

Seminář jaderného inženýrství 2020

sborník příspěvků

ISBN 978-80-01-06764-2

Seminář je podpořen z projektu SVK 36/20/F4.



**FAKULTA
JADERNÁ
A FYZIKÁLNĚ
INŽENÝRSKÁ
ČVUT V PRAZE**

Tiráž

Autor (editor): Ing. Ondřej Novák (editor)

Název díla: Seminář jaderného inženýrství 2020 – sborník příspěvků

Vydalo: České vysoké učení technické v Praze

Zpracovala: Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, ČVUT v Praze

Kontaktní adresa: KJR, V Holešovičkách 2, Praha 8, 180 00

Tel.: 221 912 384

Tisk: Katedra jaderných reaktorů, FJFI, CVUT v Praze

Adresa tiskárny: V Holešovičkách 2, Praha 8

Počet stran:134

Náklad:10

Pořadí vydání: 1.

ISBN 978-80-01-06764-2

DOI: <https://doi.org/10.14311/SJI.2020>

Seminář je podpořen z projektu SVK 36/20/F4.

Obsah

1	Předmluva	3
2	Program semináře	3
3	Příspěvky organizátorů	4
3.1	Věda a výzkum v jaderném inženýrství	4
3.2	Jak najít dobré zdroje informací?	35
3.3	Jak na závěrečnou práci?	40
4	Příspěvek hosta	48
4.1	Školní reaktor VR 1 Jak to začalo...	48
5	První blok prezentací studentů	57
5.1	Hledání alternativního provozního kódu pro reaktor LVR-15	57
5.2	Energy Well	67
5.3	Potenciální náhrada jaderného paliva IRT-4M na školním reaktoru VR-1 jiným palivem	73
5.4	Studium podkritického reaktoru s externími zdroji neutronů	81
5.5	Výpočet reflektoru pro aktivní zónu reaktoru VR-1	86
6	Druhý blok prezentací studentů	95
6.1	Analýza odezvy samonapájecích detektorů neutronů s využitím Monte-Carlo programu Serpent 2	95
6.2	Lokalita palivových vsázek	100
6.3	Experimentální ověření chování paliva při těžkých haváriích	108
6.4	Ověření LOCA a RIA kritérií pro vybrané havarijní scénáře s pokročilým jaderným palivem	114
6.5	Počítání rozložení výkonu v AZ EDU	120
7	Seznam účastníků	134

1 Předmluva

Seminář jaderného inženýrství je akce pro bakalářské a magisterské studenty oboru Jaderné inženýrství. Hlavním cílem semináře je umožnit studentům bakalářského a magisterského studia oboru Jaderné inženýrství prezentovat své studentské a výzkumné práce, a to sobě navzájem. Součástí semináře jsou i příspěvky zaměřené na psaní odborných prací, hledání zdrojů a obecné shrnutí vědecké a výzkumné činnosti v oboru. Speciálně studenti druhého ročníku bakalářského studia získají díky těmto aktivitám přehled o současné vědecké činnosti a zapojení studentů do vědy a výzkumu na katedře reaktorů, výzkumných ústavech a firmách působící v oblasti jaderného inženýrství.

Akce se uskutečnila za podpory z projektu SVK 36/20/F4.

2 Program semináře

9:00 – 9:20 - registrace a prezenze účastníků

9:20 – 9:30 – úvodní slovo - Ing. Tomáš Bílý, Ph.D.

9:30 – 10:30 – věda a výzkum v jaderném inženýrství - Ing. Sebastian Nývlt

10:30 – 10:45 – jak psát závěrečnou práci - Ing. Martin Ševeček, Ph.D.

10:45 – 11:05 – coffebreak

11:05 – 12:20 – první blok prezentací studentů

Jan Pinta - Hledání alternativního provozního kódu pro reaktor LVR-15

Jana Šošková - Energy Well

Jan Čada - Potenciální náhrada jaderného paliva IRT-4M na školním reaktoru VR-1 jiným palivem

Petr Kladiva - Studium podkritického reaktoru s externími zdroji neutronů

Ondřej Petrášek - Výpočet reflektoru pro aktivní zónu reaktoru VR-1

12:20 – 13:15 – oběd

13:15 – 14:15 – Školní reaktor VR 1 Jak to začalo... - doc. Ing. L'ubomír Sklenka, Ph.D.

14:15 – 14:25 – databáze témat Bc. prací - Ing. Sebastian Nývlt

14:25 – 14:45 – jak najít dobré zdroje informací (články, publikace) - Ing. Ondřej Novák

14:45 – 15:10 – coffebreak

15:10 – 16:25 – druhý blok prezentací studentů

Pavel Jíška - Analýza odezvy samonapájecích detektorů neutronů s využitím Monte-Carlo programu Serpent 2

Matěj Rzehulka - Lokalita palivových vsázek

Martin Příbyl - Experimentální ověření chování paliva při těžkých haváriích

Tereza Kinkorová - Ověření LOCA a RIA kritérií pro vybrané havarijní scénáře s pokročilým jaderným palivem

Robin Krempaský - Počítání rozložení výkonu v AZ EDU

16:25 – 16:40 – coffebreak

16:40 – 18:00 – show JM - Ing. Jana Matoušková

18:30 – ??:?? – společenský raut

3 Příspěvky organizátorů

3.1 Věda a výzkum v jaderném inženýrství

autor: Ing. Sebastian Nývlt

afiliace: Katedra jaderných reaktorů, FJFI, ČVUT v Praze

abstrakt: Prezentace obsahuje popis všech majoritních směrů, kterými se jde v oblasti jaderně reaktorových věd v současné době zabývat. Kromě popisu jednotlivých oblastí jsou zde stručně charakterizovány i významné státní i soukromé instituce, které se jednotlivým oblastem věnují. Prezentace je určena především studentům začínajícím 3. ročník svých studií na Katedře jaderných reaktorů FJFI ČVUT v Praze, čemuž je podřízena i forma a vyjadřovací styl autora. Prezentace má umožnit studentům se v jaderné oblasti zorientovat a informovaně si vybrat bakalářskou práci, protože jsou v závěru prezentace uvedeny i tipy, jak si dobré téma bakalářské práce zvolit.

Směry výzkumu v jaderném inženýrství



Ing. Sebastian Nývlt, Ing. Ondřej Novák

Katedra jaderných reaktorů

17. září 2020

Katedra jaderných reaktorů

Směry výzkumu v jaderném inženýrství

17. září 2020

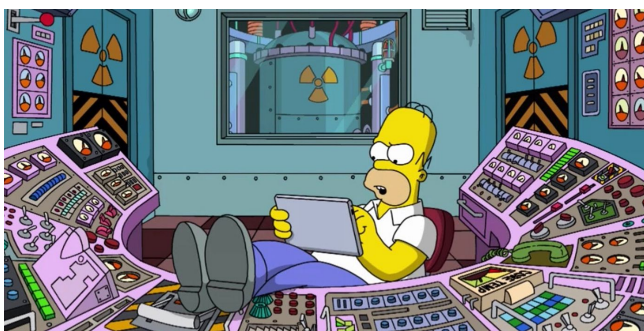
1 / 59

Obsah prezentace



Obsah prezentace

- 1) Instituce zapojené do výzkumu v JI
- 2) Směry výzkumu v JI
- 3) Rady na závěr



Katedra jaderných reaktorů

Směry výzkumu v jaderném inženýrství

17. září 2020

2 / 59

Institute zapojené do výzkumu v JI



Katedra jaderných reaktorů



- instituce vzdělávající mladé odborníky v reaktorových oblastech
- historie sahá až do roku 1955 (prof. Bohumil Kvasil)
- od roku 1990 provozuje školní reaktor VR-1 "Vrabc"



Katedra jaderných reaktorů

Směry výzkumu v jaderném inženýrství

17. září 2020

3 / 59

Institute zapojené do výzkumu v JI



ÚJV Řež



- ÚJV = Ústav jaderného výzkumu
- společnost poskytující podporu provozu jaderných i nejaderných elektráren v ČR i mimo ni
 - zejména znalostně-technická podpora provozu jaderných zařízení
 - dále výzkumná činnost v oblasti jádra i mimo něj (výpočetní analýzy, výroba radiofarmak, vodíkové technologie, OZE, ...)
- sídlo nedaleko Prahy – obec Husinec-Řež

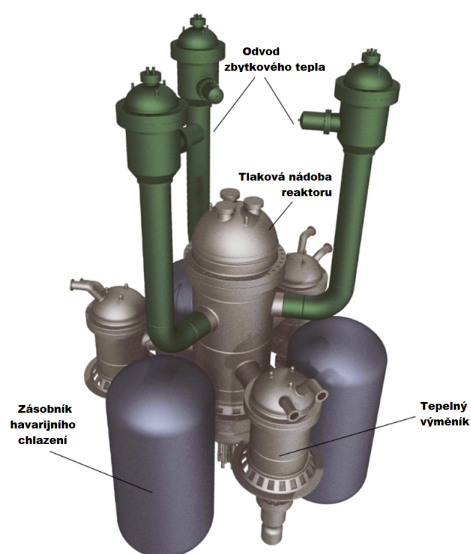


Katedra jaderných reaktorů

Směry výzkumu v jaderném inženýrství

17. září 2020

4 / 59



Reaktorový systém IV. generace – ALLEGRO (GFR)



- člen skupiny ÚJV se zaměřením na výzkumnou činnost
- sídlí také v areálu ÚJV Řež
- provozuje výzkumné reaktory LVR-15 a LR-0 a řadu dalších výzkumných pracovišť



Instituce zapojené do výzkumu v JI

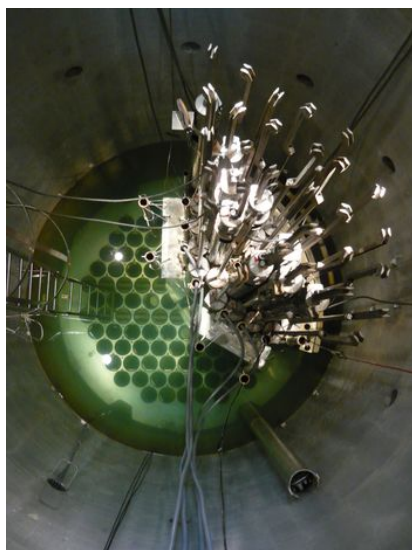


Reaktor LVR-15

Katedra jaderných reaktorů

Směry výzkumu v jaderném inženýrství
Instituce zapojené do výzkumu v JI

17. září 2020 7 / 59

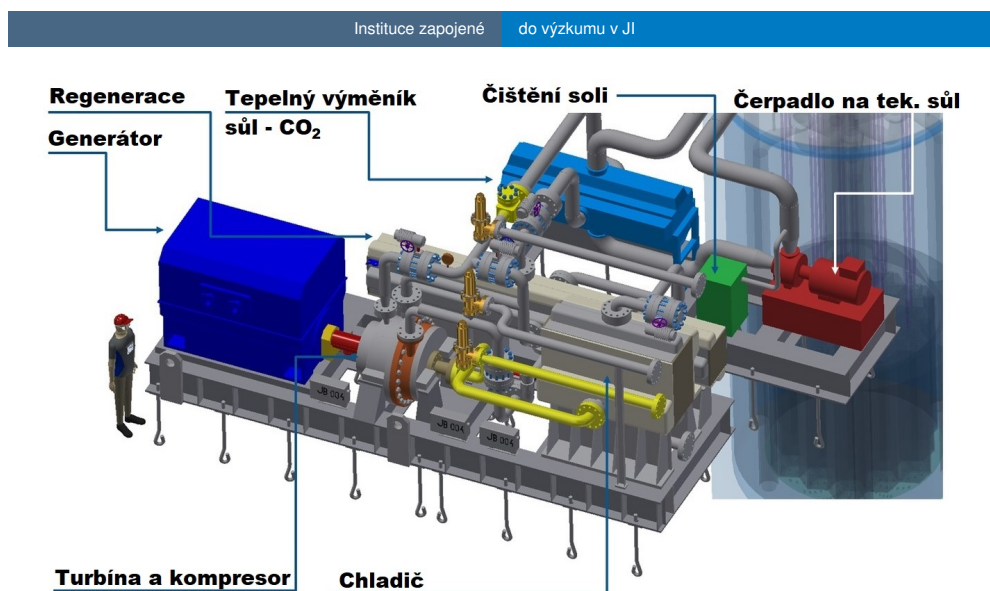


Reaktor LR-0

Katedra jaderných reaktorů

Směry výzkumu v jaderném inženýrství

17. září 2020 8 / 59



Reaktorový systém IV. generace – Energy Well (MSR)



ÚJP PRAHA



- ÚJP = Ústav jaderných paliv
- soustředí se na experimentální výzkum jaderných paliv (zejm. pokrytí jaderných paliv), obalových souborů, ale i nových stínících materiálů, detektorů a obecně nových slitin
- sídlí v Praze na Zbraslavi



Instituce zapojené do výzkumu v JI



Škoda JS



ŠKODA JS a.s.

