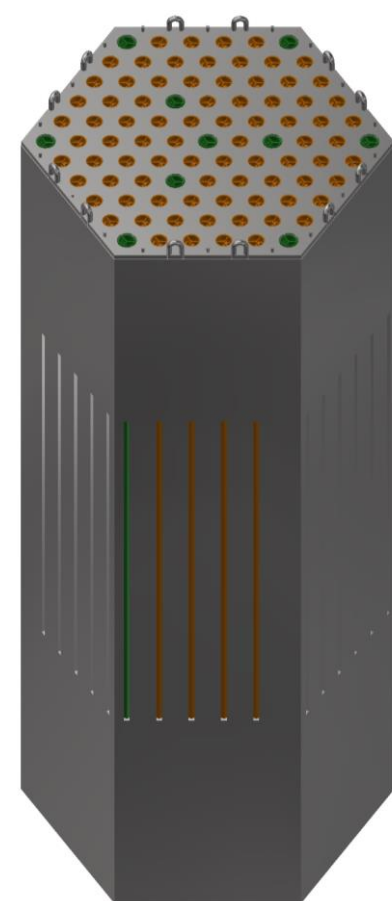


## ▪ Modularita sekundárního okruhu

- Možnost připojení různých modulů k sekundárnímu potrubí (i jejich kombinace):
- Modul výroby vodíku – možnost využít vysokoteplotní elektrolýzy
- Modul pro výrobu elektřiny – kombinovaný cyklus (účinnost 44 %)
- Vyvedení tepla pro průmyslové využití v chemickém průmyslu (až 850°C)



# HeFASTo – Palivová kampaň



## ▪ Omezení nakládání s palivem uvnitř elektrárny

- Aktivní zóna vcelku uvnitř speciálního koše, který se do reaktorové nádoby vkládá i z ní vyjímá jako jeden kus
- Po konci palivové kampaně 3 týdny chlazení uvnitř reaktoru, vyjmutí do obalového souboru
- Po dochlazení odvoz v obalovém souboru pryč z prostoru elektrárny
- Snížení rizika proliferace i havárie při manipulaci s palivem

## Odstávky

- Jednou za 5 let odstávka v délce 32 dnů spojená s výměnou paliva
- V každém pětiletém období dvě 14 denní servisní odstávky bez výměny paliva

## Vyhořelé palivo

- Minimální produkce nového vyhořelého paliva kvůli efektu množení
- Možnost několikanásobného přepracování s přidavkem vyhořelého paliva z LWR

# HeFASTo – Bezpečnost

## ▪ Plně pasivní bezpečnost

- Tři hlavní bezpečnostní systémy fungující pouze na základě fyzikálních jevů:
  - Dedikovaný systém odvodu zbytkového tepla – přirozená konvekce
  - Systém havarijního doplňování chladiva – spuštěn poklesem tlaku v primárním okruhu
  - Primární ochranná obálka – zlepšuje přirozenou konvekci udržením zvýšeného tlaku při havárii se ztrátou chladiva (LOCA)

