

Jaderné reaktory a elektrárny

Výzkumné reaktory, detektory atd.

13.12.2012

Výzkumné reaktory

- V roce 2000 podle IAEA ve světě 284 reaktorů.
- V ČR Centrum výzkumu Řež – 2 reaktory: LVR-15 s výkonem 10 MW a LR-0 s nulovým výkonem (dříve součást Ústavu jaderného výzkumu Řež) www.ujv.cz.
- Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská ČVUT v Praze – školní jaderný reaktor VR-1 (Vrabec) s nulovým výkonem. www.reaktorVR1.eu

VR-1 (Vrabec)

Školní reaktor VR-1

www.ReaktorVR1.eu



[Úvodní stránka](#)

[Aktuální provoz](#)

[Výuka na reaktoru](#)

[Výzkum a vývoj](#)

[Exkurze na reaktor](#)

[Uživatelé reaktoru](#)

[Popis reaktoru](#)

[Bezpečnost reaktoru](#)

[Otevřený přístup](#)

[Fotogalerie](#)

[Dokumenty ke stažení](#)

[Katedra reaktorů](#)

[Odkazy](#)

[Kontakty a spojení](#)

[English version](#)

Školní reaktor VR-1



[Úvodní stránka](#)

[Aktuální provoz](#)

[Výuka na reaktoru](#)

[Výzkum a vývoj](#)

[Exkurze na reaktor](#)

[Uživatelé reaktoru](#)

[Popis reaktoru](#)

[Bezpečnost reaktoru](#)

[Otevřený přístup](#)

[Fotogalerie](#)

[Dokumenty ke stažení](#)

[Katedra reaktorů](#)

[Odkazy](#)

[Kontakty a spojení](#)

[English version](#)

Kontakt a spojení na školní reaktor VR-1

Adresa

V Holešovičkách 2, 180 00 Praha 8, Česká republika

Internetové stránky

www.ReaktorVR1.eu www.ReaktorVR1.eu

Emaily a telefony

Obecné informace o reaktoru

reaktor@ReaktorVR1.eu +420 221 912 384

Objednání exkurze na reaktoru

exkurze@ReaktorVR1.eu +420 221 912 392, +420 221 912 404

Objednání výuky na reaktoru

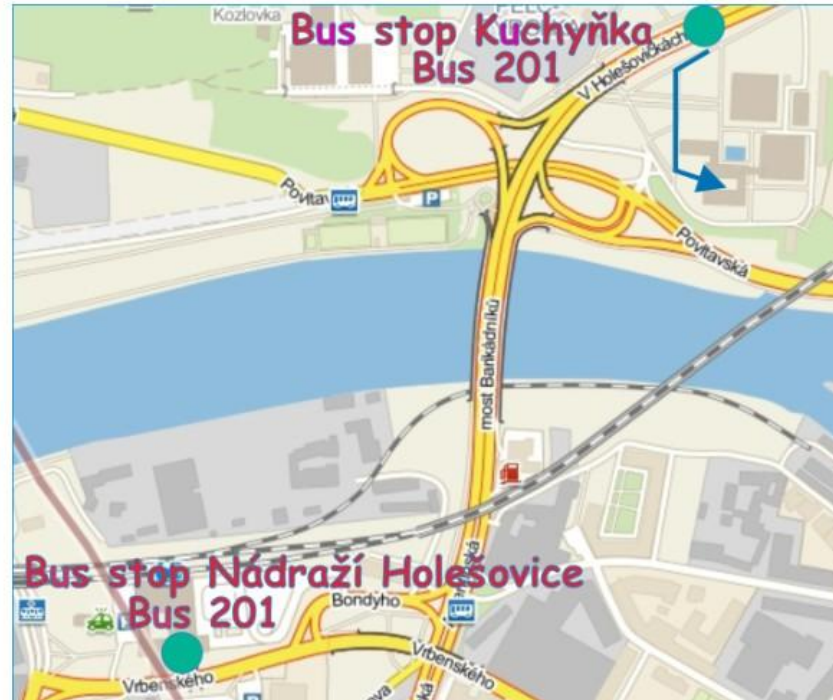
vyuka@ReaktorVR1.eu +420 221 912 404, +420 221 912 392

Věda a výzkum na reaktoru VR-1

vyzkum@ReaktorVR1.eu +420 221 912 385

Kde nás najdete

Školní reaktor VR-1 najdete v objektu Matematicko - fyzikální fakulty UK v Praze a FJFI v Troji (na Pelc-Tyrolce) v bezprostřední blízkosti řeky Vltavy u mostu Barikádníků. Reaktor se nachází v objektu těžkých laboratoří v bloku L.





[Úvodní stránka](#)

[Aktuální provoz](#)

[Výuka na reaktoru](#)

[Výzkum a vývoj](#)

[Exkurze na reaktor](#)

[Uživatelé reaktoru](#)

[Popis reaktoru](#)

[Bezpečnost reaktoru](#)

[Otevřený přístup](#)

[Fotogalerie](#)

[Dokumenty ke stažení](#)

[Katedra reaktorů](#)

[Odkazy](#)

[Kontakty a spojení](#)

[English version](#)

Základní parametry a vybavení reaktoru

Jmenovitý výkon	1 kW tepelný, krátkodobě 5 kW tepelných
Palivo	typ IRT 4M, obohacení 19,7 % U-235
Reaktorové nádoby	vyrobeny z nerezového materiálu
- průměr nádob	2 300 mm
- výška nádob	4 720 mm
- tloušťka stěn	15 mm
- tloušťka dna	20 mm
Stínění reaktoru	voda a těžký beton
- vertikální	přibližně 3 000 mm vody
- horizontální	přibližně 850 mm vody + 950 mm zvlášť těžký beton
Teplota v reaktoru	přibližně 20 stupňů C (podle teploty okolí)
Chlazení reaktoru	pouze přirozenou konvekci
Tlak	atmosférický
Neutronový zdroj	Am-Be, 185 GBq
Regulační systém	5-7 absorpčních (regulačních) kadmiových tyčí UR-70
Měření výkonu	čtyři širokopásmové štěpné komory RJ 1300 pro detekci neutronů
Výkonová ochrana	čtyři impulzní bórové komory SNM-12 pro detekci neutronů
Hustota toku neutronů	závisí na konfiguraci paliva a typu experimentů (průměrné hodnoty)
- tepelné neutrony	přibližně $2.10 \cdot 10^9$ n/cm ² .s-1 v centru aktivní zóny
- rychlé neutrony	přibližně $1.10 \cdot 10^9$ n/cm ² .s-1 v centru aktivní zóny
Experimentální vybavení	nejvýznamější experimentální zařízení reaktoru:
	- radiální horizontální kanál o průměru 200 mm
	- tangenciální horizontální kanál o průměru 100 mm
	- vertikální kanály různých průměrů (56, 32, 25 a 12 mm)
	- beryliové a grafitové bloky
	- potrubní pošta pro ozařování malých vzorků
	- zařízení pro detekci zpožděných neutronů
	- zařízení pro studium dutinového koeficientu reaktivity
	- zařízení pro studium dynamiky reaktoru
	- zařízení pro měření aktivity vzorků ve tvaru drátu
	- TLD zařízení pro studium gama polí



[Úvodní stránka](#)

[Aktuální provoz](#)

[Výuka na reaktoru](#)

[Výzkum a vývoj](#)

[Exkurze na reaktor](#)

[Uživatelé reaktoru](#)

[Popis reaktoru](#)

[Bezpečnost reaktoru](#)

[Otevřený přístup](#)

[Fotogalerie](#)

[Dokumenty ke stažení](#)

[Katedra reaktorů](#)

[Odkazy](#)

[Kontakty a spojení](#)

[English version](#)

Experimentální vybavení reaktoru

Experimentální vybavení reaktoru, přístrojové vybavení a manipulační prostředky odpovídají typu reaktoru, jeho výkonu a využívání reaktoru. Původní vybavení reaktoru bylo v průběhu sedmnácti let provozu postupně doplňováno a inovováno tak, aby odpovídalo současné úrovni techniky a elektroniky a aby umožňovalo jeho co nejšířší využívání. Mezi nejvýznamnější experimentální vybavení reaktoru patří:

- radiální horizontální kanál o průměru 200 mm se zátkou možnost redukce na 90 mm,
- tangenciální horizontální kanál o průměru 100 mm se zátkou a vloženým kanálem, který navazuje na úchyty tangenciálního kanálu a zasahuje do bezprostřední blízkosti aktivní zóny,
- vertikální kanály různých průměrů (56, 32, 25 a 12 mm), které mohou být zavedeny do aktivní zóny nebo reflektoru, kanály o průměru 56 mm jsou vybaveny zařízením pro odstínění záření,
- beryliové a grafitové bloky,
- obrysové makety palivových článků,
- potrubní pošta,
- experimentální zařízení DOJIČKA pro detekci zpožděných neutronů,
- experimentální zařízení BUBLINKY pro simulaci bublinkového varu a studium dutinového koeficientu reaktivity,
- experimentální zařízení HOPÍK pro studium rychlých změn reaktivity ve výzkumných reaktorech s malým výkonem,
- experimentální zařízení DRÁT pro měření aktivity vzorků ve tvaru drátu,
- experimentální zařízení B417 pro studium neutronických vlastností transmutačních materiálů,
- lapač neutronů se zavážecím vozem pro manipulaci se zátkami radiálního a tangenciálního kanálu,
- manipulační prostředky.