- JS = jaderné strojírenství
- široké spektrum činností od výpočetní činnosti (vývoj kódů), přes experimentální činnost až po průmyslovou výrobu a servis komponent JE, obalových souborů
- člen konsorcia usilující o dostavbu 5. bloku JE Dukovany
- expanduje i do oblasti decommissioningu
- sídlí v Plzni



Katedra jaderných reaktorů

Směry výzkumu v jaderném inženýrství
Instituce zapojené do výzkumu v JI

17. září 2020 11 / 59



Vyrobený reaktor VVER-440 pro JE Mochovce


Katedra jaderných reaktorů

Směry výzkumu v jaderném inženýrství

17. září 2020 12 / 59

Institute zapojené do výzkumu v JI





- ČEZ = České energetické závody
- polostátní společnost s širokým záběrem
 - hlavním předmětem podnikání je výroba a distribuce elektrické energie
- provozuje obě naše JE
- pro studenty nabízí širokou paletu stáží, mj. na našich JE
- vypisuje témata spojená s výpočetní nebo inženýrskou praxí (neutronika, optimalizace, palivový cyklus...)




Katedra jaderných reaktorů

Směry výzkumu v jaderném inženýrství





17. září 2020




13 / 59





Institute zapojené do výzkumu v JI



Další instituce

Katedra jaderných reaktorů Směry výzkumu v jaderném inženýrství 17. září 2020 14 / 59

- 1 Práce s výpočetními kódy
 - Neutronické výpočty
 - Zpracování jaderných dat
 - Výpočty transportu záření
 - Termohydraulické výpočty
 - Termomechanické výpočty
 - Analýzy těžkých havárií
- 2 Experimentální činnost
 - Experimenty na reaktoru VR-1
 - Detektorová měření
 - Experimentální fyzika s neutrony (nereaktorová)
 - Studium interakcí záření a materiálů
 - Materiálový výzkum
 - Experimentální studium termomechaniky paliv
 - Termohydraulické experimenty
 - Elektrotechnika v JI
- 3 Rešeršně zaměřená témata
 - Studium jaderných paliv a palivových změn
 - Zabezpečení jaderných zařízení
 - Radiační ochrana
 - Jaderná bezpečnost
 - Ekonomicko-energetické studie

Práce s výpočetními kódy Neutronické výpočty

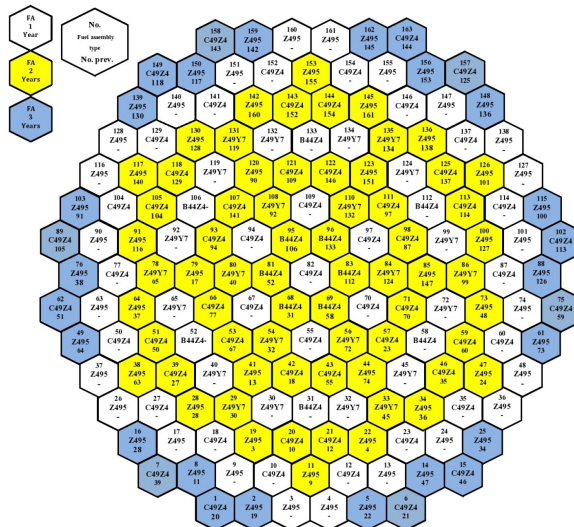


Neutronické výpočty 1/4

- "neutronika" je oblast jaderné fyziky studující transport neutronů v látkovém prostředí a jejich interakce s tímto prostředím
- v reaktorové fyzice se tím myslí:
 - výpočty spojené se změnami složení paliva v průběhu štěpení i mimo něj (výpočty radioaktivních rozpadů)
 - výpočty "kritičnosti"
 - výpočty palivového cyklu (délky kampaní atp.)
 - rozložení hustot toku neutronů v AZ
 - mnoho dalšího...
- výpočetní programy (kódy) se dělí na:
 - deterministické (NEWT, DENOVO, ...)
 - stochastické (MCNP, Serpent, ...)



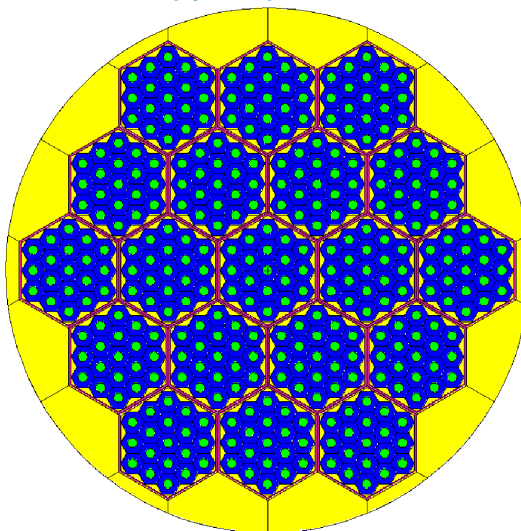
Neutronické výpočty 2/4



Příklad zavážky do reaktoru VVER-1200



Neutronické výpočty 3/4



AZ rychlého sodíkového reaktoru (SFR)



Neutronické výpočty 4/4

Příklady:

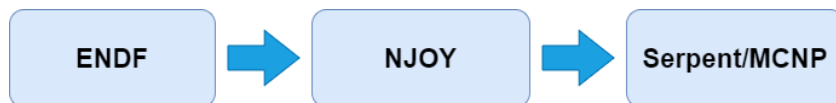
- Analýza nejistot palivových mříží pomocí nástrojů SCALE (Ing. Lenka Frýbortová, Ph.D.)
- Energy Well: neutronická studie českého konceptu malého jaderného reaktoru (Ing. Evžen Losa, Ph.D.)

Instituce:



Zpracování jaderných dat 1/2

- aby mohl neutronický výpočet správně proběhnout, je nejdříve potřeba připravit pro něj správným způsobem jaderná data
 - surová experimentální jaderná data jsou pro reálné výpočty zpravidla nepoužitelná
- ke zpracování se používají speciální programy
 - nejčastěji program NJOY





Zpracování jaderných dat 2/2

Příklady:

- Vytváření mnohagrupových knihoven jaderných dat (Ing. Jan Frýbort, Ph.D.)
- Příprava makroskopických dat pro radiální reflektory PWR reaktorů (Ing. Pavel Suk)

Institute:

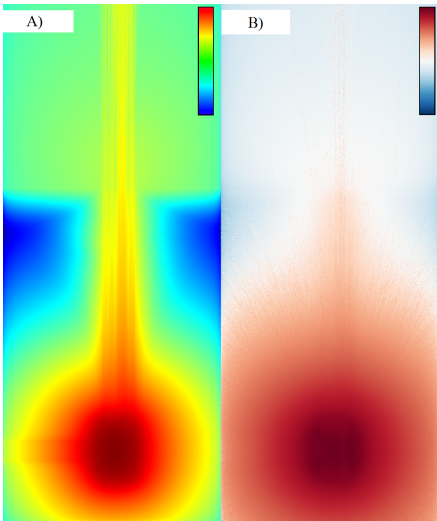


Výpočty transportu záření 1/3

- kromě výpočtů transportu neutronového záření je občas potřeba simulovat i transport jiných částic, např. γ -záření
- k simulacím lze opět použít stochastické (MONACO, MCNP) nebo specializované deterministické kódy (Panthere, DORT-TORT)
 - zde je paleta kódů velmi široká a občas se zde uplatňují kódy původně vyvinuté na ne-reaktorové aplikace (např. pro urychlovače – Geant4, PHITS, ...)

Práce s výpočetními kódy Výpočty transportu záření

Výpočty transportu záření 2/3



Neutrony (A) a fotony (B) unikající z reaktoru VR-1 v axiálním řezu v místě suchého exp. kanálu [Fáborský, 2019]


Katedra jaderných reaktorů Směry výzkumu v jaderném inženýrství 17. září 2020 23/59
Práce s výpočetními kódy Výpočty transportu záření

Výpočty transportu záření 3/3

Příklady:

- Modelování betonu jako stínícího materiálu tělesa obalového souboru pro vyhořelé jaderné palivo (Ing. Martin Lovecký, Ph.D.)
- Výpočet odezev neutronů pro scintilační detektor neutronů (Ing. Miloš Tichý, CSc.)

Instituce:



Katedra jaderných reaktorů Směry výzkumu v jaderném inženýrství 17. září 2020 24/59

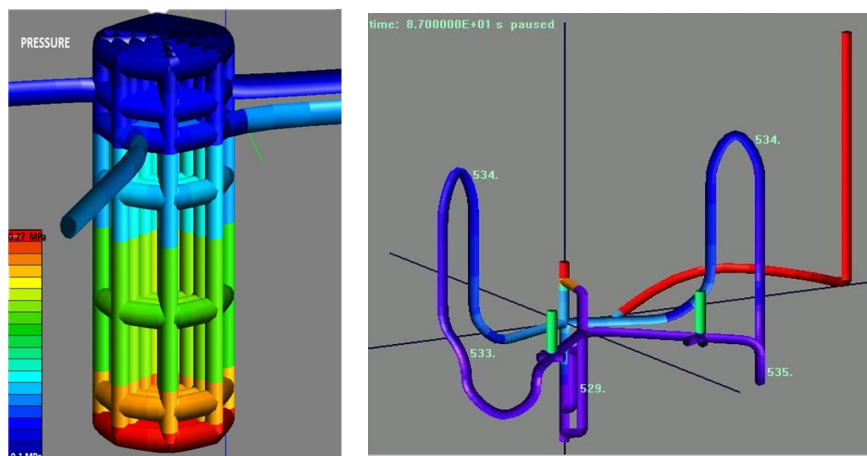


Termohydraulické výpočty 1/3

- termohydraulika je široký inženýrský obor zkoumající proudění tekutin při současném studiu tepelných zákonitostí v systému (sdílení tepla, změny teplot atp.)
 - v souvislosti s českými JE se řeší proudění vody v PO, vody a páry v SO, vznik páry v parogenerátoru, proudění uvnitř AZ reaktoru, problematika čerpadel...
- k výpočtům se užívá větší množství kódů – známé jsou např. RELAP, ATLET, TRACE
- dnes se stále více uplatňují kódy typu CFD (Computational fluid dynamics) s širokým uplatněním – za cenu vyšší výpočetní náročnosti



Termohydraulické výpočty 2/3



Příklady práce v RELAP



Termohydraulické výpočty 3/3

Příklady:

- Vliv deformace palivových tyčí na průtok palivovým souborem (Ing. Dušan Kobyłka, Ph.D.)
- Termohydraulické modely výzkumných reaktorů a jejich experimentální ověření (Ing. Filip Fejt, Ph.D.)

Instituce:



chemcomex

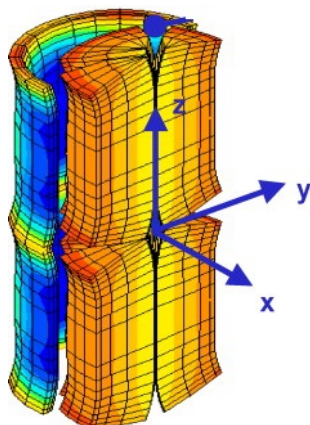


Termomechanické výpočty 1/3

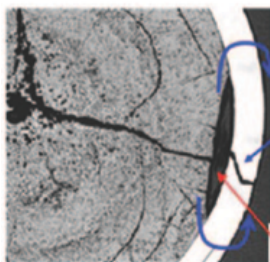
- termomechanikou se v jaderné oblasti zpravidla myslí termomechanika jaderných paliv, ale obecně se jedná o studie teplotních polí a změn vlastností materiálů při měnící se teplotě
- termomechanika paliv se dostává do popředí současného aplikovaného jaderného výzkumu díky:
 - vývoji a testování nových palivových pokrytí, tzv. ATF (accident tolerant fuel)
 - vývoji a testování pokročilých paliv (jiná matrice než UO_2) s lepšími provozními i havarijními vlastnostmi
- využívá se široká škála výpočetních nástrojů, např. FRAPCON-FRAPTRAN, FAST, TRANSURANUS, ABAQUS



Termomechanické výpočty 2/3



Pnutí v palivové tabletě a pokrytí



Pnutí v tabletě a pokrytí při zavezení tablety s ušiplou hranou



Termomechanické výpočty 3/3

Příklady:

- Chování pokročilých typů jaderných paliv (Ing. Martin Ševeček, Ph.D.)
- Vliv nerovnoměrných hraničních podmínek po obvodu palivové tyče na termomechanický stav palivové tyče (Ing. Dušan Kobyłka, Ph.D.)