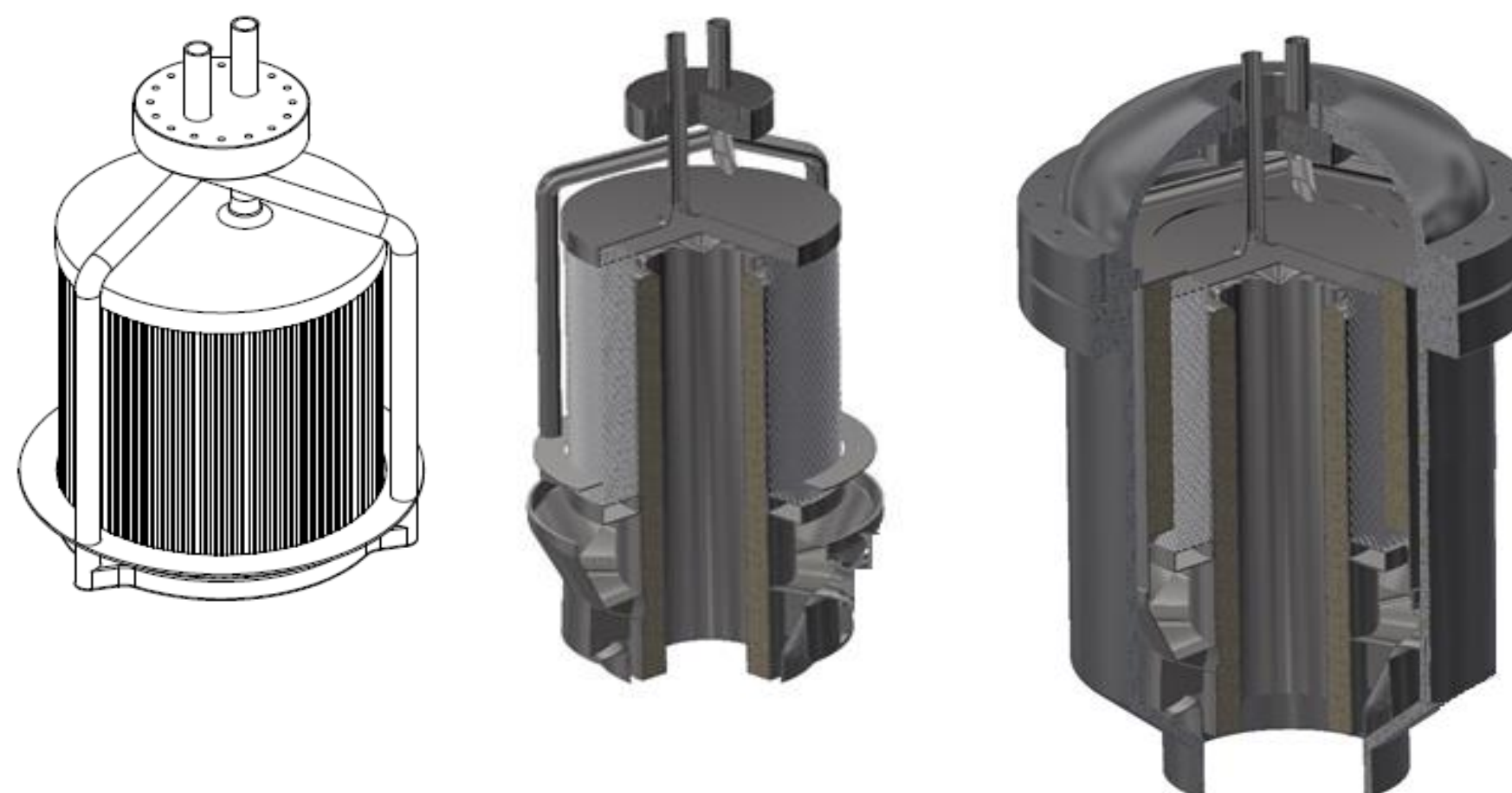
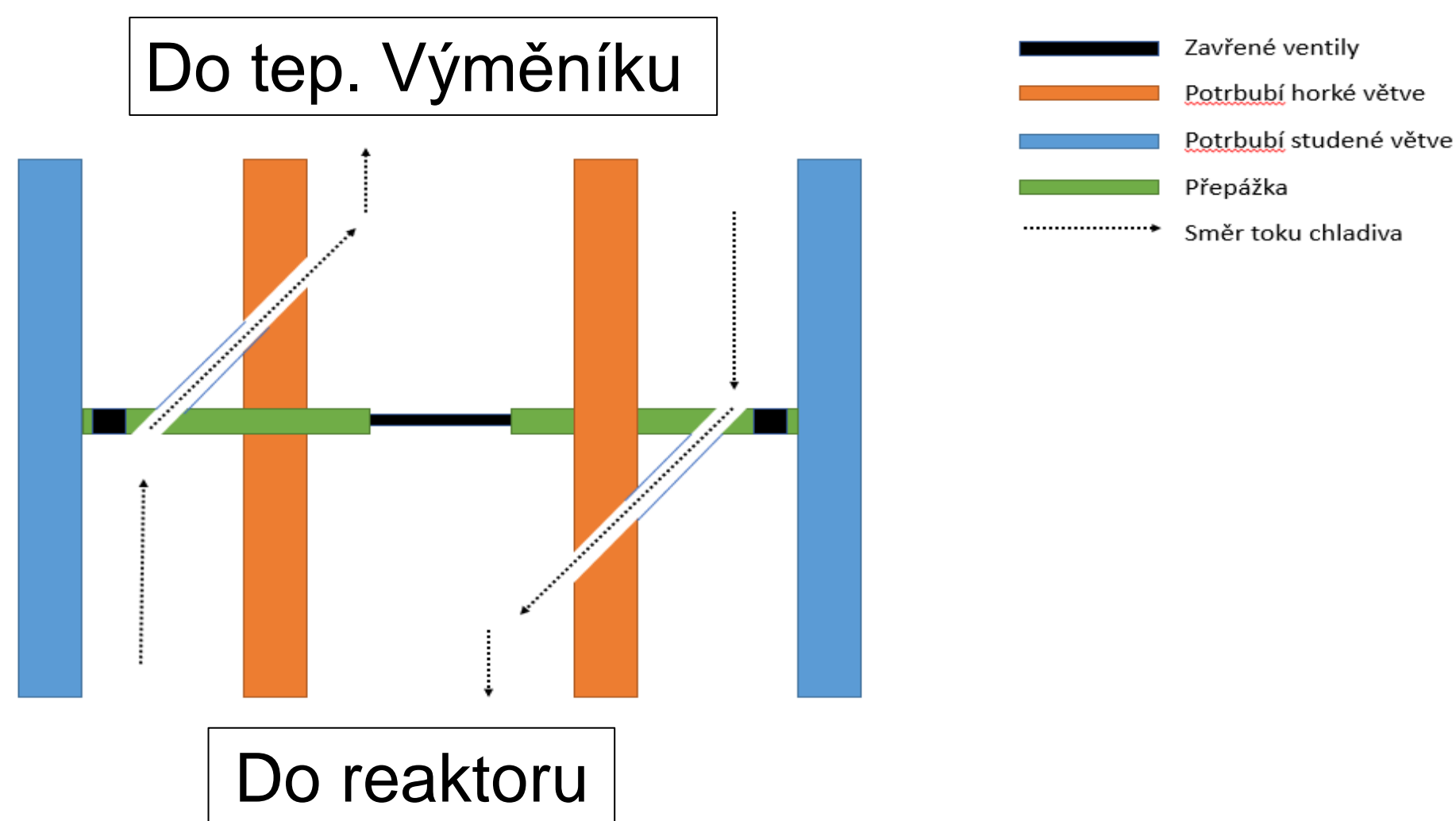
## ▪ Hlavní cíle bezpečnostního konceptu