Experimentální zařízení DOJIČKA pro detekci zpožděných neutronů

Mezi přístrojové vybavení reaktoru, které odpovídá požadavkům na stávající využívání reaktoru, patří několik mnohakanálových analyzátorů různého typu, tříkanálový analyzátor, polovodičový HPGe gama spektrometr, scintilační a polovodičové detektory, měřič nízkých aktivit, přenosné dozimetrické přístroje, aktivační materiály, kadmiová pouzdra, štěpné a bórové komory apod. Přístrojové vybavení doplňuje výpočetní techniku založenou na osobních počítačích vzájemně propojených vysokorychlostní sítí Ethernet 100Mb/s.



[Úvodní stránka](#)

[Aktuální provoz](#)

[Výuka na reaktoru](#)

[Výzkum a vývoj](#)

[Exkurze na reaktor](#)

[Uživatelé reaktoru](#)

[Popis reaktoru](#)

[Bezpečnost reaktoru](#)

[Otevřený přístup](#)

[Fotogalerie](#)

[Dokumenty ke stažení](#)

[Katedra reaktorů](#)

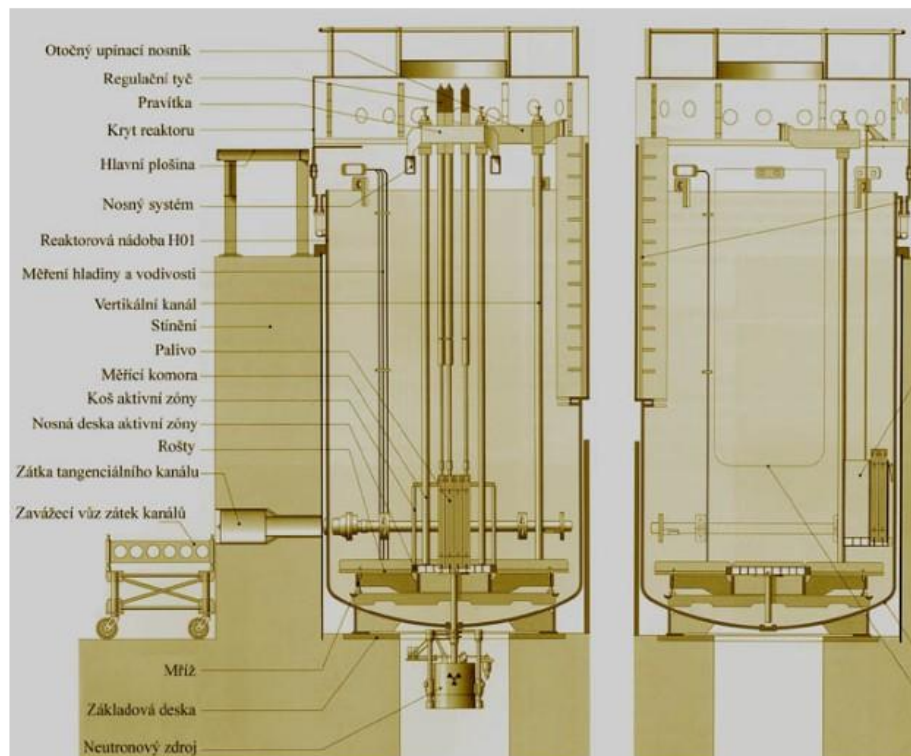
[Odkazy](#)

[Kontakty a spojení](#)

[English version](#)

Nádoby reaktoru

V nádobě H01 se nachází aktivní zóna reaktoru s jaderným palivem a regulačními tyčemi. Je určena pro provoz reaktoru. Nádoba H02 slouží jako manipulační. Je v ní možné připravovat experimenty a odkládat palivové články. Obě nádoby jsou stejné, pouze nádoba H01 má navíc průchodky pro radiální a tangenciální kanál. Nádoby jsou vyrobeny z nerezavějící oceli, jsou propojitelné koridorem, do kterého se vkládá hradítko sloužící k oddělení obou nádob.



Řez reaktorovými nádobami H01 a H02

Vnitřní části reaktoru jsou vyrobeny z nerez oceli až na nosnou desku aktivní zóny, která je vyrobená z hliníku. Vnitřní části jsou stejné pro obě nádoby H01 i H02, pouze v nádobě H01 je navíc koš aktivní zóny a nosný systém regulace. Nosný systém aktivní zóny v každé nádobě je určen k nesení roštů a nosné desky aktivní zóny, je největší a nejtěžší součástí nádoby H01. Nosná deska aktivní zóny slouží k jednoznačnému ustavení spodních koncovek palivových článků, které tvoří aktivní zónu. Do nosné desky se také vkládají hydraulické tlumiče regulačních tyčí, které mohou sloužit i k fixaci přesné polohy vertikálních ozařovacích kanálů.



[Úvodní stránka](#)

[Aktuální provoz](#)

[Výuka na reaktoru](#)

[Výzkum a vývoj](#)

[Exkurze na reaktor](#)

[Uživatelé reaktoru](#)

[Popis reaktoru](#)

[Bezpečnost reaktoru](#)

[Otevřený přístup](#)

[Fotogalerie](#)

[Dokumenty ke stažení](#)

[Katedra reaktorů](#)

[Odkazy](#)

[Kontakty a spojení](#)

[English version](#)

Regulační tyče

Regulační (absorbční) tyč UR-70 má integrální provedení a je určena pro použití v bazénových reaktorech s palivem typu IRT-M. Tyč je zavěšena na pravítku nosného systému regulace a spodní zúženou částí, tzv. vedením absorbátoru prochází šestitrubkovým palivovým článkem. Pohon tyče zajišťuje rotační krokový motor se snímačem polohy pomocí výklopného ozubeného pastorku, který je elektromagnetem udržován v záběru s ozubeným hřebem nesoucím absorbátor.

Při podání bezpečnostního signálu dochází ke ztrátě napájení magnetů, vysmeknutí ozubeného pastorku a zasunutí absorbátoru volným pádem do aktivní zóny. Pád je zabrzděn progresivním hydraulickým tlumičem. Dolní koncová poloha absorbátoru je světelně signalizována na ovládacím pultu. Tato signalizace, jako nejdůležitější doklad o tyči v dolní koncové poloze (zastavení reaktoru), je napájena ze systému zajištěného napájení 48 Vss. Rychlost pohybu absorbátoru je měnitelná v širokém rozsahu. Absorbátor je tvořen uzavřenou ocelovou trubkou, do které je vsunuta hliníková vložka s navinutým kadmiovým plechem.



Rozebraná regulační tyč UR-70 při provozní kontrole

Celkový počet regulačních tyčí UR-70 je sedm. Tyče jsou konstrukčně shodné, liší se pouze funkcí, určenou způsobem zapojení do ovládacího zařízení. Tři tyče jsou vždy zapojeny jako tyče bezpečnostní (označené B1, B2 a B3) a dvě tyče jako regulační (R1 - první regulační a R2 - druhá regulační). Podle typu aktivní zóny a typu prací vykonávaných na reaktoru může být v reaktoru jedna, dvě nebo žádná experimentální tyč (E1, E2), které slouží ke kompenzaci vlivu experimentálního zařízení na reaktivitu, příp. k dobudování AZ do žádoucího tvaru, při dodržení limitů a podmínek. V případě provozu v automatickém režimu je automatický regulátor zapojen na tyč R1.





ÚJV Řež, a. s.

Mapa stránek



Hledat

[Hlavní strana](#)

[O společnosti](#)

[Služby a výzkum](#)

[Skupina ÚJV](#)

[Kariéra a vzdělávání](#)

[Infocentrum](#)

[Kontakty](#)