Instituce:



ujp praha



ITES



ŠKODA JS a.s.



chemcomex

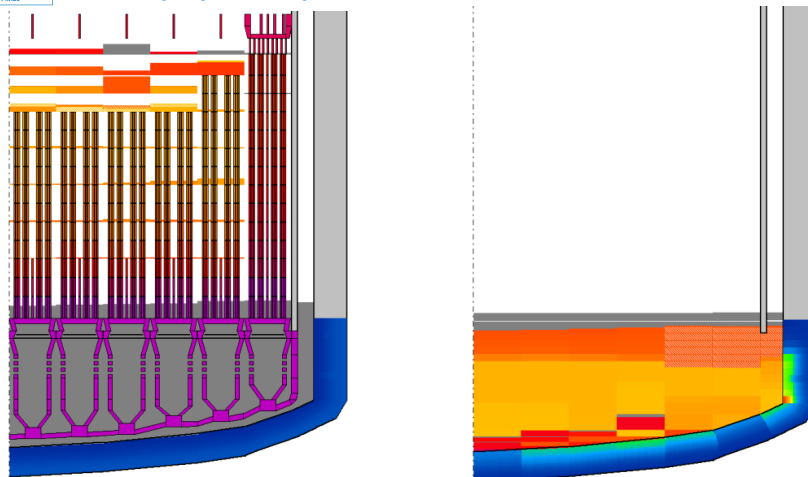


Analýzy těžkých havárií 1/3

- těžká havárie JE je nežádoucí stav, kam se JE může dostat pokud selžou bezpečnostní systémy určené na zvládnání nehod
- těžkohavarijní kódy kombinují znalosti ze širokého spektra inženýrských oblastí (termohydraulika, termomechanika, chemie...)
- kódy dělíme na integrální, které popisují celou JE (MELCOR, ASTEC, COCOSYS), a specializované, které se zabývají detailnějším popisem konkrétních jevů (MELTSPREAD, CORQUENCH)



Analýzy těžkých havárií 2/3



24 min.

1 hod.

VVER-1000: velká LOCA se selháním aktivních bezp. syst. – kód MELCOR



Analýzy těžkých havárií 3/3

Příklady:

- Simulace degradace aktivní zóny reaktoru integrálním kódem pro analýzy těžkých havárií MELCOR (Ing. Miroslav Kotouč, Ph.D.)
- Zjednodušené numerické simulace chlazení roztavené aktivní zóny v betonové šachtě reaktoru při těžké havárii (Ing. Tomáš Janda)

Instituce:



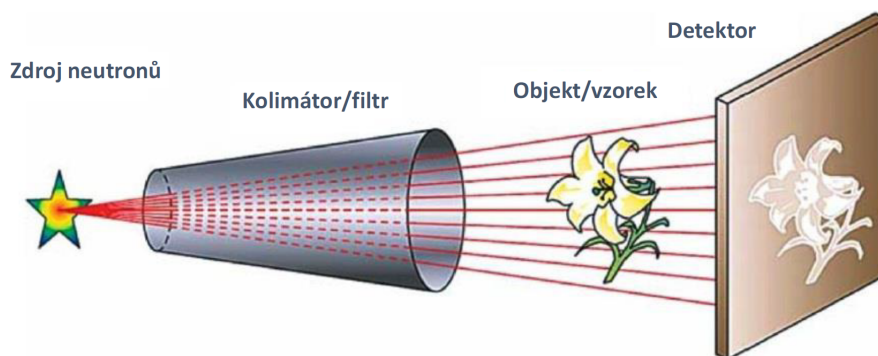
Experimenty na reaktoru VR-1 1/4



- školní reaktor VR-1 je multifunkční vědecko-výzkumné zřízení a přes svůj nízký výkon umožňuje provádět široké spektrum standardních (výuka) i nestandardních experimentů
- Neutronová aktivační analýza (NAA) – typ experimentů založených na ozáření vzorků v reaktoru a následné γ -spektrometrii na germaniovém detektoru \Rightarrow je možné určit izotopické složení materiálu (vzorky půd, archeologických artefaktů...)
 - naše video: www.youtube.com/watch?v=Z672GNvm56Y
- Neutronová radiografie – zobrazovací metoda založená na rozptylu a absorpci neutronů na jádrech, zejm. lehkých prvků
 - obdoba rentgenografie – rentgen je ale citlivý především na těžší jádra (interagují fotony)
 - lze provádět s neutronovými generátory, na reaktoru VR-1, ale i na reaktoru LVR-15 v Řeži



Experimenty na reaktoru VR-1 2/4



Neutronová radiografická zobrazovací metoda



Experimenty na reaktoru VR-1 3/4

Příklady:

- Neutronová radiografie s využitím neutronových generátorů typu D-D a D-T (doc. Ing. Ľubomír Sklenka, Ph.D.)
- Aplikace metody Source-Jerk s využitím neutronového generátoru na reaktoru VR-1 (Ing. Jan Rataj, Ph.D.)
- Studium znečištění životního prostředí využitím neutronové aktivační analýzy hub na reaktoru VR-1 (Ing. Milan Štefánik, Ph.D.)





Experimenty na reaktoru VR-1 4/4



Příprava experimentu na radiálním kanálu reaktoru VR-1

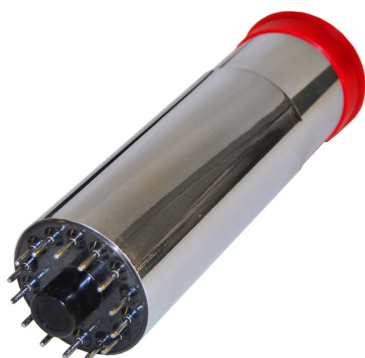


Detektorová měření 1/3

- radioaktivní záření (α, β, γ, n) není smysly postřehnutelné, a je ho tedy potřeba měřit speciálními přístroji – detektory
- detektorů je obrovské množství, mají různé principy detekce, konstrukci, velikost... – což koresponduje s jejich využitím
 - na KJR se nejvíce využívají detektory neutronů
- na KJR máme celou řadu různých detektorů užívaných na hale reaktoru i v ostatních laboratořích
 - speciální místo mezi našimi detektory zaujímá detektor HPGe (high-purity germanium) určený na γ -spektrometrii (přesná analýza γ -fotonů umožňující přesně přiřadit energii detekovaným částicím)



Detektorová měření 2/3



Scintilační detektor



Bonnerova sféra



Detektorová měření 3/3

Příklady:

- Studium vlivu gama záření na odezvu plynových detektorů neutronů pracujících v pulsním režimu (Ing. Tomáš Bílý, Ph.D.)
- Aktivační a prahové reakce v neutronovém poli urychlovačem řízeného generátoru $p(22)+Be$ (Ing. Milan Štefánik, Ph.D.)
- Měření spekter neutronů metodou Bonnerových sfér (Ing. Miloš Tichý, CSc.)

Instituce:





Exp. nereaktorová fyzika s neutrony 1/2



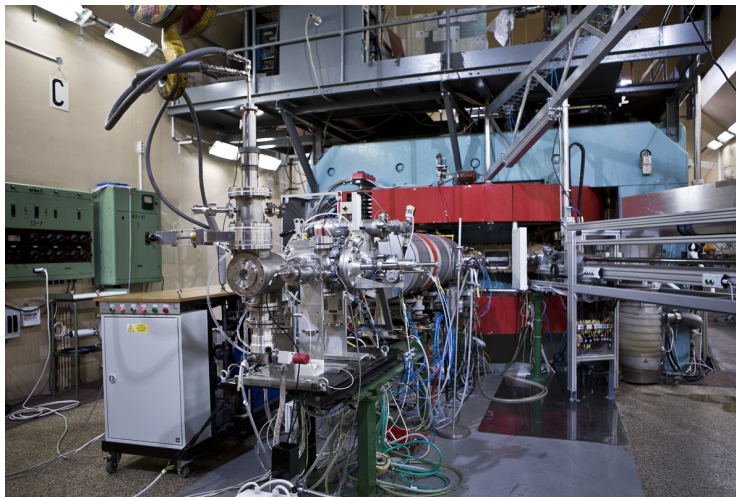
- neutrony v reaktorech mají energie mezi setinami eV a nižšími desítkami MeV, nicméně neutrony produkované jinde mohou mít energie mimo tento rozsah
- výzkum ultrachladných nebo ultrarychlých neutronů probíhá zpravidla ve výzkumných ústavech vlastnících urychlovače částic a další experimentální vybavení

Příklady:

- Výzkum zpožděných neutronů ze štěpení neutrony s energiemi do 33 MeV (Mgr. Mitja Majerle, Ph.D.)



Exp. nereaktorová fyzika s neutrony 2/2



Urychlovač U-120M v Řeži jako intenzivní zdroj rychlých neutronů



Studium interakcí záření a materiálů

- radioaktivní záření poškozuje materiály, které mu jsou vystaveny
- tyto práce se zaměřují na experimentální studium odolnosti vybraných materiálů, zařízení atp. vůči záření
- tyto práce často odrážejí moderní trendy ve výrobě – ve snaze je užít i v jaderném průmyslu, např. 3D tisk

Příklady:

- Vliv radioaktivního záření na elektronické prvky (doc. Ing. Martin Kropík, CSc.)

Instituce:



Materiálový výzkum 1/2

- prostřední jaderného reaktoru je velmi specifické a klade vysoké nároky na používané materiály
- s moderními trendy v jaderném inženýrství (používání netradičních paliv, povrchových vrstev, chladičů atp.) je toto odvětví spjato velmi úzce (mnohdy je hlavním limitujícím faktorem)
- Mössbauerova spektrometrie – extrémně citlivá nedestruktivní metoda založená na rezonanční gama fluorescenci (studium hyperjemných interakcí metastabilních nuklidů s jejich okolím)
 - využití nalézá v různých oborech, zejména však v materiálovém inženýrství (materiály nejen pro potřeby reaktorového využití)



Materiálový výzkum 2/2

Příklady:

- Mikrostruktura amorfních kovových slitin (Ing. Martin Cesnek, Ph.D.)
- Studium chemických forem železa v environmentálních vzorcích metodou Mössbauerovy spektrometrie (prof. Ing. Marcel Miglierini, DrSc.)

Instituce:



ujp praha

Advanced Technology Group s.r.o.



Exp. studium termomechaniky paliv 1/2

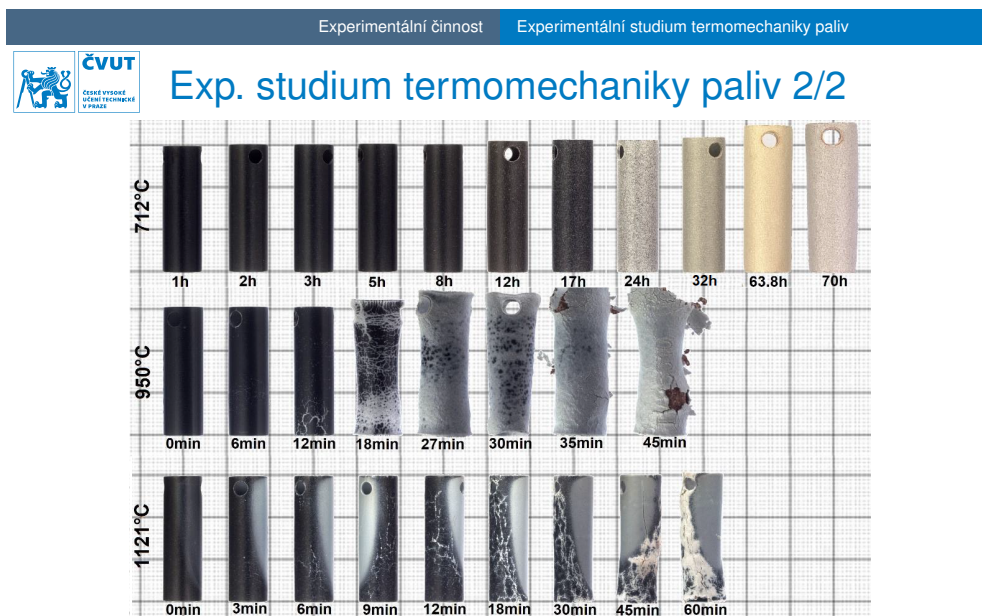
- termomechanika paliv vyžaduje provádění experimentů, které prokáží, že nová paliva mají skutečně vlastnosti, které předpověděly termomechanické výpočty
- experimenty se provádí ve speciálních smyčkách nebo tzv. autoclavech (speciální "pec")
- tyto experimenty v současnosti v ČR provádí pouze ÚJP PRAHA

Příklady: letos nejsou :-)

Instituce:




ujp praha



Oxidace slitiny E-110 na vzduchu při různých teplotách [Vrbka, 2019]

Katedra jaderných reaktorů Směry výzkumu v jaderném inženýrství 17. září 2020 47 / 59

Experimentální činnost Termohydraulické experimenty


Termohydraulické experimenty 1/2

- ani termohydraulika se neobejde bez experimentů, které by potvrdily výsledky vypočtené kódy
- zpravidla se jedná o experimenty v dobře izolovaných smyčkách s cirkulujícím médiem uvnitř nichž probíhá zkoumaný jev
- řadíme sem i těžkohavarijní experimenty
- experimenty se provádí v CVŘ (např. THS-15) a nově vzniklé smyčce na VUT Brno

Příklady: letos nejsou :-)

Institute:





Termohydraulické experimenty 2/2



Experimentální termohydraulický stand THS-15 v Řeži (horní část)



Elektrotechnika v JI

- správný provoz jaderného zařízení podmiňuje správná funkce všudypřítomné elektrotechniky – SW, vyhodnocování signálů z detektorů, systémy napájení atp.
- tyto témata zpravidla zahrnují práci v elektrolaboratoři KJR

Příklady:

- Měření výkonu výzkumných jaderných reaktorů (doc. Ing. Martin Kropík, CSc.)
- Použití programovatelných obvodů v jaderně bezpečnostních aplikacích (doc. Ing. Martin Kropík, CSc.)
- Zajištění jakosti SW (doc. Ing. Martin Kropík, CSc.)