- Praktické vyloučení těžkých havárií
- Minimalizace poškození aktivní zóny i při závažných událostech typu kombinace blackoutu a poškození primárního okruhu
  - Cílem je, aby i částečně poškozenou aktivní zónu bylo možné vyjmout vcelku ven v koši AZ
- Výsledkem je úplné zamezení úniku radioaktivních látek mimo prostor elektrárny

# SYSTÉM ODVODU ZBYTKOVÉHO TEPLA

## ▪ Samostatný systém odvodu zbytkového tepla

- Plně pasivní, založený na přirozené konvekci
- Během normálního provozu reaktoru je neustále udržován ve stavu pohotovosti – řízený malý průtok
- Klíčový bezpečnostní systém pro zvládnutí havárie se ztrátou průtoku chladiva (LOFA)
- 2 x 100 % plně pasivní smyčka
- Podán patent č. PV 2020-656



Tepelný výměník

Nastavení systému při normálním provozu

# SYSTEM HAVARIJNÍHO DOPLŇOVÁNÍ CHLADIVA



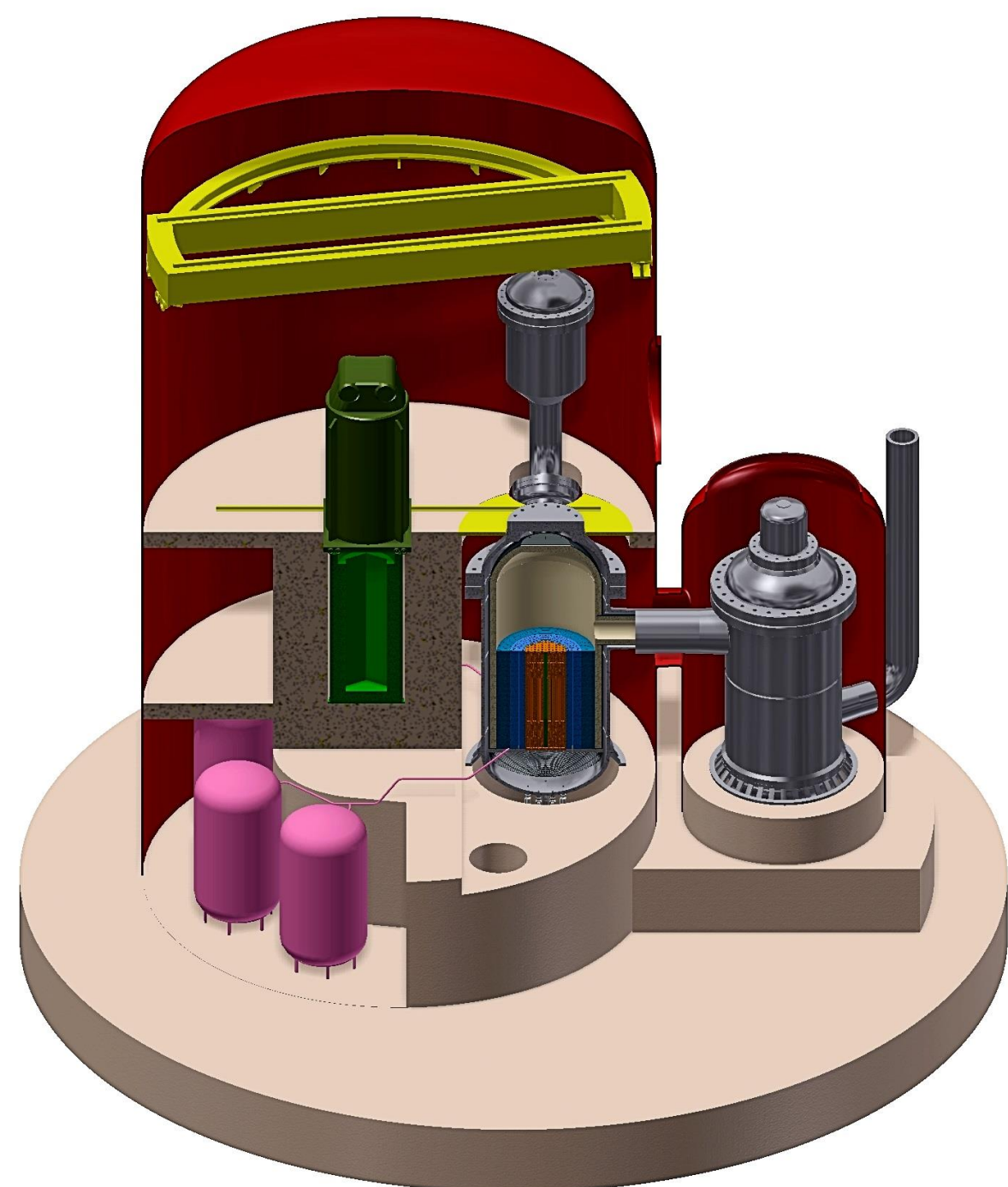
## ▪ **System havarijního doplňování chladiva**

- Soustava nádrží s tlakovým médiem (celkem 200 m<sup>3</sup> He pro vysokotlaký systém, 400 m<sup>3</sup> N<sub>2</sub> pro nízkotlaký) připojená k reaktorové nádobě
- Plně pasivní, založený na rozdílu tlaků
- Během provozu reaktoru je systém oddělený od primárního okruhu pouze přetlakovou membránou
- Ve chvíli, kdy v primárním okruhu poklesne tlak, dojde k protržení membrány a začne havarijní doplňování chladiva
- Klíčový bezpečnostní systém pro zvládnutí havárií se ztrátou chladiva (LOCA)