Jaderná bezpečnost a spolehlivost

Integrita a technický inženýring

Projektční a inženýrské služby

Odpady a chemie palivového cyklu

Reaktorové služby

Radiofarmaka

Akreditované laboratoře

Centrální analytická laboratoř

Vědeckotechnický park

Archiv a knihovna

Služby a výzkum

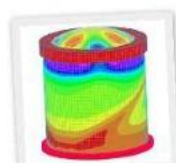
Služby a výzkum

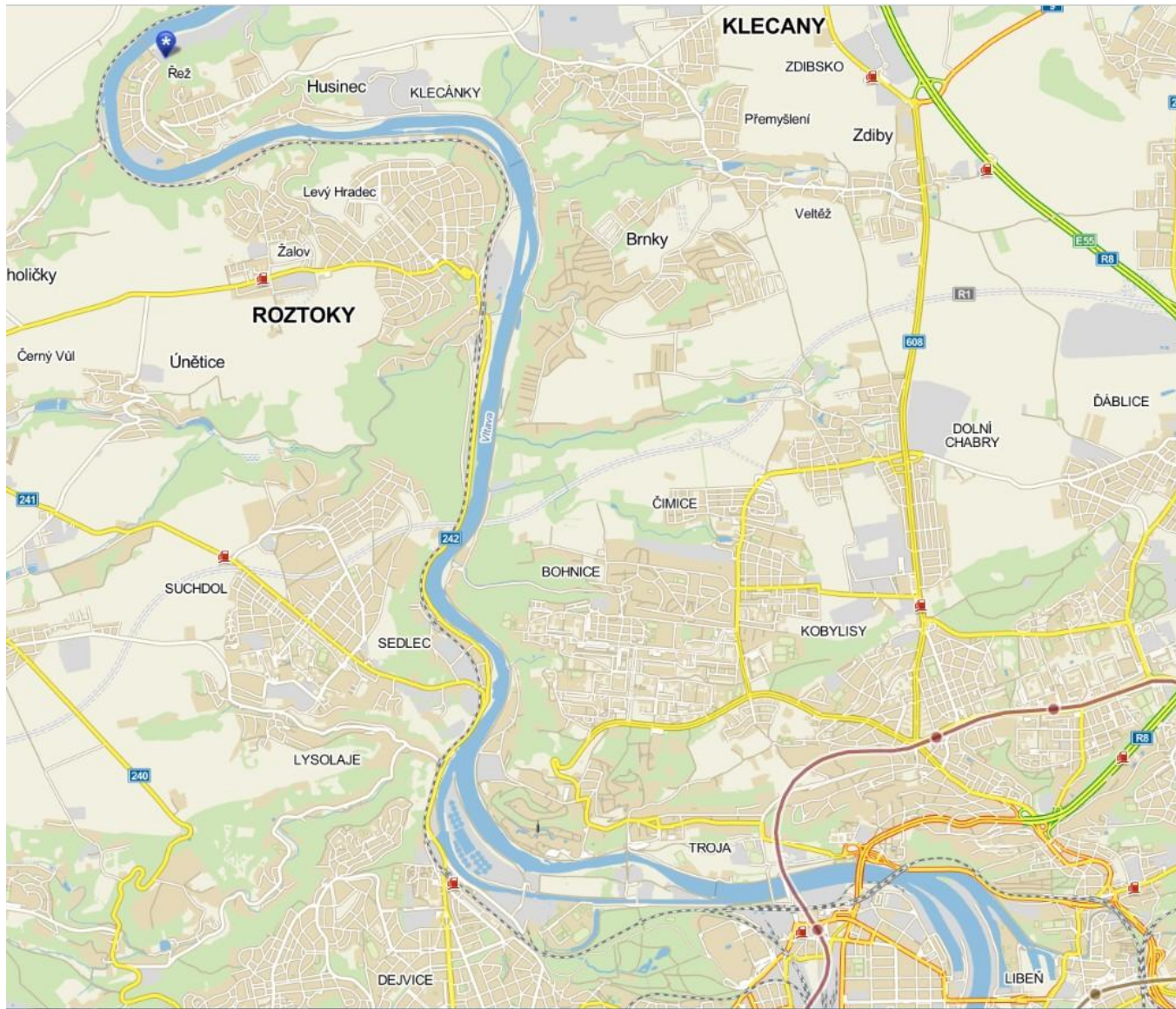
ÚJV Řež, a. s. ve spolupráci se čtyřmi dceřinými organizacemi [ŠKODA výzkum Pízeň s.r.o.](#), [Ústav aplikované mechaniky Brno, s.r.o.](#), [Centrum výzkumu Řež s.r.o.](#) a [EGP INVEST, spol. s r.o.](#) Uherský Brod zajišťuje širokou škálu aktivit a služeb pro energetiku, zejména jadernou, ale i pro další průmyslová odvětví a zdravotnictví.

Jedná se o využití aplikovaného výzkumu s využitím unikátní výzkumné infrastruktury ústavu, specializovaných služeb a projektční prací. Jeho příklad možno uvést vývoj vodíkového autobusu (Trihybus), který dostal v roce 2010 Zlatou medaili na Mezinárodním strojírenském veletrhu Brně a projekt a výrobu tzv. horkých komor pro mezinárodní reaktor Jules Horowitz, který se buduje v Cadarache ve Francii. V jaderné energetice se jedná o zvyšování výkonu JE Temelín a v Dukovanech a o prodlužování životnosti elektrárny o dalších 20 – 30 let.

V oblasti zdravotnictví je to budování třetího PET centra, po Praze a Brně, přímo v lokalitě Řež a aktivní účast při výrobě techneciových generátorů, kterých je ve světě nedostatek pro lékařskou diagnostiku ozařováním vysoce obohaceného uranu na reaktoru LVR – 15.

Toto je jen několik příkladů projektů ÚJV Řež, a. s., jenž své aktivity dále rozšiřuje.







- Jaderná bezpečnost a spolehlivost
- Integrita a technický inženýring
- Projektční a inženýrské služby
- Odpady a chemie palivového cyklu
- Reaktorové služby
- Služby v oblasti reaktorové techniky

Reaktor LR-0

Superkritická vodní smyčka pro reaktory IV. generace

Vysokoteplotní héliová smyčka HTHL

Olovo-lithiová smyčka MeLiLo

- Ozařovací služby reaktoru LVR-15
- Materiálový ozařovací výzkum a služby
- Výroba radioizotopů a značených látek
- Vodní režimy jaderných a klasických elektráren

Radiofarmaka

Akreditované laboratoře

Centrální analytická laboratoř

Vědeckotechnický park

Archiv a knihovna

Reaktor LR-0

Služby a výzkum » Reaktorové služby » Služby v oblasti reaktorové techniky » Reaktor LR-0

REAKTOR LR-0

Reaktor LR-0 je lehkovodní reaktor nulového výkonu. Slouží jako experimentální reaktor pro měření neutronově fyzikálních charakteristik reaktorů typu VVER a PWR (Vodovodní energetický reaktor a Pressurized Water Reactor). Poskytuje vědeckotechnickou základnu pro experimenty v oblasti fyziky aktivní zóny a stínění lehkovodních reaktorů typu VVER (Temelín, Dukovany a další reaktory ruské konstrukce), PWR („západní“ konstrukce) a experimenty související se skladováním vyhořelého paliva z jaderných elektráren a s perspektivními směry v jaderné energetice. Reaktor LR-0 je řešen univerzálním způsobem, vhodným pro realizaci fyzikálních experimentů na aktivních zónách typu VVER v širokém rozsahu počtu kazet, obohacení paliva, s různou koncentrací H_3BO_3 v moderátoru, s různým uspořádáním absorpčních elementů v kazetách apod. Velmi důležitou součástí výzkumu je modelování a experimentální ověřování radiačního poškození materiálů vnitroreaktorové vestavby a reaktorových nádob VVER.

V projektu reaktoru LR-0 byly respektovány specifické požadavky vyplývající jednak z hlediska zajištění jaderné bezpečnosti všech provozních stavů a jednak z jeho určení k fyzikálnímu výzkumu aktivních zón typu VVER.

V současné době se připravují experimenty s tzv. vložitelnými zónami pro experimenty v rámci vývoje reaktoru čtvrté generace.

Základní charakteristiky

- Maximální výkon (1 hod.) 5 kW
- Maximální tok tepelných neutronů $10^{13} \text{ n.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$
- Pokojová teplota (nebo ohřev do 70°C), atmosférický tlak
- Reaktorová nádoba: A 3,5 m, výška 6,5 m
- Palivo: zkrácené rozebíratelné palivové kazety
- VVER-1000 (JE Temelín) a VVER-440 (JE Dukovany)
- obohacení 1,6 - 4,4 % U^{235}
- Palivové články v kazetě jsou naplněny tabletami UO_2
- aktivní délka 1250 mm
- pokrytí A 9.15x 0.72 mm (ZrNb)
- Řízení: hladinou moderátoru
- absorpční klastry (B_4C tablety)
- kyselina boritá (H_3BO_3) v moderátoru (0 až 12 g/kg)
- Stínění: betonový bunkr, kadmiový plech, pojízdné plošiny a vrata



Neutronový zdroj ke spouštění reaktoru

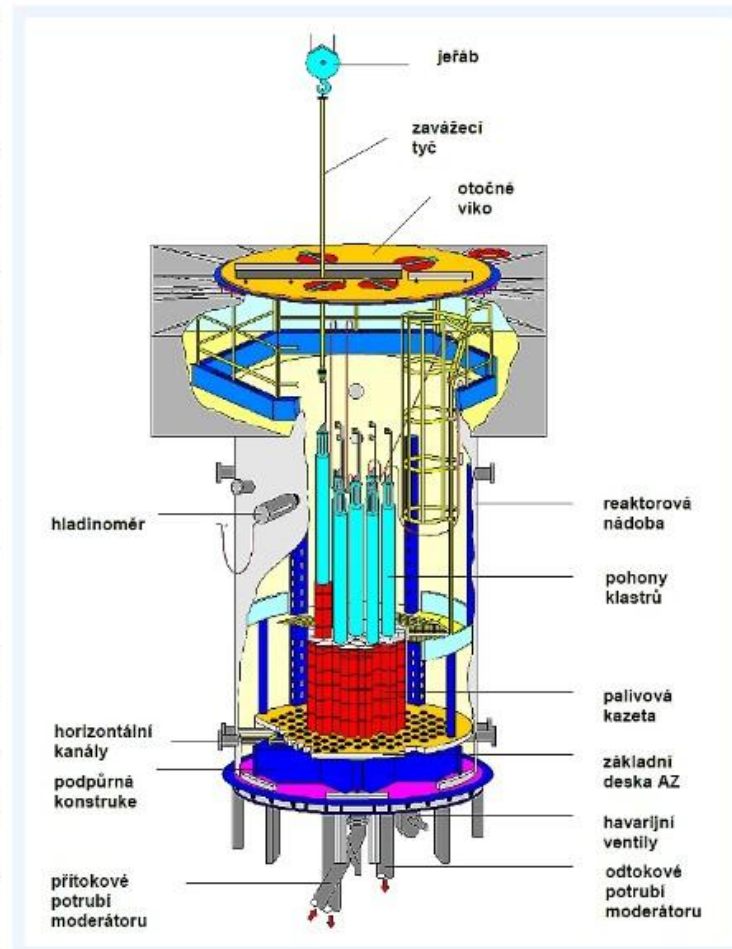
Je použit zdroj typu $^{241}\text{AmBe}$ s emisí $6,6 \cdot 10^6$ neutronů s^{-1} . Je umístěn v kontejneru pod nádobou reaktoru, pro spouštění reaktoru se mechanicko-pneumaticky zasouvá do reaktoru a poskytuje první neutrony pro bezpečný start štěpné řetězové reakce. Po spuštění a stabilizaci řetězové reakce je neutronový zdroj na povel operátora vysunut z aktivní zóny a za provozu se už nepoužívá.