Institute:





Studium jaderných paliv a palivových změn

- experimenty jsou obecně drahé a mnohdy je potřeba pouze shromáždit jejich výsledky a vyvodit z nich závěry \Rightarrow to je principem tohoto typu témat

Příklady:

- Vývoj palivových pelet a určení základních vlastností komerčního UO₂ paliva (Ing. Martin Ševeček, Ph.D.)
- Projektová a bezpečnostní kritéria jaderného paliva (Mgr. Jan Klouzal)

Instituce:



Zabezpečení jaderných zařízení 1/2



- jaderná zařízení musí být zabezpečena proti vniknutí cizích osob, krádežím a jiné nežádoucí trestné činnosti
- cílem těchto prací je stanovení odpovídajících zabezpečovacích opatření s ohledem na typ chráněného prostoru (zářič/reaktor/...), hodnocení těchto opatření apod.
- při řešení těchto typů BP budete pravděpodobně využívat novou laboratoř fyzické ochrany

Příklady:

- Návrh a hodnocení účinnosti zabezpečení hypotetického zařízení s vysokoaktivním zdrojem (Ing. Radovan Starý)
- Určení projektové základní hrozby pro hypotetické jaderné zařízení (Ing. Radovan Starý)



Zabezpečení jaderných zařízení 2/2



Nová laboratoř fyzické ochrany



Radiační ochrana 1/2

- pod radiační ochranou se skrývá nauka o ochraně lidí a životního prostředí před účinky záření
- správné definování a dodržování principů radiační ochrany vede na snížení radiační zátěže pracovníků, což je vždy žádoucí ⇒ vyžaduje optimalizaci
 - jak tato optimalizační pravidla správně nastavit je však otázkou znalostí a zkušeností

Příklady:

- Optimalizace radiační ochrany při práci v nádobách školního reaktoru VR-1 (Ing. Radovan Starý)

Institute:





Radiační ochrana 2/2



Práce uvnitř nádoby reaktoru VR-1



Jaderná bezpečnost

- jadernou bezpečností se rozumí stanovení a dodržení takových podmínek, že jaderné zařízení a materiál bude tak říkajíc "stále pod kontrolou"
- různé typy jaderných zařízení a různé typy jaderných materiálů však vyžadují jiná opatření, aby bylo cílům jaderné bezpečnosti vyhověno

Příklady:

- Projektová a bezpečnostní kritéria jaderného paliva (Mgr. Jan Klouzal)

Instituce:





Ekonomicko-energetické studie

- tyto práce využívají technické (energetické) znalosti a dávají je do korelace s ekonomickou realitou
- může se jednat o různé analýzy Státní energetické koncepce nebo jiné specializované studie

Příklady:

- Malé modulární jaderné reaktory v českém energetickém systému (Mgr. Lukáš Rečka, Ph.D.)



Rady na závěr

- 1 Věnujte výběru tématu BP dost času.
 - Podívejte se do nové databáze témat.
 - Použijte Google a zkuste si o předvybraných tématech něco zjistit.
- 2 Vyberte si pár témat a kontaktujte jejich garanty.
 - Zjistíte, jak jste si sedli se školitelem.
 - Ujistíte se, že jste podstatu práce pochopili správně.
- 3 Zeptejte se na reference na daného školitele starších spolužáků.
 - Informace mohou být zkreslené, také ale mohou poskytnout podpultové informace, které se jinak nedozvíte.
- 4 Když si nic nevyberete, můžete si pořad téma vymyslet. :-)
 - Najděte si školitele a téma dejte dohromady společně.
- 5 A když se Vám téma BP během roku nezalíbí, můžete své zaměření na magisterském studiu změnit.



Závěrem

- některá témata možná nejde nikam zařadit – jsou prostě specifická, nebojte se jich; některá jsou naopak multioborová – to vůbec nevádí, aspoň se stanete odborníkem ve více oblastech :-)
- i pokud si vyberete experimentální téma, vždy Vás čeká teoretické studium literatury (rešerše) – bez toho to prostě nejde a má to svůj význam, neodflákněte tuto část \Rightarrow získáte tak pevné základy, na kterých se mnohem lépe v budoucnu staví
- kdybyste měli jakékoli dotazy či připomínky, nebojte se ozvat :-)

Ing. Sebastian Nývlt
doktorand, tutor JI
sebastian.nyvlt@fjfi.cvut.cz

Ing. Ondřej Novák
doktorand, propagační guru KJR
ondrej.novak2@fjfi.cvut.cz

POSLEDNÍ PŘEKLAD L^AT_EX 16. ZÁŘÍ 2020.

3.2 Jak najít dobré zdroje informací?

autor: Ing. Ondřej Novák

afiliace: Katedra jaderných reaktorů, FJFI, ČVUT v Praze

abstrakt: Hledání informací v knihách a odborných člancích je klíčovou aktivitou každé výzkumné činnosti. Cílem příspěvku je představit základní nástroje a postupy při hledání informací.



Co hledám?

- **Popis problematiky**
- **Konkrétní číslo**

=> Klíčová slova



Google scholar scholar.google.cz

- vyhledávání odborných článků a literatury
- Odkazy na pdf součástí (pokud máte právo je vidět)
- Generování citace v LATEX formátech



Google Scholar ATF fuel "PWR" -cladding

Articles About 305 results (0.03 sec)

Any time
Since 2020
Since 2019
Since 2016
Custom range...

Sort by relevance
Sort by date

include patents
 include citations

Create alert

[HTML] Control rod drop hydrodynamic analysis for a pressurized water reactor
A Rabee, A Alf - Progress in Nuclear Energy, 2016 - Elsevier
During operation of nuclear power reactors, reactivity initiated accidents can take place such as a control rod drop. If this occurs, the reactivity increases significantly and leads to an enhancement in power, fuel temperature and damage of reactor eventually. Exact ...
☆ Cited by 14 Related articles All 3 versions Web of Science: 8 [HTML] sciencedirect.com Full-Text @ My Library

Design of an experiment to measure the decay heat of an irradiated PWR fuel: MERCI experiment
S Bourganell - 2002 - inis.iaea.org
Page 1 INSTITUT NATIONAL P TECHNIQUE DE GRENBE / / / THESE pour obtenir le grade de DOCTEUR DE L'INPC Sp 45 Et gn jr Phys jr prparatree au Commissariat ja l'Energie Atomique (Saclay) dans le cadre de l'Ecole doctorale Mccanique et Energetique ...
☆ Cited by 3 All 3 versions [PDF] iaea.org

[PDF] Similarity model of a PWR power plant
KJ Cardon - 1974 - osti.gov
... design projects. An important part of the design was the quasi-similarity (1,2) modeling of a full-scale PWR, in terms of geometrical hydrodynamic ... (2) 1 P Rre where z' and ATF are the dimensionless distance and fluid temperature ... (3) related to the fuel rod pitch-to-diameter ratio ...
☆ Cited by 4 All 4 versions [PDF] osti.gov

On the definition of the fuel temperature coefficient of reactivity for pin-cell calculations on an infinite lattice
WJM De Kruif, AJ Janssen - Annals of Nuclear Energy, 1993 - Elsevier
... the Doppler coefficient of reactivity in an infinite array of infinitely long pin cells which are characteristic for a PWR at beginning ... the nucleic densities have been varied with the fuel temperature in this calculational benchmark, the term fuel temperature coefficient ... knof' kcofd ATF ...
☆ Cited by 15 Related articles All 5 versions Web of Science: 6 Full-Text @ My Library

[PDF] ... SFD-ST Bundle Heating and Melting Experiment, a Typical BWR Under Fukushima-Daiichi-Accident-Like Thermal Hydraulic Conditions and PWR for a Steam ...
CM Allison, JK Hohorst, A Ezzidi, M Naitoh, R Percas - researchgate.net
... Model transient calculation for a typical BWR under Fukushima-Daiichi thermal hydraulic ... [PDF] researchgate.net



Další vyhledávače

www.scopus.com

www.webofknowledge.com

www.knihovna.cvut.cz

www.techlib.cz



Další hinty!

- Zdroje ve člancích

- Podle expertů

Development of Cr cold spray-coated fuel cladding with enhanced accident tolerance

Martin Ševeček^{a, b,} Anil Gurgen^a, Arunkumar Seshadri^a, Yifeng Che^a, Malik Wagih^a, Bren Phillips^c, Victor Champagne^c, Koroush Shirvan^a

References

- [1] J.C. Brachet, C. Lorrette, A. Michaux, C. Sauder, I. Idarraga-Trujillo, M. Le Saux, M. Le Flem, F. Schuster, A. Billard, E. Monsifrot, E. Torres, F. Rebillat, J. Bischoff, A. Ambard, CEA studies on advanced nuclear fuel claddings for enhanced accident tolerant LWRs fuel (LOCA and beyond LOCA conditions), in: Fontevraud 8: Conference on Contribution of Materials Investigations and Operating Experience to LWRs' Safety, Performance and Reliability, Avignon (France), 2015, 15–18 Sep 2014; 15 refs, 32 p.
- [2] H.-G. Kim, J.-H. Yang, W.-J. Kim, Y.-H. Koo, Development status of accident-tolerant fuel for light water reactors in Korea, Nucl. Eng. Technol. 48 (1) (Feb. 2016) 1–15.
- [3] B. Maier, et al., Development of cold spray coatings for accident-tolerant fuel cladding in light water reactors, JOM 70 (2) (2018).
- [4] J. Krejci, M. Sevecek, L. Cvrcek, Development of chromium and chromium nitride coated cladding for VVER reactors, in: Proceedings, WRFPM, 2017. A-131.
- [5] A.S. Kuprin, et al., Vacuum-arc chromium-based coatings for protection of zirconium alloys from the high-temperature oxidation in air, J. Nucl. Mater. 465 (Oct. 2015) 400–406.
- [6] R. Van Nieuwenhove, V. Andersson, J. Balak, B. Oberländer, In-pile testing of CrN, TiAlN and AlCrN coatings on Zircaloy cladding in the halden reactor, in: 18th International Symposium on Zirconium in the Nuclear Industry, 2016.
- [7] K. Daub, R. Van Nieuwenhove, H. Nordin, Investigation of the impact of coatings on corrosion and hydrogen uptake of Zircaloy-4, J. Nucl. Mater. 467 (Dec. 2015) 260–270.



Další hinty!

- **Youtube**
- **Přednášky knihovny**
- **Vedoucí práce**



VPN

- **ČVUT má předplacené odborné databáze a časopisy**
- **Přístup pouze z IP adresy univerzity nebo po přihlášení**
- **Když jsem doma -> použiji VPN**
- **<https://ist.cvut.cz/nase-sluzby/pripojeni-z-domova-vpn/>**

3.3 Jak na závěrečnou práci?

autor: Ing. Martin Ševeček, Ph.D.

afiliace: Katedra jaderných reaktorů, FJFI, ČVUT v Praze; ALVEL, a.s.

abstrakt: Příspěvek se zabývá doporučeními pro psaní závěrečných studentských prací na FJFI ČVUT v Praze. Shrnuje nejprve požadavky na studentské práce a jejich obsah, tipy pro používání zdrojů jako jsou citační nástroje nebo problematiku duševního vlastnictví a plagiátorství. Kromě obecných věcí se prezentace věnuje také doporučeným normám nebo postupu při psaní rešerší a kompilátů.



Jak psát závěrečnou práci?

Martin Ševeček
ČVUT, FJFI v Praze
(Editor – Acta Polytechnica CTU)

Seminář jaderného inženýrství 2020
Czech Technical University in Prague
17.září 2020



Mám vybrané téma, co teď?