# OCHRANNÁ OBÁLKA

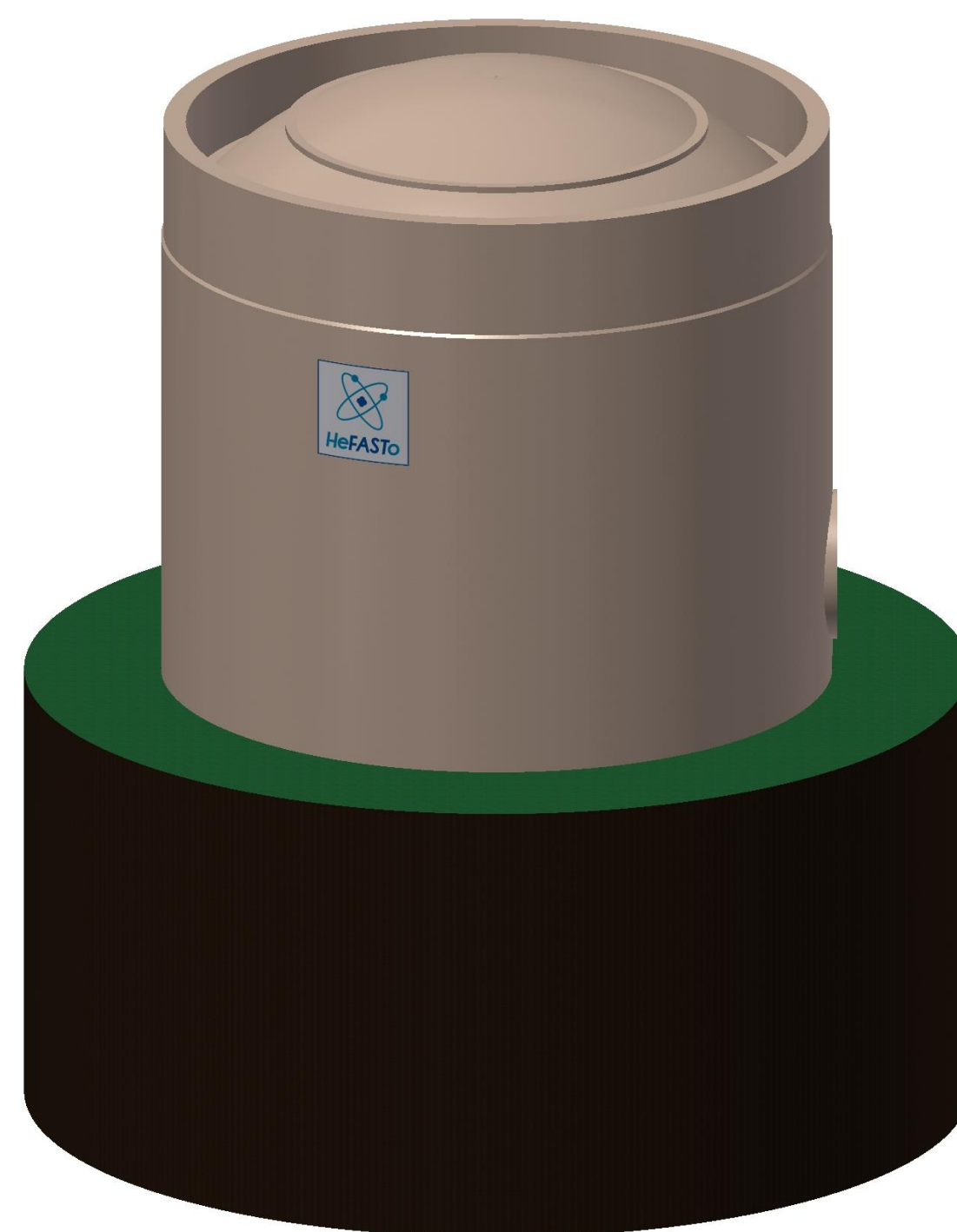
## ■ Primární ochranná obálka

- Plynotěsná ocelová obálka primárního okruhu s filtrovanou ventilací
- V případě havárie s únikem chladiva udrží v celém systému zvýšený tlak pro zlepšení účinnosti přirozené konvekce