Dozimetrie

K monitorování radiační situace v bezprostředním okolí reaktoru slouží dozimetrický systém USIT, který měří dávkový příkon záření beta a gama. Je vybaven varovnou zvukovou a světelnou signalizací při překročení nastavených limitů.

Přehled projektů na LR-0

- **Měření rozložení toku neutronů v proutcích a kazetách** s a bez absorpčních klastrů – po výšce i po poloměru. Slouží pro kontrolu a odladění výpočetních modelů („benchmarková měření“), studium vyhoření článků, aj.
- **Skladování vyhořelého paliva** – experimentální ověření jaderné bezpečnosti ve vztahu k navržené geometrii a různým absorbujičím materiálům.
- **Modely kazet VVER-440 a VVER-1000** – měření rozložení neutronového toku z hlediska biologického stínění a dalších dozimetrických účelů (např. měření dávek na tlakovou nádobu reaktoru).
- **Časoprostorova kinetika** pro sestavování benchmarkových dat a kódů.
- **Výzkum a ověřování fyzikálních parametrů reaktorů** – integrální a diferenciální efektivity řídicích a havarijních tyčí, kritická výška hladiny, hladinový koeficient reaktivity.
- **Experimenty s novými návrhy rozložení palivových kazet** - zkoumání vlivu a rozložení neutronového toku na materiály v nově navrhovaných kazetách při různém rozložení palivových proutků.
- **Vliv regulačních kazet v zónách VVER 440** – měření rozložení neutronového toku v palivu s částečně vloženou regulační kazetou.
- **Studie vyhořivajících absorbátorů Gd a CrB_2** – měření rozložení výkonu při provozu s těmito absorbéry.
- **Měření rozložení neutronových toků v člancích s tavnými solemi** pro program SPHINX jako součásti mezinárodní spolupráce na projektu EUROATOM.



REAKTOR LVR-15

LVR-15 je výzkumný lehkovodní reaktor tankového typu umístěný v beztlakové nádobě pod stínícím víkem, s nuceným chlazením a s provozním tepelným výkonem do 10 MW.



Pohled na reaktor LVR-1

Historie

Předchůdcem reaktoru LVR-15 byl výzkumný reaktor VVR-S o jmenovitém tepelném výkonu 2 MW. Palivem v tomto reaktoru byl proutkový typ EK-10 s obohacením 10 % izotopu ^{235}U . V letech 1987 – 1989 proběhla přestavba reaktoru VVR-S na LVR-15, kdy byla vyměněna všechna technologická zařízení včetně nádoby reaktoru. Původní nádoba byla hliníková, nová nádoba je již z nerez oceli. Palivem pro nový reaktor byl typ IRT-2M. V první fázi bylo obohacení paliva izotopem ^{235}U 80 %, v druhé fázi pak 36 %. V roce 1989 byl zahájen zkušební provoz a od roku 1995 je reaktor v trvalém provozu.

Účel reaktoru

LVR-15 je výzkumné jaderné zařízení využívané pro potřeby výzkumu a průmyslu v těchto oblastech:

materiálový a fyzikálně metalurgický výzkum (ozařování materiálů TNR, korozní zkoušky materiálů primárního okruhu a vnitřních vestaveb jaderných elektráren) v experimentálních smyčkách a sondách

- testy vodních režimů primárních okruhů jaderných elektráren
- neutronová aktivační analýza (používaná ke stanovení složení látek)
- výroba a vývoj nových radiofarmak (^{153}Sm , ^{161}Tb , ^{165}Dy , ^{166}Ho , ^{169}Er , ^{60}Co , ^{192}Ir , ^{182}Ta , ^{198}Au)
- výroba křemíku neutronovým legováním pro elektrotechnický průmysl (dopování křemíku fosforem s využitím ozařování neutrony výrazně zlepšuje homogenitu měrného odporu oproti jiným metodám)
- ozařovací servis (výroba radioizotopů - ^{99}Mo - ^{99m}Tc , ^{113}Sn - ^{113m}In , ^{188}W - ^{188}Re)
- neutronová radiografie
- vědecký výzkum vlastností materiálů na horizontálních kanálech (neutronová fyzika a fyzika pevné fáze)
- neutronová záchytová terapie (ozařování pacientů s mozkovým nádorem typu glioblastoma)

Svazky neutronů vyváděné z reaktoru horizontálními kanály využívají vědečtí pracovníci z Ústavu jaderné fyziky ČAV a FJFI ČVUT pro následující experimenty:

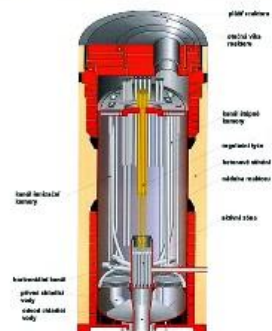
- neutronové měření struktur a textur při pokojových a heliových teplotách
- neutronové hloubkové profilování, studium okamžitého záření gama z radiačního záchytu neutronů
- neutronová optika, neutronová topografie
- měření textur v polykrystalických kovových materiálech
- studium strukturálních nehomogenit metodou maloúhlového rozptylu neutronů
- neutronová interferometrie
- studium lokálních napětí v polykrystalických materiálech

Popis reaktoru

Reaktor je konstruován jako zařízení se životností nádoby 30 let. Nádoba je vyrobena z nerez oceli (08CH18N10T). Horizontální kanály, nosná deska aktivní zóny a plášť aktivní zóny je vyroben z hliníku o čistotě 99 %. Nosná litinová deska, která je upevněna v šachtě reaktoru, zůstala po rekonstrukci VVR-S na LVR-15 beze změny, výřezy v této desce určují polohu hrdel a trubek, které z nádoby vycházejí pro připojení primárního okruhu.

Stínění reaktoru v radiálním směru je tvořeno vrstvou vody o síle 0,8 m, vrstvou litiny o tloušťce 0,2 m a vrstvou těžkého betonu tloušťky asi 2,3 m. V axiálním směru je tvořeno v horní části vrstvou vody nad aktivní zónou o tloušťce 3,5 m a vrstvou ocelolitiny o síle 0,8 m (víkem). Ve spodní části pak vrstvou 1 m vody pod aktivní zónou a litinovou deskou pod nádobou.

Reaktor je provozován po kampaních, jedna kampaň trvá 3 týdny, pak je reaktor týden odstaven a probíhá přestavba aktivní zóny a s tím spojené činnosti. Maximální tepelný výkon reaktoru je 10 MW.



Obr. 2: Řez reaktorem LVR-1

Základní parametry nádoby:

vnější průměr	2300 mm
výška	5760 mm
tloušťka stěny	15 mm
tloušťka dna	20 mm
objem vody v nádobě	22 m ³
hmotnost nádoby bez vody	7900 kg

Aktivní zóna

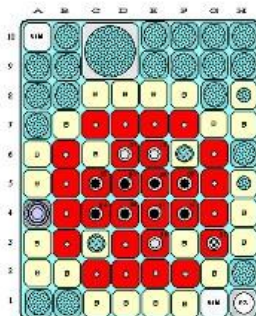
Je tvořena hliníkovým košem (tzv. separátorem), do kterého jsou zakládány palivové články, beryliové bloky, hliníkové vytěsnitele a ozařovací kanály. Střed aktivní zóny je umístěn cca 1,4 m nad dnem reaktoru. Mříž aktivní zóny má krok 71,5 mm a je uspořádána do tvaru obdélníku 8 x 10 buněk.

Na obr. 3 je znázorněn kartogram aktivní zóny. 28 – 32 buněk je osazeno palivovými soubory, ve 12 palivových souborech jsou regulační tyče, 4 buňky mezi palivem jsou určeny pro kanály sond, na periferii aktivní zóny jsou umístěny aktivní kanály experimentálních smyček, rotační kanál pro ozařování křemíku, potrubní pošta a vertikální ozařovací kanály. Ostatní buňky jsou osazeny beryliovými reflektory nebo vodními vytěsniteli.