1. Volba tématu (viz. Seba – VaV na KJR + databáze témat Bc. prací)
 - Diskuze se staršími, rešerše podobných témat z historie, setkání s vedoucím a konzultanty, seminář JI...
2. Pochopit zadání – připraví vedoucí, je závazné pro práci (drobnosti lze změnit v průběhu roku)
3. Důkladná rešerše tématu – od Wikipedie přes skripta po aktuální vědecké články
4. Ještě důkladnější rešerše tématu (podklady od vedoucího, samostatná rešerše) + ujasnění názvosloví (EN, CZ, RU...)
5. V čem budu psát, existuje šablona?
6. Jak se v mém SW pracuje se zdroji a jak se citují?
 - Práce se zdroji je zásadní z hlediska kvality i závěrečného hodnocení. Naučit se pracovat s literaturou je jedním z hlavních cílů Bc. prací.
7. Projít několik starších dobře hodnocených prací z KJR a začít psát vlastní text



Příprava a rešerše

- Jaké jsou hlavní cíle, co jsou nosné části a co okrajové?
 - Definovat obecnou strukturu/obsah odrážející zadání a cíle a přibližný rozsah
- Rešerše – soupis literatury – knihovny, elektronické databáze, firmy, technické zprávy... (viz odpoledne – „jak najít zdroje informací?“)
 - Terminologie + klíčová slova (Google)
 - Využít zdroje použité literatury a snažit se vypátrat původní zdroj
- Zdrojů informací jsou desítky v případě dizertaci až stovky – udělejte si v tom pořádek na začátku!!!
 - Kartotéka
 - Citační manažery (Mendeley, Zotero, CitacePRO...)
- Čerpání z literatury – nalezení kompromisu mezi hloubkou a dostatečným popisem tématu – nezaměřit se na jednu oblast, která vypadá zajímavě a věnovat se jí na 30 stran



Martin Sevecek, 9/17/2020
Page 3



- Bakalářská – schopnost prezentovat a řešit zadaný problém a obhájit své přístupy k řešení
 - Výzkumný úkol - stejné jako Bc. Práce, ale hloubka a rozsah je vyšší
 - Diplomová – stejné jako Bc. Práce, ale hloubka a rozsah je vyšší
 - Dizertační – samostatná vědecká práce, původní myšlenky a výsledky
- Každá katedra/instituce může mít zavedené jiné požadavky, je lepší se inspirovat pracemi KJR (může vést k problémům typicky pouze u nových externích vedoucích)

Závěrečné práce nejsou skripta!!



Martin Sevecek, 9/17/2020
Page 4



Formální náležitosti



Forma

- Šablony vyřeší většinu problémů
- Vyhlášky katedry, fakulty, rektorátu upravují některé požadavky
 - Grafický manuál ČVUT – podoba titulní strany a desek – pouze doporučené
- Technický text – neosobní, není citově zbarvený, musí vycházet z dat a faktů případně jiných zdrojů
- Existuje doporučená norma ČSN, která není závazná

Jednotný grafický styl – písma, číslování stran, zápatí/záhlaví, poznámky pod čarou, číslování kapitol, tabulky, obrázky, vzorce, přílohy

Odevzdání – tři výtisky + elektronická kopie





Časté formální nedostatky

- Gramatické chyby, překlepy, dělení slov – jednoduchá kontrola, zbytečně snižuje kvalitu práce
- Bez závěrečné kontroly – přetékaní textu, okraje, chybějící stránka, neaktualizované seznamy... (hodí se kontrola po tisku až na papíře)
- Značení a symboly – všechny musí být vysvětlené
- Chybí – seznam tabulek, obrázků, symbolů... (číslování vzorců, tabulek,...)
- Hovorové/nespisovné výrazy; Extrémně dlouhé vět X Krátké holé věty
- Matematický a fyzikální zápis – jednotky, mezery, kurzíva...



Martin Sevecek, 9/17/2020
Page 7



Citování

Tři kroky:

1. Vytvoření citace a její zahrnutí do databáze/evidence

Jsou nutné různé údaje dle typu zdroje – podobu určuje citační styl (rok, ISBN, autor, nakladatelství, WWW...)

2. Uspořádání citací do seznamu použité literatury

Seznam je na konci textu před přílohami a obsahuje všechny použité prameny. Řazení dle abecedy nebo pořadí použitých v textu dle zvolené normy.

3. Odkazování v textu na citace s seznamu literatury

Různé podoby dle zvolené normy – číslo, závorky, jméno prvního autora, strana....



Martin Sevecek, 9/17/2020
Page 8



ČSN ISO 690

Zásady:

- norma nepředepisuje, ale doporučuje varianty způsobů odkazů i citací
- autor si může vytvořit vlastní míru přesnosti citace, ale tak, aby citovaný dokument bylo možné snadno identifikovat a vyhledat
- v jedné práci musí být zachován jednotný styl (formát)
- příjmení autorů se píše velkými písmeny, u dokumentu s více autory lze zvolit počet jejich jmen pro uvedení v citaci a použít „et al.“ (a další)

MEYER-DELIUS, Daniel and Wolfram BURGARD. Maximum-likelihood sample-based maps for mobile robots. *Robotics and Autonomous Systems*. 2010, vol. 58, issue 2, p. 133-139.

[Harvard](#) (není nijak spojen s Harvard University)

Zásady:

- 2 autoři - spojka and
- 3 autoři a více - jméno 1. autora et al.
- iniciály křestních jmen autorů

Meyer-Delius, D. and Burgard, W. (2010). Maximum-likelihood sample-based maps for mobile robots. *Robotics and Autonomous Systems* 58(2), pp. 133-139.

[IEEE](#) (pro publikace vydávané IEEE)

Zásady:

- jména autorů - iniciály jména a příjmení, 3 a více - jméno 1. autora et al.
- zkratky titulů časopisů, název titulu časopisu *kurzívou* (viz příklad)
- název článku v „uvozovkách“

D. Meyer-Delius and W. Burgard, „Maximum-likelihood sample-based maps for mobile robots.“ *Robot. Autonom. Syst.*, vol. 58, pp. 133-139, Februar 2010.

Např.: ... podle Nováka (2009, str. 54) ...

... podle výsledků experimentu (Novák, 2009)...

- Císelné citace (odkaz na číslo citace v seznamu použité literatury):

uvádí se buď jako horní index²² nebo v kulaté (22) či v hranaté závorce [20]. V případě, že odkazujete na konkrétní část v dokumentu, můžete zapsat i čísla stránek.

Např.: ... (22, str. 143)...



Martin Sevecek,
11/27/2018 Page 9



Plagiátorství



Co vše je plagiátorství?

Úmyslný plagiát:

- Opsání bez citace; převzetí a publikování cizí práce; vydávání kompilace (rešerše) za vlastní text; okopírování grafických prvků apod.

Citační etika:

- Neuvedení zdroje, nedostatečné nebo nesprávné citování

Kompilát (rešerše)

- Použití jednoho zdroje místo syntézy více textů; používání delší doslovné pasáže; necitování



Martin Sevecek, 9/17/2020
Page 11



Slovenský premiér Matovič také opisoval, je stejný plagiátor jako Danko

Další člen Babišovy vlády končí kvůli plagiátorství.
Ministr práce a sociálních věcí Krčál podal demisi,
nahradit ho má Maláčová

Jak nebýt plagiátor

- Čtete vše, co citujete (citování již citovaného textu) – musím najít primární zdroj informace
- Cokoliv je použité a není vaše někde vzniklo – musí být odcitované
- Citace vše zdrojů – konzultace, telefonát, email, nepublikované informace a data...
- Dodržovat formální pravidla citací, jednotný formát a danou strukturu referencí
- Citovat i přeložené pasáže z cizích jazyků, při použití cizích dat a grafiky

Jasně plagiátorství, říká expert o další diplomové práci ministryně Malé. Označil hned 16 stran textu

Další podezření z plagiátorství. Ministr obrany Metnar v diplomové práci neuváděl citované zdroje



Závěry

- Pravidelně a aktivně komunikujte s vedoucími a konzultanty
- Využijte materiály a postupy, které existují. Není třeba vše tvořit od začátku.
- Na co se nejprve zaměřit?
 - Jak dělat rešerši = kompilát – naučit se posbírat zdroje a z nich vytvořit rešerši tj. úvod, motivaci a současný stav poznání v konkrétní oblasti
 - Naučit se pracovat s literaturou – správa zdrojů, vytvoření citací, citování v textu
- Vlastní práce by měla předat celý „příběh“ od výchozího stavu, představení problému a motivace k jeho řešení až po samotné řešení a z něj vycházející závěry.
- Bc. práce sice může určit další směr na několik let, ale není nutné v ní pokračovat a lze směr změnit
- V malém českém jaderném rybníčku bývá téma práce často hlavním bodem při případných pohovorech



4 Příspěvek hosta

4.1 Školní reaktor VR 1 Jak to začalo...

autor: doc. Ing. L'ubomír Sklenka, Ph.D.

afiliace: Katedra jaderných reaktorů, FJFI, ČVUT v Praze

abstrakt: Rozvoj jaderných technologií v Československu začal v klíčovém roce 1955, kdy byla založena Fakulta technické a jaderné fyziky, Ústavu jaderné fyziky, a také začala výstavba prvního jaderného reaktoru u nás. Již od svého založení se „jaderná fakulta“ pokoušela vybudovat svůj reaktor, který by umožňoval experimentální výuky svých studentů. První projekt vlastního reaktoru se objevil již koncem padesátých let, poté následovaly další v letech šedesátých, sedmdesátých, ale sen o vlastním reaktoru se zakladatelům naplnil až po pětatřiceti letech. Školní reaktor VR-1 by nikdy nebylo možné postavit bez klíčových odborníků jako např. prof. Matějka, doc. Štoll, prof. Havlíček, prof. Heřmanský nebo doc. Zeman, kteří navazovali na zakladatele jaderných věd v Československu, např. na prof. Petržílku, prof. Běhounek nebo prof. Šimáněho. Přesto je nutné připomenout, že na počátku všeho byl Enrico Fermi se svým prvním reaktorem Chicago Pile-1...

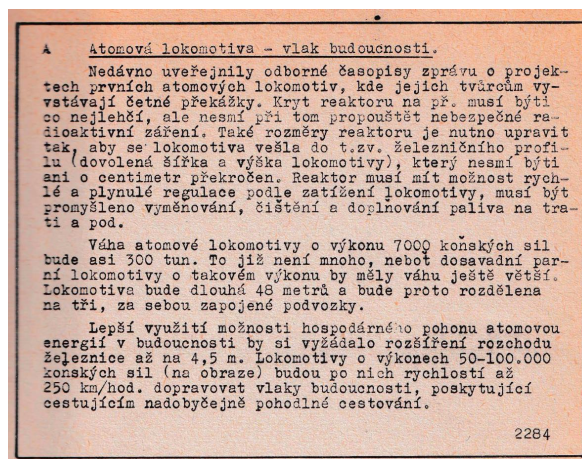
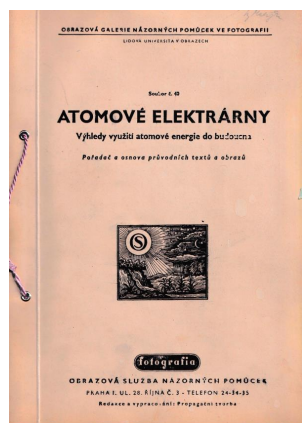
Školní reaktor VR-1

Jak to začalo...

doc. Ing. Ľubomír Sklenka, Ph.D.



ČVUT
ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE



Dobový dokument z 50. let - nedatováno



ČVUT
ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE

Seminář jaderného inženýrství 2020, 17. září 2020

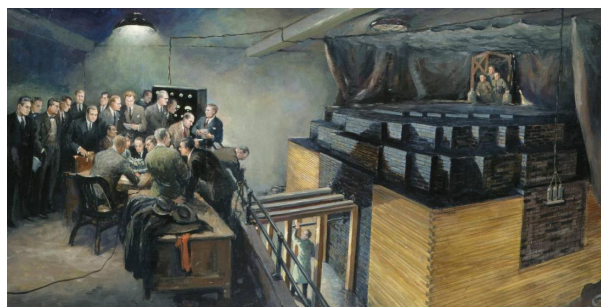


Enrico Fermi
(1901-1954)



Seminář jaderného inženýrství 2020, 17. září 2020

1942

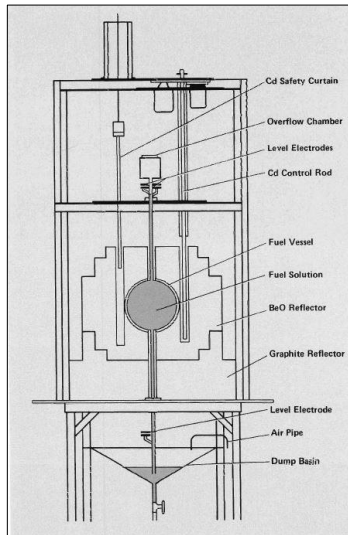


Chicago Pile-1 (CP-1)
(2. 12. 1942)