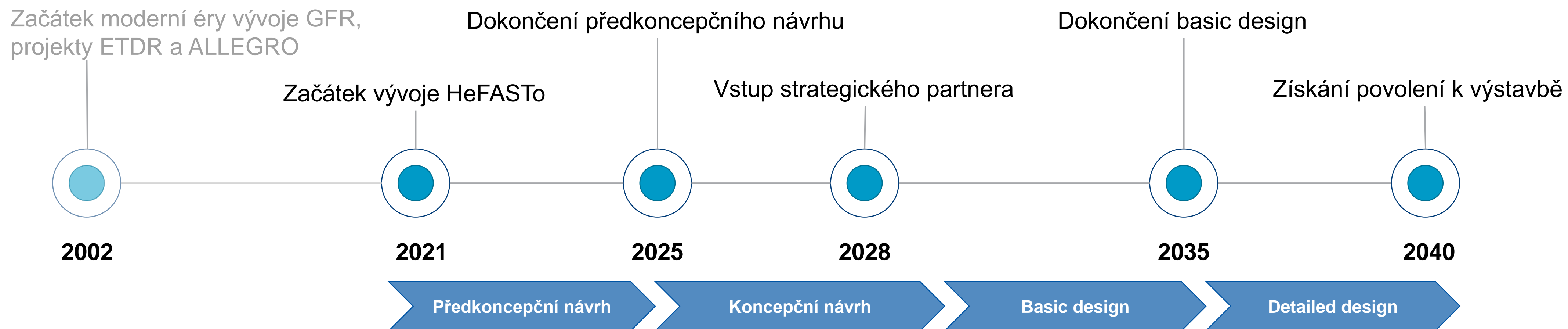


## ■ Sekundární ochranná obálka

- Betonová obálka s ocelovou obličovkou
- Chrání zařízení před vnějšími vlivy
- Na vrchu zásoba vody jako konečný chladič pro systém odvodu zbytkového tepla



# HeFASTo – Harmonogram projektu



2002.....Začátek moderní éry vývoje GFR, projekty ETDR a ALLEGRO

2010.....Začátek vývoje technologie GFR v ÚJV Řež, a.s.

**2021**.....Začátek vývoje reaktoru HeFASTo na základě zkušeností s vývojem GFR v ÚJV Řež, a. s.

**2025**.....Dokončení předkoncepčního návrhu včetně studie proveditelnosti, business plan, počátek hledání strategického partnera

**2028**.....Pokračuje konceptní návrh, deadline pro získání strategického partnera, pokud má být dodržen harmonogram

**2035**.....Dokončení basic design, začátek licenčního řízení

**2040**.....Získání povolení k výstavbě, dokončený detailed design



# HeFASTo – Kontext Stávajících Aktivit

- **ÚJV Řež, a. s. se již více než 10 let zabývá výzkumem a vývojem technologie GFR**

- Je jedním ze zakládajících členů V4G4 Centre of Excellence, které sdružuje 6 organizací z 5 evropských zemí, a jehož hlavním cílem je vývoj a výstavba demonstrační jednotky GFR s názvem ALLEGRO
- Autor mnoha částí konceptu designu reaktoru ALLEGRO