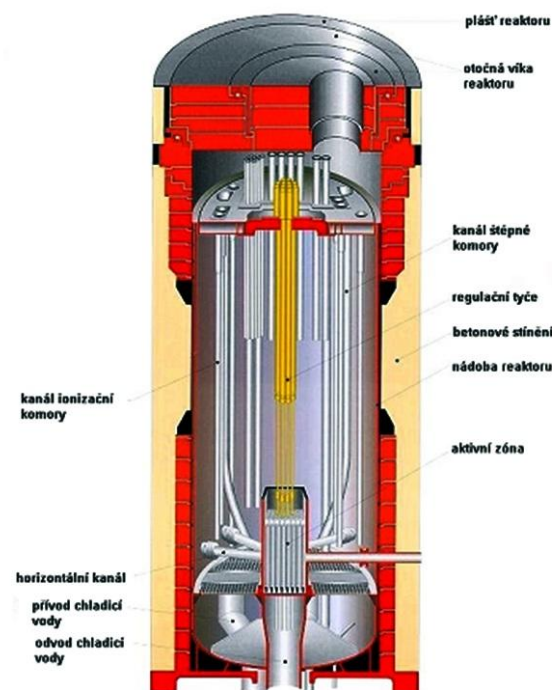
Pozn. Modré Čerenkovovo záření, které můžeme v reaktoru vidět, je elektromagnetickou obdobou zvukové rázové vlny. Vzniká při rozpadu dceřiných produktů štěpení. Tyto produkty se rozpadají beta rozpadem a právě beta záření (tj. elektrony) je tvůrcem modrého světla, neboť se ve vodním prostředí pohybuje nadsvětelnou rychlostí.



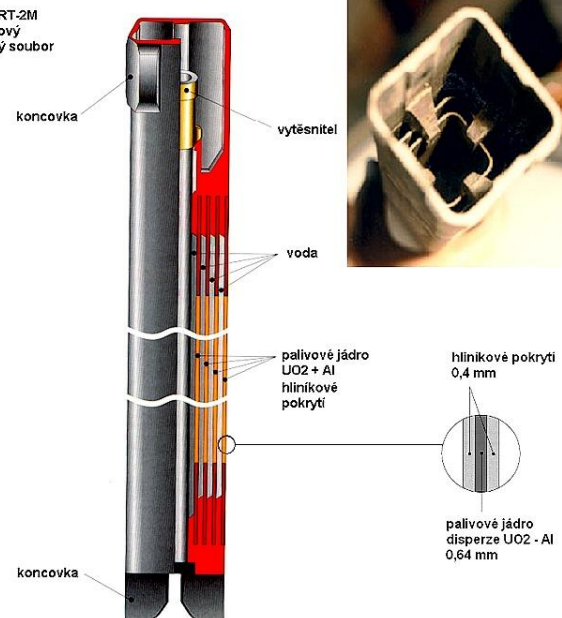
Obr. 3: Pohled do aktivní zóny na Čerenkovovo záření



Obr. 4: Kartogram aktivní zóny



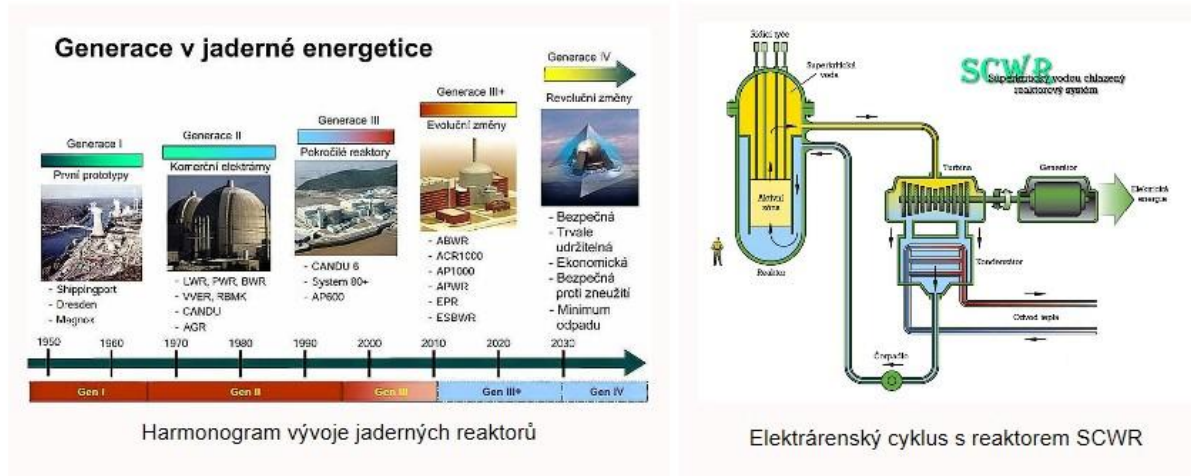
palivo IRT-2M
4-trubkový
palivový soubor



Superkritická vodní smyčka SCWL

Superkritická vodní smyčka SCWL (z anglického SuperCritical Water Loop), je experimentální zařízení sloužící k simulaci fyzikálních a chemických parametrů superkritického vodního reaktoru SCWR. Superkritický vodní reaktor (Supercritical-Water-Cooled Reaktor – SCWR) je vodou chlazený jaderný reaktor IV. generace, který jako chladivo a moderátor používá vodu s parametry nad kritickým bodem (374°C; 22,1 MPa). V současných tlakovodních jaderných reaktorech se parametry chladiva pohybují na výrazně nižších hodnotách: teplota nepřesahuje 350°C a tlak se drží do 16 MPa (cca. 160 atmosfér). Takto výrazný nárůst parametrů chladiva umožňuje zvýšit účinnost tepelného cyklu, je však také spojen s problematickou volbou konstrukčních materiálů.

Jaderné reaktory IV. generace, mezi něž patří i SCWR, jsou vyvíjeny v rámci mezinárodní iniciativy Generation IV International Forum (GIF) a částečně také v projektu IAEA Innovation Nuclear Reactor & Fuel Cycle Project (INPRO), a rámcovém programu Evropské komise Sustainable Nuclear Energy Technology Platform (SNE-TP) a dalších. S jejich komerčním nasazením se předběžně počítá po roce 2030.



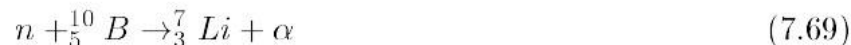
V rámci GIF se vyvíjí šest reaktorů IV generace: Vysokoteplotní heliový reaktor (VTHR), Plynem chlazený rychlý reaktor (GFR), Reaktor chlazený tekutými solemi (MSR), Reaktor chlazený tekutým olovem (LFR), Sodíkový rychlý reaktor (SFR), Superkritický vodní reaktor (SCWR).

Jaderné reaktory IV. generace by v sobě měly spojit často až protichůdné technicko-ekonomické požadavky, za dodržení vysoké životnosti a vysoké bezpečnosti provozu dodávat levnou energii nejen v podobě elektrické energie. Skrývají tak mnoho problémů, na něž se vědci a technici na celém světě pokusí v následujících letech odpovědět. Jejich úspěšná realizace zajistí pokrytí stále rostoucích požadavků na dodávku energetických produktů za ceny konkurenceschopné dalším energetickým odvětvím.

SCWR je nadějná pokročilá technologie k produkci elektrické energie, která staví na již používaných technologiích z uhlé energetiky a rozšiřuje parametry dnes nejvíce používaných typů jaderných reaktorů (**PWR** a **BWR**), které tvoří asi 80% současně reaktorové flotily. SCWR může být koncipován jednak jako rychlý jaderný reaktor s uzavřeným palivovým cyklem nebo jako tepelný reaktor s otevřeným palivovým cyklem – obě varianty jsou technologicky možné, byť je v současné době hlavně dáván důraz na tepelný typ.

7.21 Detektory jaderného záření

Všechny metody detekce záření využívají interakce jaderného záření s prostředím. Protože bezprostředně je možno registrovat pouze nabitě částice, je nutno neutrální částice nejprve konvertovat na nabitě částice. V případě neutronů se k tomu využívá jaderných reakcí, nejčastěji reakce



7.22 Počítače založené na ionizaci prostředí

Při průchodu pracovní oblastí detektoru vytváří nabitá částice podél své dráhy páry iontů. Počet párů iontů je úměrný energii částice a měrné ionizaci částice. Podle pracovního prostředí dělíme počítače založené na ionizaci na tři typu:

1. plynové,
2. polovodičové
3. scintilační

7.23 Plynové počítače

Plynový počítač je v podstatě kondenzátor naplněný plynem, na který je přivedeno vysoké napětí – řádově kV. Při průchodu částice vznikají ionty, které se sbírají na elektrodách. Záření lze tedy registrovat buď změřením proudu I , procházejícího obvodem, nebo napěťových pulsů U_p na pracovním odporu R , odpovídajících průchodu jednotlivých částic. Pokud proud, procházející

obvodem, odpovídá pouze iontům vzniklým při průchodu částice, mluvíme o tzv. ionizačních komorách. Při zvýšení napětí na detektoru bude v pracovním prostoru docházet k sekundární ionizaci a počet iontů sebraných na elektrodách se bude k-krát zvětšovat. Tyto počítače se nazývají proporcionální počítače. Při práci s neutrony dosáhly velkého rozšíření proporcionální počítače plněné BF_3 . Při dalším zvyšování napětí na detektoru bude již sekundární ionizace tak velká, že již při vzniku jednoho páru iontů dojde k zaplnění celého pracovního objemu detektoru objemovým nábojem. Počítače, pracující v tomto režimu se nazývají Geiger-Mullerovy počítače.