Seminář jaderného inženýrství 2020, 17. září 2020

1944

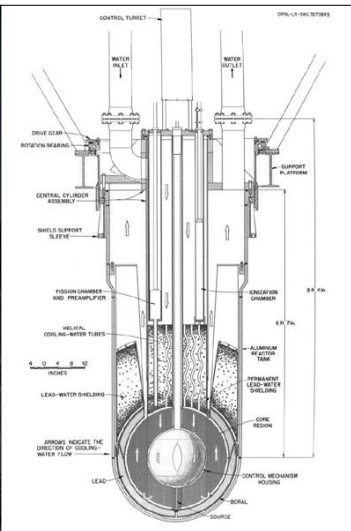
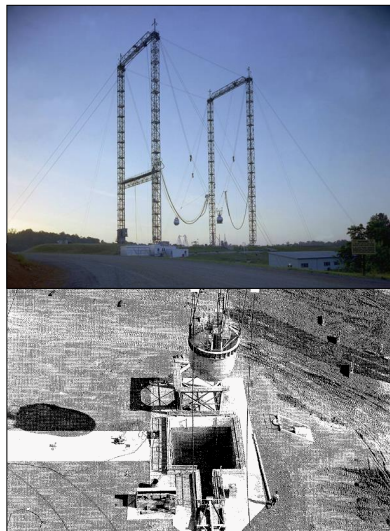


Reaktor LOPD
9. 5. 1944



Seminář jaderného inženýrství 2020, 17. září 2020

1954

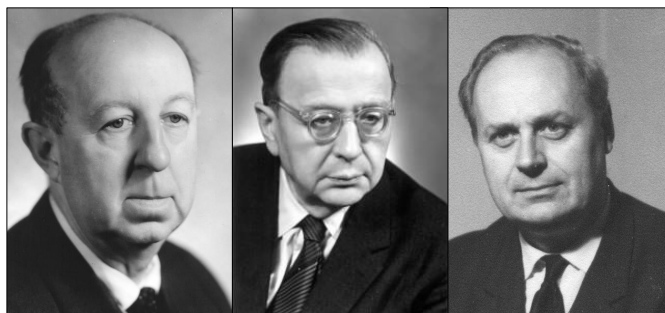


Reaktor TSR
12. 3. 1954



Seminář jaderného inženýrství 2020, 17. září 2020

1955



prof. Václav Petřílka
(1905-1976)

prof. František Běhounek
(1898-1973)

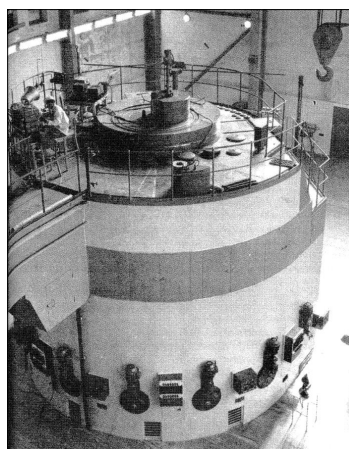
prof. Čestmír Šimáně
(1919-2012)



ČVUT
ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE

Seminář jaderného inženýrství 2020, 17. září 2020

1957



Reaktor VVR-S
24. 9. 1957



ČVUT
ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE

Seminář jaderného inženýrství 2020, 17. září 2020

1985



doc. Ivan Štoll
(1935-2017)

prof. Karel Matějka
(1919-2008)

prof. Miroslav Havlíček
(1938-)



ČVUT
ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE

Seminář jaderného inženýrství 2020, 17. září 2020

1985



prof. Bedřich Heřmanský

Milada Janková

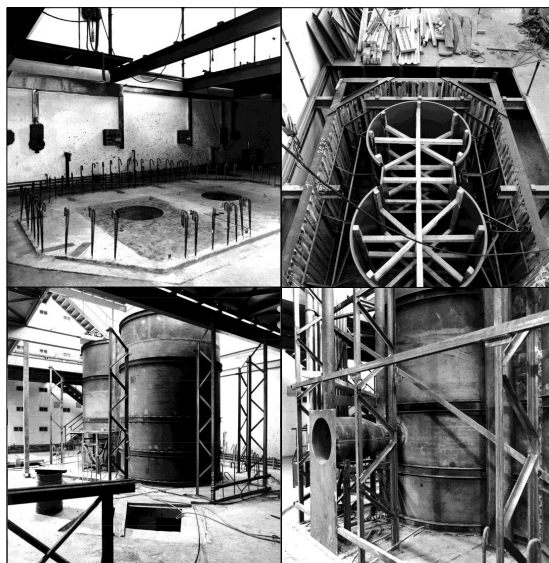
doc. Jaroslav Zeman



ČVUT
ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE

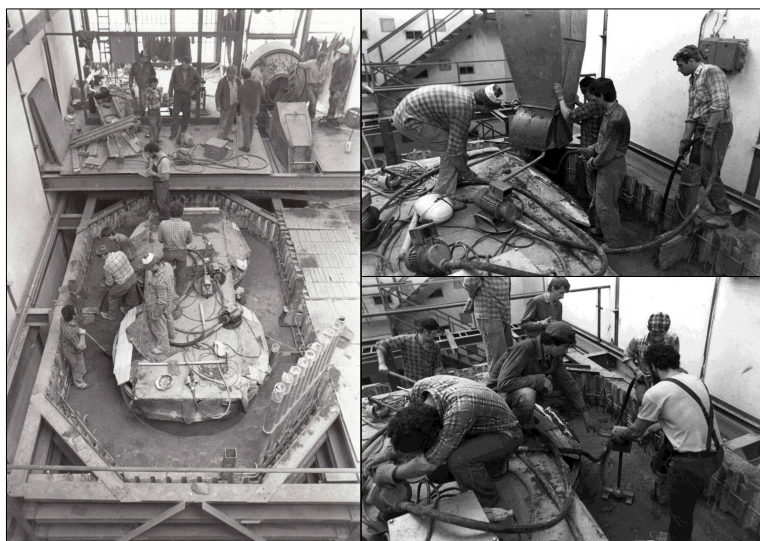
Seminář jaderného inženýrství 2020, 17. září 2020

1985



Seminář jaderného inženýrství 2020, 17. září 2020

1986



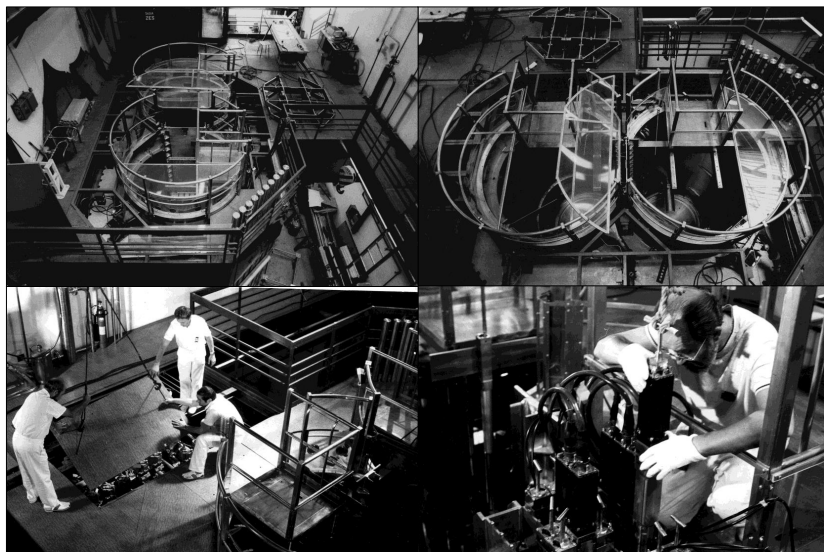
Seminář jaderného inženýrství 2020, 17. září 2020

1988



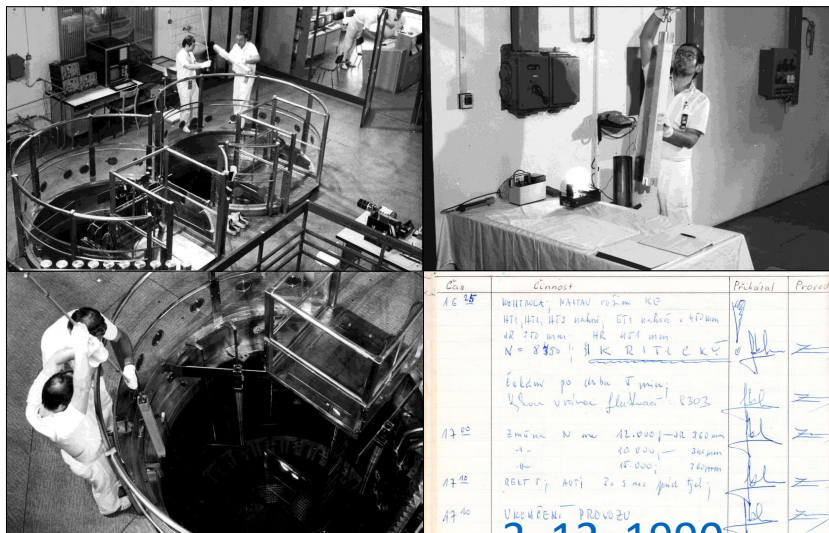
Seminář jaderného inženýrství 2020, 17. září 2020

1989



Seminář jaderného inženýrství 2020, 17. září 2020

1990



Čas	Činnost	Přítomni	Provoz
16:35	VEŠTĚNÍ, PŘÍPRAVA režim KČ HT1, HT2, HT3, HT4, HT5, HT6, HT7, HT8, HT9, HT10 HT10 470 mm; HT1 474 mm N = 8930; K R I T I C K Ě		
	Řešení po dobu 1 min. Výsledek: výhled - 8303		
17:00	změna N na 12.000 - 28.300 mm " " 10.000 - 28.300 mm " " 45.000 - 28.300 mm		
17:00	REKT. AVT. 20 s na před. fáz.		
17:40	UKONČENÍ PROVOZU		

3. 12. 1990



5 První blok prezentací studentů

5.1 Hledání alternativního provozního kódu pro reaktor LVR-15

autor: Bc. Jan Pinta

afiliace: Katedra jaderných reaktorů, FJFI, ČVUT v Praze

abstrakt: Hlavním cílem prezentovaného obsahu je stručné představení základních informací o probíhající analýze provozního kódu REBUS-PC pro návrhy vsázek reaktoru LVR-15. V úvodu je krátce představen výzkumný reaktor LVR-15 s důrazem na komentář důležitých rozdílů mezi energetickými a výzkumnými reaktory. Zejména jsou diskutovány rozdíly ve složení aktivní zóny a způsobu provozu. V další části je provedeno základní rozdělení výpočetních kódů s užším zaměřením na kódy určující neutronově-fyzikální parametry. Dále je představena hlavní motivace pro probíhající analýzu zvoleného kódu REBUS-PC, včetně hlavních dvou výpočetních modelů, na kterých analýza probíhala. V rámci jednotlivých modelů je prezentovaný obsah doplněn o grafické vizualizace některých výsledků. Cílem těchto vizualizací je především ilustrační rozměr. Závěrem jsou shrnuty některé aspekty osobního přínosu související s řešeným problémem.



Hledání alternativního provozního kódu pro reaktor LVR-15

Jan Pinta

pintajan@fjfi.cvut.cz

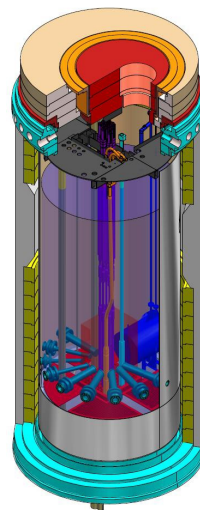
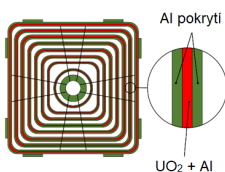
17. září 2020

Obsah

- 1 Reaktor LVR-15
- 2 Provozní kód
- 3 Smysl BP a VU
- 4 Hlavní osobní přínos

Reaktor LVR-15

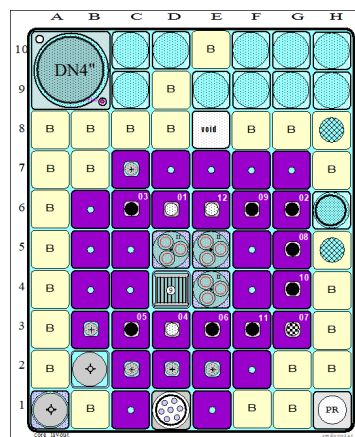
- Univerzální lehkovodní výzkumný reaktor tankového typu
- Provozovaný Centrem výzkumu Řež s.r.o. v areálu ÚJV Řež, a.s.
- V provozu od roku 1957 (LVR-15 od roku 1989)
- Tepelný výkon reaktoru je 10 MW
- Palivo trubkového typu IRT-4M je tvořeno směsí UO_2 a Al s obohacením 19,7 % ^{235}U