- **Běžící výzkumné projekty zaměřené na výzkum a vývoj GFR:**

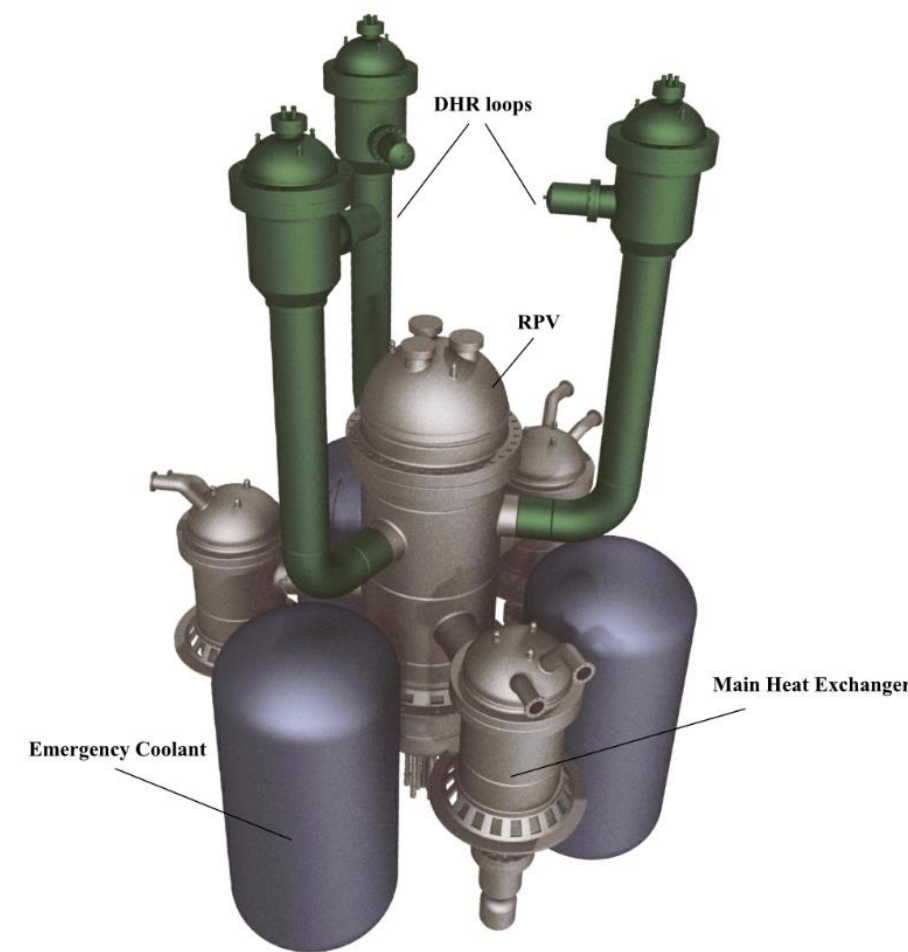
- **8 běžících projektů v rámci výzev Technologické Agentury ČR s celkovým rozpočtem přes 250 milionů Kč**
  - Široký záběr aktivit od materiálového výzkumu a vývoje, přes vývoj metodik hodnocení bezpečnosti a bezpečnostních analýz , až po komplexní vývoj bezpečnostních systémů a klíčových komponent GFR
  - Spolupráce s více než 15 univerzitami, akademickými institucemi, ale i průmyslovými podniky a dodavateli
  - Podíl soukromého financování – až 40 % pro některé projekty
- **Projekt Evropské Komise H2020 SafeG**
  - Safety of GFRs through innovative materials, technologies and processes
  - Spolupráce 15 špičkových pracovišť z Evropy a Japonska
  - Vývoj bezpečnostního konceptu GFR, inovativních materiálů a procesů
  - ÚJV Řež autorem návrhu projektu, leaderem velké části aktivit v rámci projektu

# ALLEGRO – HLAVNÍ CÍLE

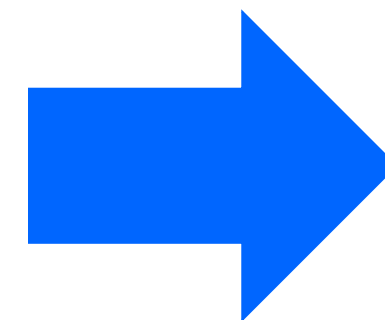
## ■ ALLEGRO má dosáhnout:

- Demonstrace životaschopnosti technologie – rychlý reaktor chlazený plynem místo tekutých kovů
- Ověření konceptu – schopnost dodávat teplo pro průmyslové využití, spolehlivost, bezpečnost
- Testovací zařízení – kvalifikace materiálů a technologií v prototypickém prostředí