7.24 Polovodičové detektory

Schéma polovodičového detektoru je obdobné jako u detektoru plynového, aktivní oblastí detektoru je však polovodič. Při průchodu částice polovodičem dochází k přechodu elektronů z valenčního pásu do vodivostního pásu. Tím vznikne pár elektron-díra, který představuje záporné a kladné nosiče náboje. Sebráním náboje na elektrodách pak vznikne elektrický puls, který je dále detekován.

7.25 Scintilační detektory

Scintilační detektory využívají fluorescenčních vlastností některých látek. Při ionizaci, vyvolané nabitou částicí, vznikají ve scintilátoru excitace, z nichž část přechází do normálního stavu přes zářivá centra, schopná emitovat viditelné nebo ultrafialové záření. Záblesk v scintilátoru je pak detekován fotonásobičem.

7.26 Jaderné fotoemulze

Ionizující částice aktivuje při průchodu bromid stříbrný a vytváří latentní obraz, který lze po vyvolání pozorovat.

<http://astronuklfyzika.cz/DetekceSpektrometrie.htm>

Energetika ČR - základní údaje		
Ukazatel	1.-7.2012	1.-7.2011
Instalovaný výkon (MW)	20 290,6	20 132,9
Výroba brutto (GWh)	52 629,0	50 496,6
Spotřeba brutto (GWh)	41 427,7	41 040,4
Dovoz elektřiny (GWh)	6 522,8	4 363,1
Vývoz elektřiny (GWh)	17 723,8	14 448,5

Zdroj: Energetický regulační úřad

Výroba a instalovaný výkon – detail				
Typ zdroje	Instalovaný výkon (MW)		Výroba (GWh)	
	k 31.7. 2012	k 31.7. 2011	1.-7.2012	1.-7.2011
Parní elektrárny	10 632,7	10 775,6	28 897,2	28 257,1
Jaderné elektrárny	4 040,0	3 900,0	17 682,1	16 688,30
Vodní elektrárny	2 203,7	2 199,5	1 847,7	1 726,2
Plynová elektrárna	1 212,9	1 066,3	2 501,6	2 216,7
Fotovoltaická elektrárna	1 976,7	1 974,4	1 440,5	1 385,7
Větrné elektrárny	224,7	217,1	259,9	222,6
Celkem	20 290,6	20 132,9	52 629,0	50 496,6

San Men AP1000 Site View

China Nuclear Power Station

2011: 10GW

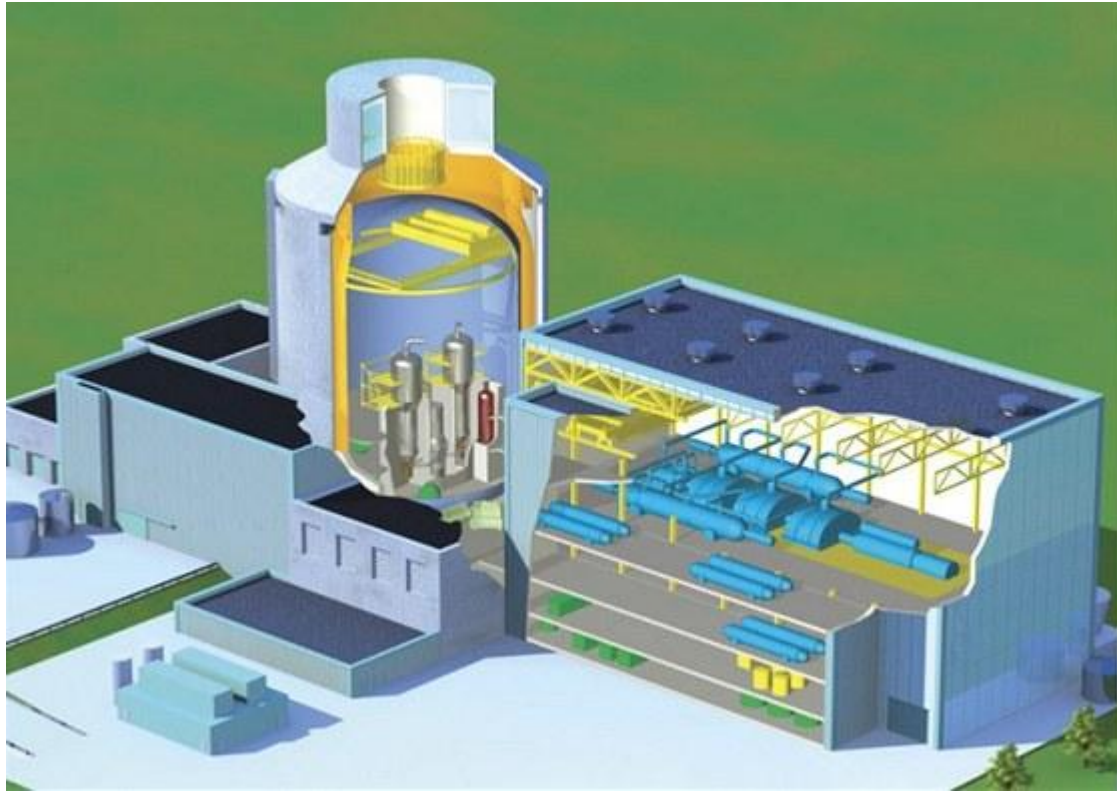
2015: 40GW

2020: 70GW

Režim zobrazení na celou obrazovku ukončíte stisknutím klávesy Esc.



Jiang Mianheng gave the lead-off presentation at the International Thorium Energy Organization 2012 meeting in Shanghai, sponsored by the Shanghai Institute of Nuclear and Applied Physics and the Chinese Academy of Sciences (CAS). Jiang Mianheng is the son of former president Jiang Zemin and a leader of CAS. After publication of *Liquid Fluoride Thorium Reactors* in the July/August 2010 American Scientist he led a delegation to Oak Ridge National Laboratory to learn more about the ORNL molten salt reactors experience. In January 2011 the CAS announced a \$350 million 5 year thorium MSR project engaging 400 people.



Reaktor AP1000 od Westinghousu má kontejnment ocelový, takže jeho vnější plocha může sloužit pro odvod tepla v případě havárie. Budova obklopující kontejnment je pouze schránkou, která slouží jako ochrana před vnějšími událostmi, například nárazem letadla. V horní části budovy musí být otvor, kterým proudí ke kontejnmentu vzduch používaný ke chlazení. Reaktor od Westinghousu je pro případ havárie chráněn pasivními bezpečnostními prvky, které budou fungovat i v případě výpadku proudu v objektu elektrárny. Chlazení kontejnmentu vzduchem funguje díky komínovému efektu a závisí jen na dostatečně velkém otvoru v budově kolem kontejnmentu. Pokud samotný vzduch k chlazení nepostačuje, je kontejnment skrápěn vodou z velkoobjemové nádrže umístěné v horní části budovy.



Reaktory MIR, které využívají kontejnment z předepjatého betonu s vnitřní ocelovou výstelkou. Uzavřená budova kolem kontejnmentu pak chrání reaktor před přírodními haváriemi nebo před teroristickým útokem. Na vnější straně ochranné budovy jsou pak umístěny výměníky na vodu, která díky gravitaci i bez dodávek proudu může v případě havárie odvádět z reaktoru teplo. Česko-ruský projekt také počítá s velkým zálohováním elektrických systémů pomocí baterií a dieselaagregátů.

ITER Parties

iter china eu india japan korea russia usa



- The project was initially supported by
 - the former **Soviet Union**,
 - the **USA**,
 - the **European Union** (via EURATOM),
 - **Japan**.

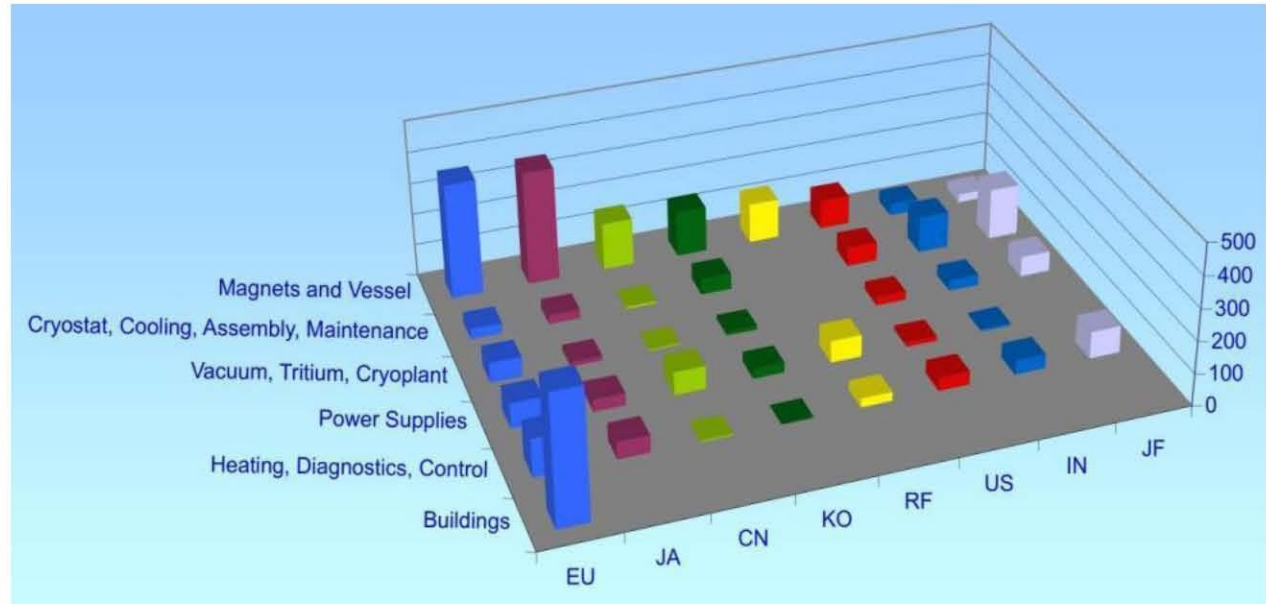
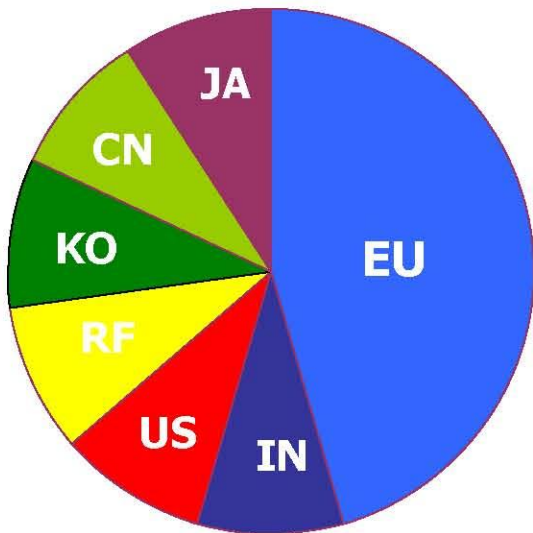
- It was subsequently joined by
 - the **People's Republic of China** (2003),
 - the **Republic of Korea** (2003),
 - **India** (2005).