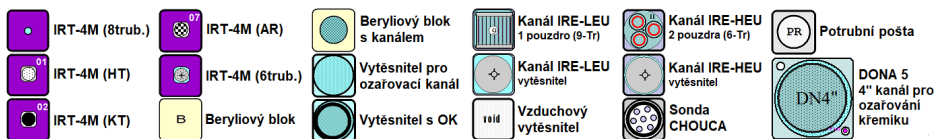
Zdroj: CVŘ Reaktor LVR-15

Reaktor LVR-15

- Jako chladivo a zároveň moderátor je využívána lehká voda
- Reflektor je, na základě konfigurace AZ, tvořen vodou nebo beryliovými bloky ve vodě
- Aktivní zóna obsahuje 28 – 34 palivových souborů, beryliové bloky, ozařovací terče a jiná experimentální zařízení
- Reaktivita je kompenzována pomocí 12 regulačních orgánů (8 KT, 3 HT, 1 AR)



Zdroj: Fyzikální výpočet kampaně K192



Provozní kód

- Výpočetní procedura pro určování požadovaných parametrů

N-F

T-H

Provozní kód

- Výpočetní procedura pro určování požadovaných parametrů

N-F

T-H

Provozní kód

- Výpočetní procedura pro určování požadovaných parametrů

N-F

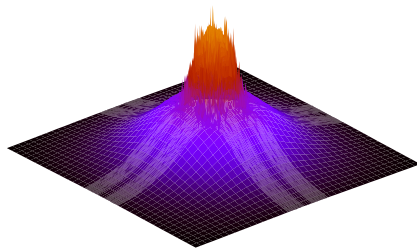
T-H

- Koeficient násobení / Reaktivita
- Rozložení hustoty toku neutronů
- Vyhoření
- Zásoba reaktivity
- Váha regulačních orgánů
- Stacionární otrava

Dělení kódů podle metody řešení

Stochastické

- Monte Carlo simulace



Deterministické

- Řešení transportní / difuzní rovnice

$$D\nabla^2\phi(\vec{r}, t) - \Sigma_a\phi(\vec{r}, t) + s(\vec{r}, t) = \frac{1}{v}\frac{\partial}{\partial t}\phi(\vec{r}, t)$$

Hledání alternativního provozního kódu

- Současné výpočetní prostředky pocházejí z 80. let
- Cílem bylo zjistit jaké výpočetní kódy pro návrhy vsázek jsou využívány na jiných výzkumných reaktorech v Evropě
- Na základě provedené analýzy byl vybrán nejvhodnější výpočetní kód

Hledání alternativního provozního kódu

- Současné výpočetní prostředky pocházejí z 80. let
- Cílem bylo zjistit jaké výpočetní kódy pro návrhy vsázek jsou využívány na jiných výzkumných reaktorech v Evropě
- Na základě provedené analýzy byl vybrán nejvhodnější výpočetní kód

REBUS-PC

Hledání alternativního provozního kódu

- Současné výpočetní prostředky pocházejí z 80. let
- Cílem bylo zjistit jaké výpočetní kódy pro návrhy vsázek jsou využívány na jiných výzkumných reaktorech v Evropě
- Na základě provedené analýzy byl vybrán nejvhodnější výpočetní kód

REBUS-PC

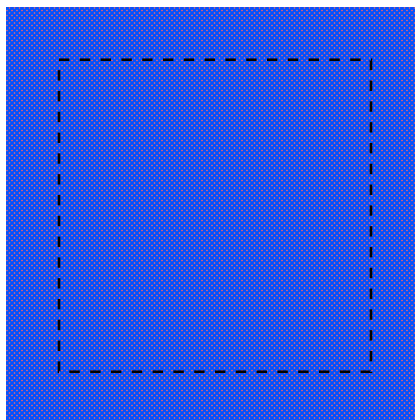
+

WIMS-ANL

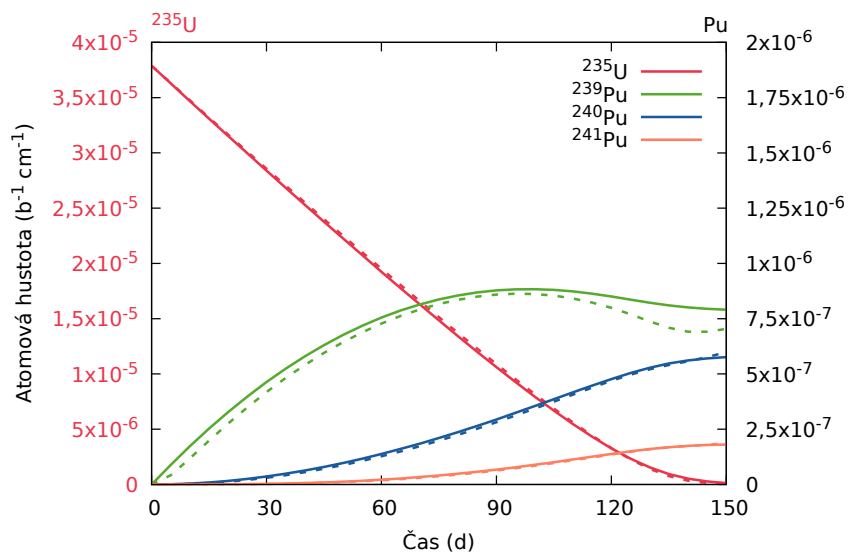
Příprava jaderných dat

Analýza alternativních výpočetních kódů

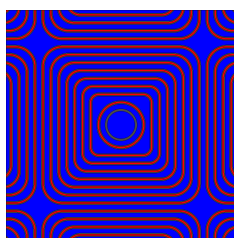
- Provedeny výpočty jednoduché násobící soustavy
- Homogenní směs $^{235}\text{U} + \text{H}_2\text{O}$



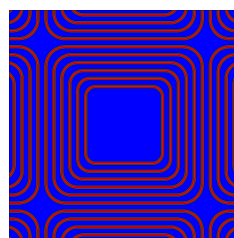
Dlouhodobý vývoj koncentrací ^{235}U a Pu



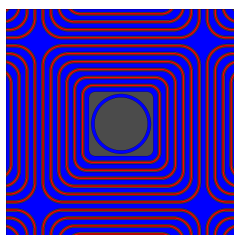
Palivo IRT-4M



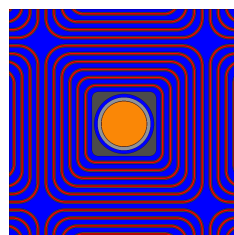
8trubkový PS



PS s centrální pastí

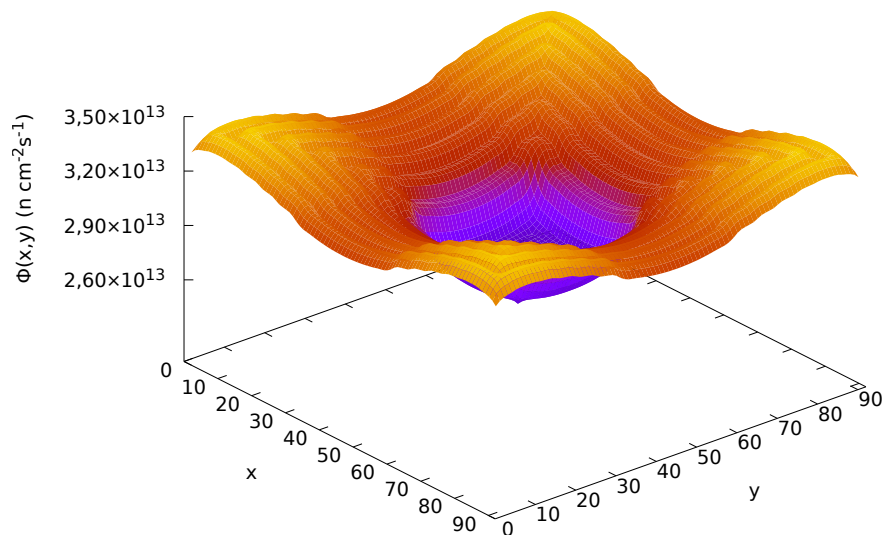


PS s výtěsnitelem

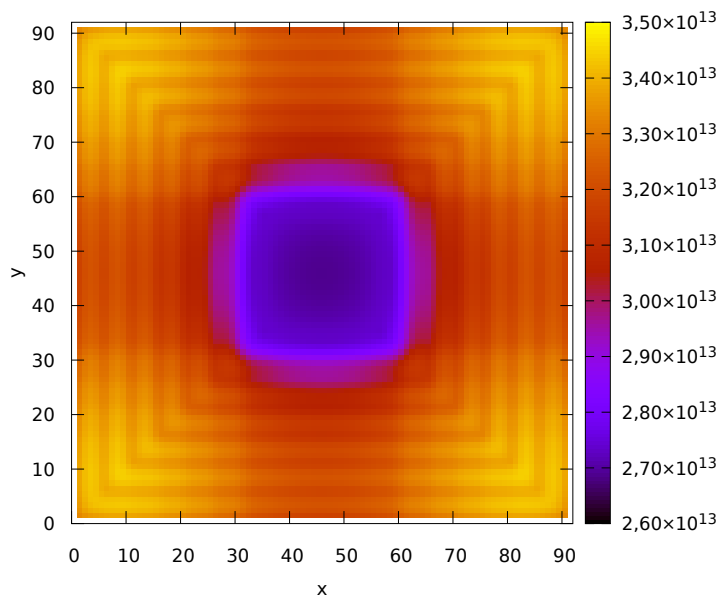


PS s absorbátorem

Radiální prostorové rozložení celkové hustoty toku neutronů v 6trubkovém PS s absorbatorem



Radiální prostorové rozložení celkové hustoty toku neutronů v 6trubkovém PS s absorbatorem



Hlavní osobní přínos

- Absolvování procesu vytváření výpočetních modelů v kódu, který není v rámci institucí v ČR nikým běžně využíván
- Nahlédnutí do problematiky plánování vsázek reaktoru LVR-15 a pochopení základních specifických vlastností jeho provozu
- Získání vlastních podkladů pro zadání navazující diplomové práce

Děkuji za pozornost

Jan Pinta
V Praze dne 17. září 2020

5.2 Energy Well

autorka: Bc. Jana Šošková

afiliace: Katedra jaderných reaktorů, FJFI, ČVUT v Praze

abstrakt: Po odstavení jaderného reaktoru vydává palivo zbytkové teplo vlivem rozpadu izotopů. Toto teplo je nezanedbatelné při různých provozních stavech reaktoru a efektivní odvod zbytkového tepla je klíčový pro zvládnutí havarijního stavu reaktoru. Tato bakalářská práce byla zaměřena na vliv zbytkového tepla na malý modulární reaktor Energy Well (EW) a na způsoby jeho stanovení. EW je koncept vysokoteplotního reaktoru chlazeného fluoridovou tekutou solí FLiBe, má moderátor z grafitu a pevné prismatické TRISO palivo, plánovaný výkon je 20MWt. V rámci verifikace bezpečnosti konceptu Energy Well je provedeno srovnání zbytkového tepelného výkonu paliva pomocí dvou nezávislých výpočetních kódů, a to SCALE za použití deterministického modulu a SERPENT fungující na bázi Monte Carlo. Pomocí zbytkového tepelného výkonu a s použitím modelu Energy Well v termohydraulickém kódu TRACE byly dále určeny teploty v klíčových místech aktivní zóny reaktoru po jeho odstavení.

Stanovení zbytkového tepelného výkonu paliva

Jana Šošková

KJR FJFI ČVUT
Pracoviště: CV Řež, s.r.o.
Vedoucí práce: Ing. Marek Ruščák
Konzultant: Ing. Martin Ševeček

17/09/2020

Stanovení zbytkového tepelného výkonu paliva

1

Osnova prezentace

- Motivace
- Reaktor Energy Well (EW)
- Palivový soubor EW
- Určení zbytkového tepelného výkonu
- Výpočet odstavení reaktoru
- Závěr

17/09/2020

Stanovení zbytkového tepelného výkonu paliva

2

Motivace

- Zbytkové teplo
- Vliv na lehkovodní reaktory
 - Systém odvodu zbytkového tepla po odstavení
 - Havarijní stavy
- Energy Well

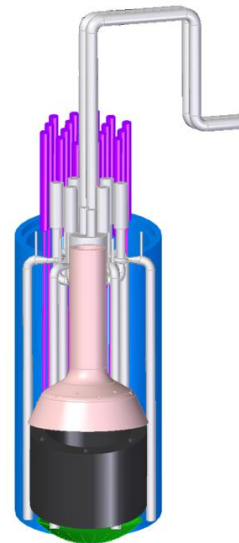
17/09/2020

Stanovení zbytkového tepelného výkonu paliva

3

Reaktor Energy Well

- Koncept malého modulárního reaktoru
- Palivo typu TRISO s UCO, obohacení 15%
- Moderátor grafit
- Chlazené tekutou solí FLiBe
- Elektrárna se třemi okruhy, výkon 20 MWt (8,6 MWe)
- Sedmiletý provoz
- 19 palivových souborů