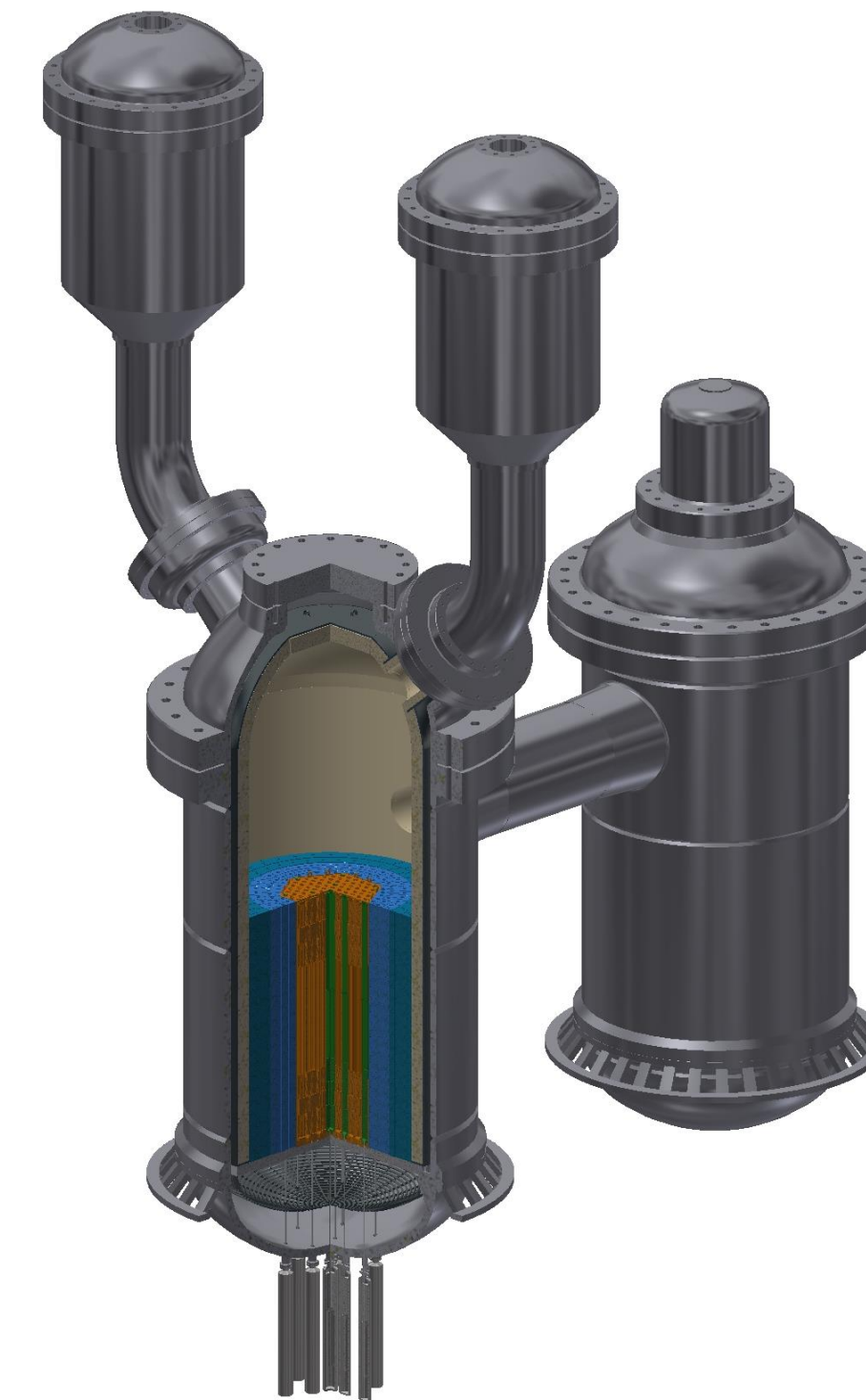
## ■ Hlavní cíl – kvalifikovat technologii GFR pro komerční aplikace



ALLEGRO



Komerční  
GFR



# HeFASTo – PLÁN V KRÁTKODOBÉM HORIZONTU

## ▪ **Technický vývoj**

- Optimalizace provozních parametrů aktivní zóny
- Bezpečnostní analýzy zaměřené na havárie s reaktivitou
- Pokračování ve vývoji klíčových komponent, především hlavního tepelného výměníku

## ▪ **Spolupráce na projektu**

- Dokončení nastavení spolupráce v rámci Skupiny ÚJV
- Oslovení potenciálních partnerů v rámci ČR
- Navázání spolupráce na projektu s V4G4 CoE

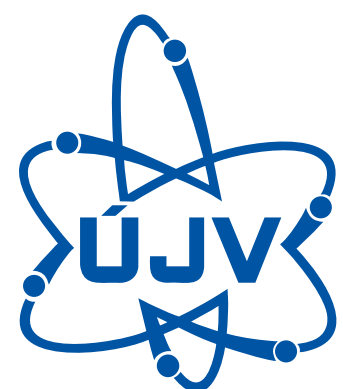
## ▪ **Generation IV International Forum**

- Cílem bude prosadit HeFASTo jako referenční koncept GFR v rámci GIF



**Děkuji za pozornost!**

Dotazy: [petr.vacha@ujv.cz](mailto:petr.vacha@ujv.cz)



ÚJV Řež, a. s.  
Hlavní 130, Řež  
250 68 Husinec, Czech Republic

e-mail: [sales@ujv.cz](mailto:sales@ujv.cz)  
[www.ujv.cz](http://www.ujv.cz)