Note: the seven ITER Parties (CN, EU, IN, KO, JA, RF and US) represent more than **half of the world population**.

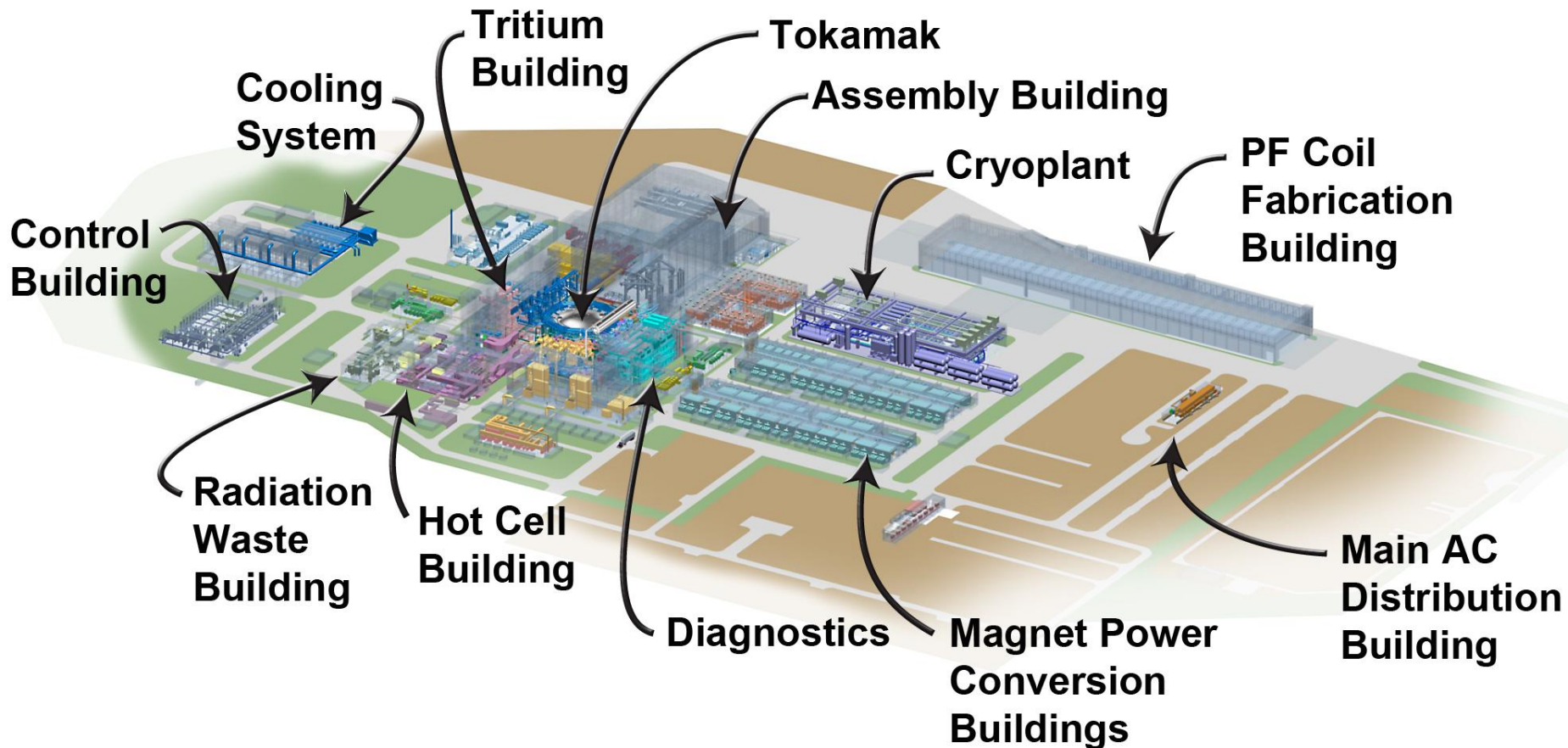
ITER Agreement (1/2)



- The ITER Parties have agreed on a sharing of the construction costs
 - 5/11th for the EU and 1/11th for each other Party,
 - 90% of in-kind contributions and 10% of cash contributions (directly handled by ITER IO).
- The breakdown of who contributes what is at **the component level** and is cast in the *so-called* **ITER Agreement**.



ITER Site Plan



The Technical and Engineering Challenges of Fusion Reactors for Energy,
Joseph V. Minervini Massachusetts Institute of Technology
Plasma Science and Fusion Center Cambridge, MA, December 14, 2011



MATERIALS

- **Structural materials** – subjected to bombardment of 2 MW/m^2 from 14 MeV neutrons \Rightarrow **20 displacements per atom per year**

Note: $14 \text{ MeV} \Rightarrow$ much bigger cascades than in fission + new effects as helium is generated in material

- **Plasma facing materials** subjected to an additional 500 kW/m^2 in form of particles + electromagnetic radiation (up to 20 MW/m^2 heat load on 'divertor'!)

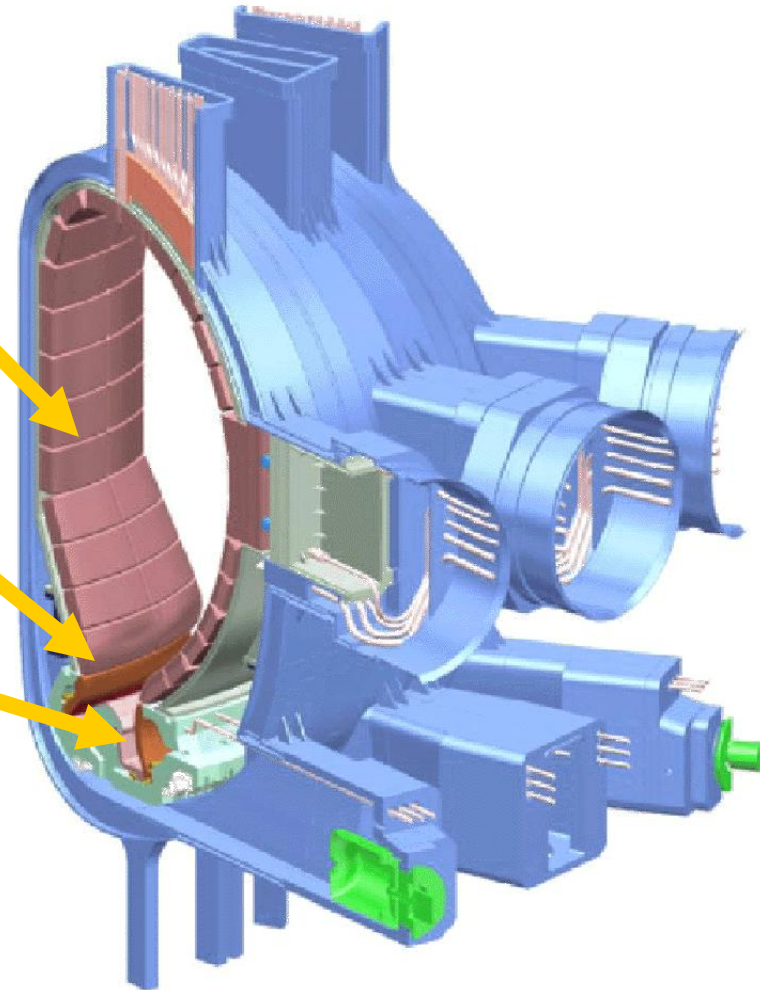
- **Various materials have been considered, and there are good candidates, BUT:**

- **Further modelling + *experiments essential*:**

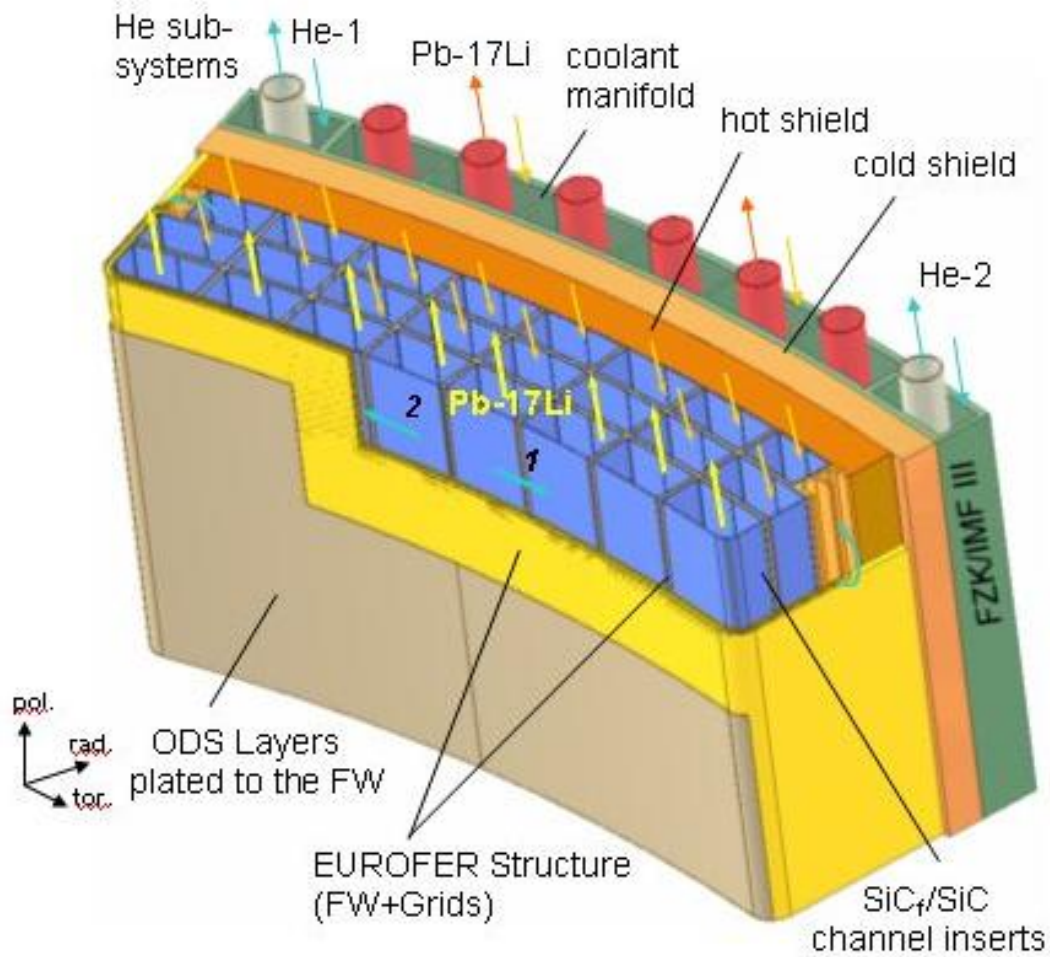
Only a dedicated (€800M) accelerator-based test facility - the **International Fusion Materials Irradiation Facility (IFMIF)** - can reproduce reactor conditions: *results from IFMIF will be needed before a prototype commercial reactor can be licensed and built*

Plasma-facing materials in ITER

- **Beryllium**
 - large area first wall cover
 - low heat flux
 - low Z (low impact on plasma)
- **Tungsten**
 - medium area baffle region
 - medium heat flux
 - low sputtering yields
- **CFC**
 - very localised strike-points
 - highest heat flux
 - High heat conductivity, good resistance to damage



ONE BLANKET DESIGN

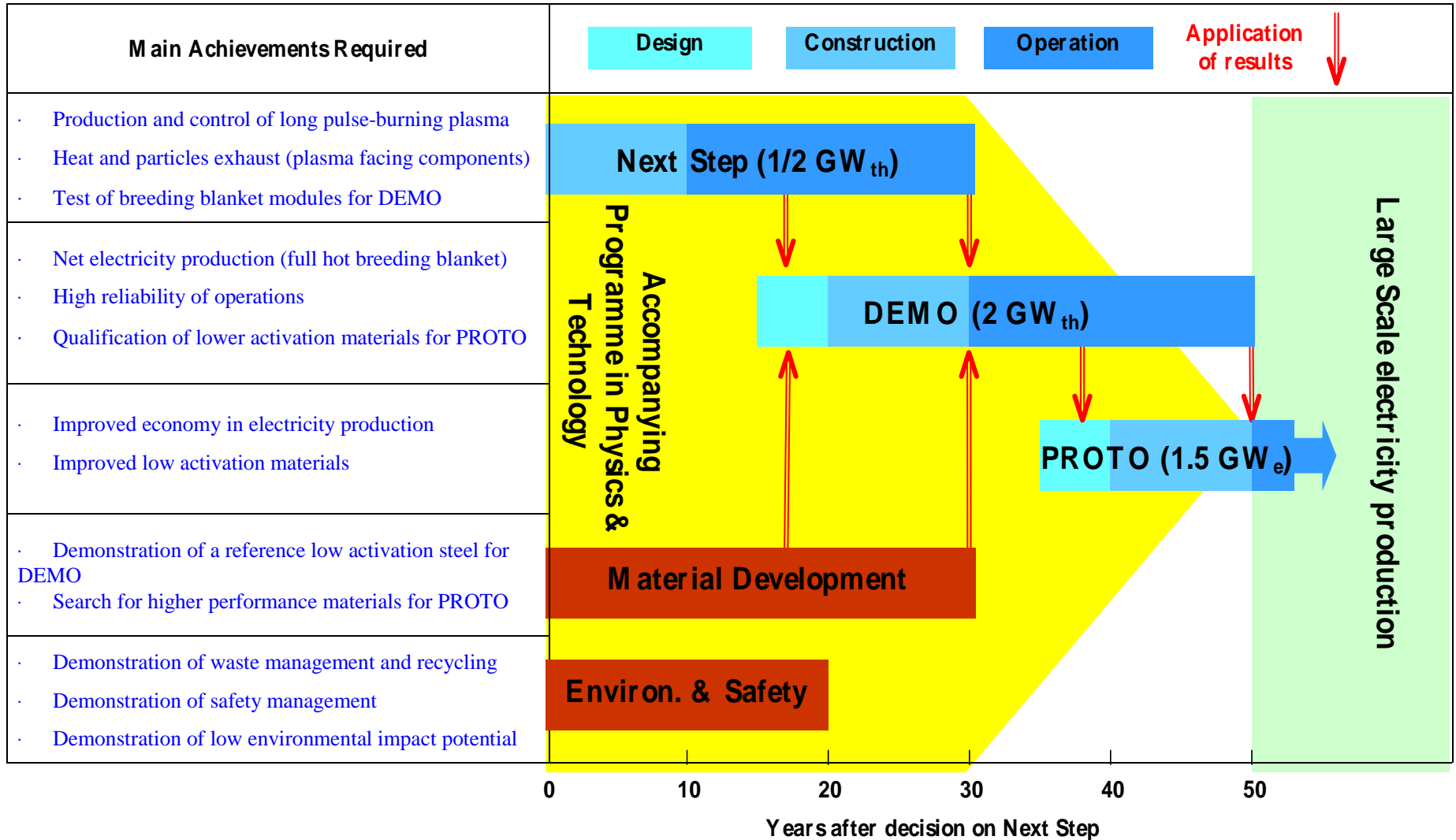


Jaderná fúze

Steve Cowley

UK Atomic Energy Authority and Imperial College, CERN Listopad 2012

Tentative Roadmap of Achievements starting from the decision to construct the Next Step



Famous Words

- Lev Artsimovitch's celebrated reply to the question
- "When will fusion be ready?"
 - "Термоядерная энергия будет получена тогда, когда она станет необходима человечеству"
Детская энциклопедия. М., Педагогика, 1973, т.3, с.381.
- "Fusion will be ready when society needs it"

Zdroje

- <http://vmsstreamer1.fnal.gov/Lectures/Colloquium/111214Minervini/index.htm>
- [http://vmsstreamer1.fnal.gov/VMS Site 03/Lectures/Colloquium/091201Holtkamp/index.htm](http://vmsstreamer1.fnal.gov/VMS_Site_03/Lectures/Colloquium/091201Holtkamp/index.htm)
- [http://vmsstreamer1.fnal.gov/VMS Site 03/Lectures/Colloquium/050428Smith/index.htm](http://vmsstreamer1.fnal.gov/VMS_Site_03/Lectures/Colloquium/050428Smith/index.htm)
- [http://vmsstreamer1.fnal.gov/VMS Site 03/Lectures/Colloquium/081217Holland/index.htm](http://vmsstreamer1.fnal.gov/VMS_Site_03/Lectures/Colloquium/081217Holland/index.htm)
- <http://vmsstreamer1.fnal.gov/Lectures/Colloquium/110504Prager/index.htm>
- <http://cdsweb.cern.ch/record/1495171?ln=en>
- **[Fusion – When?](#)** / [Cowley, Steve](#) (speaker) (Culham Centre for Fusion Energy) , www.iter.org
- Energyfromthorium.org
- Focusfusion.org – alternativní koncepty založené především na pinch efektu