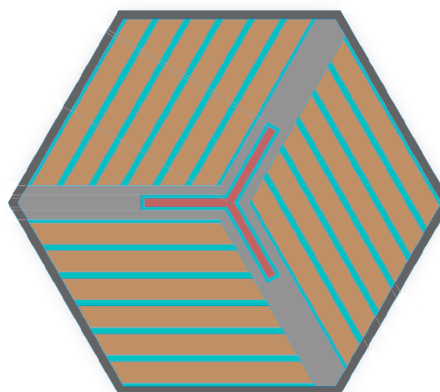
17/09/2020

Stanovení zbytkového tepelného výkonu paliva

4

Geometrie a materiály palivového souboru

- Šedá – moderátor: grafit
- Azurová – chladivo: tekutá sůl FLiBe
- Hnědá – palivová deska sendvičového uspořádání
- Červená – regulační tyč

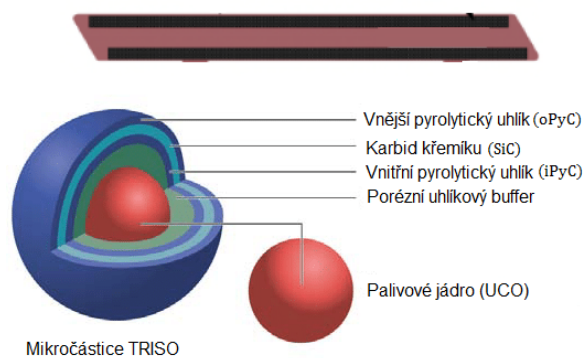


17/09/2020

Stanovení zbytkového tepelného výkonu paliva

5

Palivová deska, TRISO



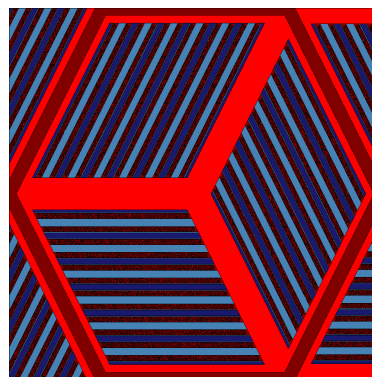
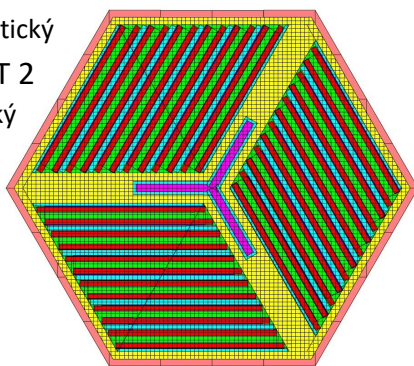
17/09/2020

Stanovení zbytkového tepelného výkonu paliva

6

Určení zbytkového tepelného výkonu

- Kód SCALE 6.2
 - Deterministický
- Kód SERPENT 2
 - Stochastický



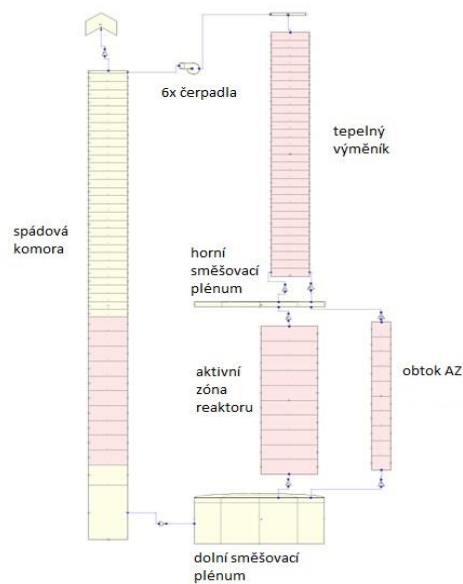
17/09/2020

Stanovení zbytkového tepelného výkonu paliva

7

Výpočet odstavení reaktoru

- Teploty v klíčových místech AZ EW po odstavení
 - Chladivo vstup a výstup AZ
 - Teplotní maximum průměrné palivové desky
- Termohydraulický kód TRACE V5.0



17/09/2020

Stanovení zbytkového tepelného výkonu paliva

8

Závěr

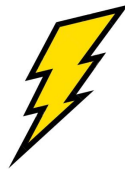
- Seznámení s jevem zbytkového tepelného výkonu
- Vliv na LWR a EW
- Chladivo FLiBe a palivo TRISO
- Určen zbytkový tepelný výkon PS EW pomocí SCALE a SERPENT
- Výpočet odstavení reaktoru

17/09/2020

Stanovení zbytkového tepelného výkonu paliva

9

Děkuji za pozornost!



17/09/2020

Stanovení zbytkového tepelného výkonu paliva

10

5.3 Potenciální náhrada jaderného paliva IRT-4M na školním reaktoru VR-1 jiným palivem

autor: Bc. Jan Čada

afiliace: Katedra jaderných reaktorů, FJFI, ČVUT v Praze

abstrakt: Již přes třicet let je na školním reaktoru VR-1 používáno jaderné palivo IRT-M. Cílem bakalářské práce je najít náhradu současně používaného jaderného paliva IRT-4M za palivo vyráběné jinou firmou, a tím se odprostit od závislosti na ruských jaderných palivech. Po provedení rešerše současného využití jaderných paliv na výzkumných reaktorech bylo navrženo nové jaderné palivo vhodné pro náhradu. Ve výpočetní části práce je proveden zjednodušený neutronický výpočet konfigurace aktivní zóny reaktoru VR-1 s nově navrženým palivem.

Potenciální náhrada jaderného paliva IRT-4M školního reaktoru VR-1 jiným palivem

Bakalářská práce
Jan Čada
akademický rok 2019/2020



Paliva používaná na výzkumných reaktorech

- Dělení jaderných paliv pro výzkumné reaktory
 - izotop, obohacení, chemická forma, rozložení paliva a moderátoru, geometrie, dostupnost na světových trzích, cena
- Dostupná jaderná paliva na světových trzích
 - TVEL, CERCA, INVAP, KDI, CIAE

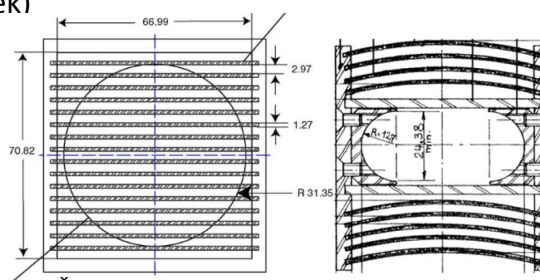
Vybrané parametry paliva vhodného pro reaktor VR-1

Parametr	hodnota
Typ izotopu	^{235}U
Chemická forma	UO_2 , UAl_x , U_3Si_2
Obohacení	< 20 %
Rozložení paliva a moderátoru	heterogenní
Geometrie	trubková, desková



Návrh deskového paliva pro reaktor VR-1

- Deskové palivo MNR:
 - kanadský výzkumný reaktor McMaster Nuclear Reactor (MNR)
 - v provozu od roku 1959, 3 MW
 - plochá geometrie (16 destiček)
 - absorpční tyč (9 destiček)
 - + zakřivená geometrie
 - obohacení: 19,75 %
 - $4,8 \text{ gU/cm}^3$



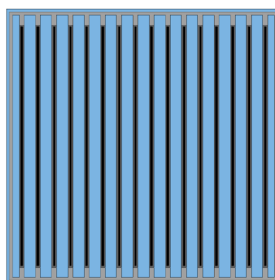
Řezy palivovými články jaderného paliva MNR



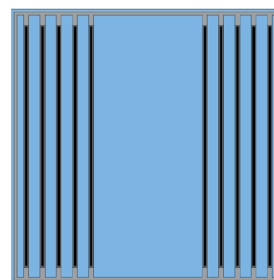
3/14

Návrh deskového paliva pro reaktor VR-1

- Deskové palivo MTR-VR:
 - zjednodušený model
 - plný článek (16 destiček)
 - článek s vodní mezerou (10 destiček)
 - chem. forma: U_3Si_2
 - obohacení: 19,75 %
 - $4,8 \text{ g U/cm}^3$



MTR-VR-16



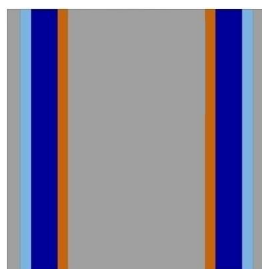
MTR-VR-10



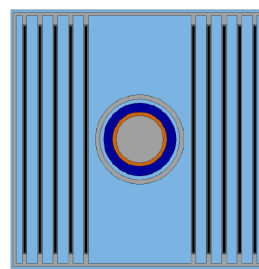
4/14

Návrh deskového paliva pro reaktor VR-1

- Palivo MTR-VR s absorpční tyčí UR-70:
 - modelovaná pouze aktivní část
 - geometrie a izotopické složení tyče převzato od KJR
 - model vedení absorbéru



Model absorpční tyče UR-70



MTR-VR-10 s UR-70



Návrh aktivní zóny VR-1 s palivem MTR-VR

- Výpočetní program Serpent
 - použitá verze: Serpent 1
 - knihovna jaderných dat: ENDF/B-VIII
- Ověření geometrie paliva MTR-VR
 - porovnání násobící schopnosti s palivem IRT-4M

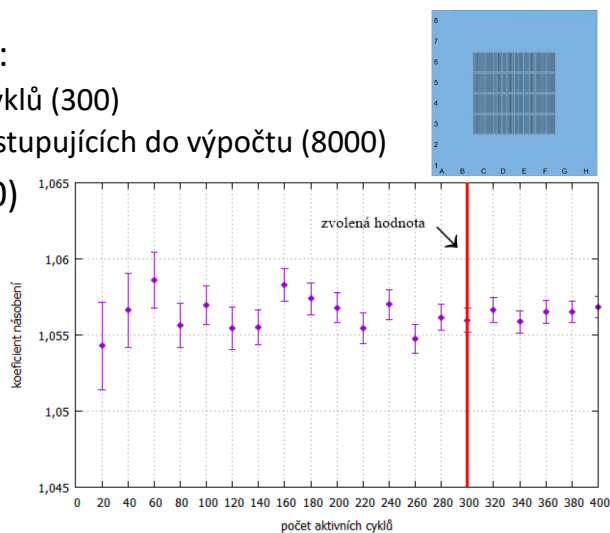
Srovnání k_{∞} paliva IRT-4M a MTR-VR

Jaderné palivo	palivový článek	$k_{\infty} \pm 3\sigma$
IRT-4M	4tr.	1,42989 \pm 0,00024
	6tr.	1,50662 \pm 0,00037
	8tr.	1,52681 \pm 0,00036
MTR-VR	MTR-VR-16	1,51527 \pm 0,00087



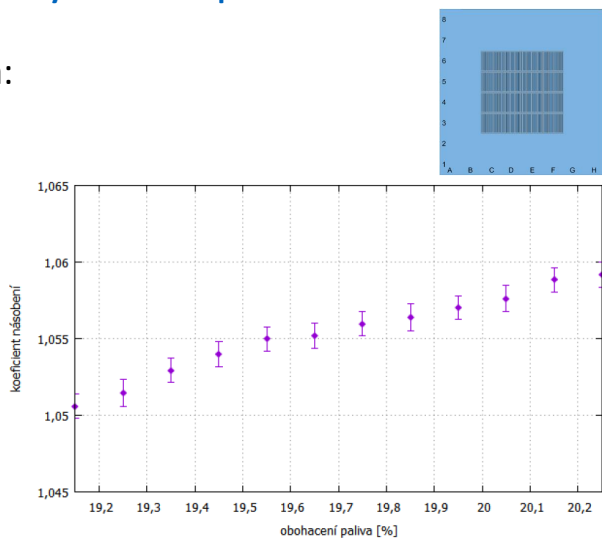
Návrh aktivní zóny VR-1 s palivem MTR-VR

- Kalibrační výpočet:
 - počet aktivních cyklů (300)
 - počet neutronů vstupujících do výpočtu (8000)
- Neaktivní cykly (50)



Návrh aktivní zóny VR-1 s palivem MTR-VR

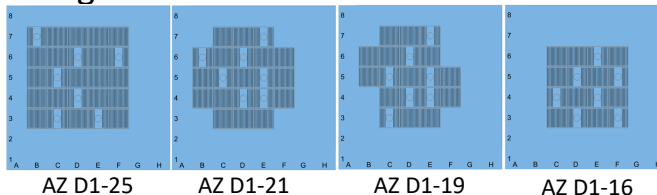
- Citlivostní analýza:
 - obohacení paliva
 - hustota uranu
 - hustota pokrytí



Návrh aktivní zóny VR-1 s palivem MTR-VR

- Výběr vhodné konfigurace:

- 4 varianty



Přehled konfigurací aktivních zón s palivem MTR-VR

Konfigurace	MTR-VR-16	MTR-VR-10	hmotnost ^{235}U [g]	$k_{ef} \pm 3\sigma$
AZ D1-25	18	7	6444	$1,12419 \pm 0,00081$
AZ D1-21	14	7	5292	$1,08843 \pm 0,00082$
AZ D1-19	12	7	4716	$1,03156 \pm 0,00084$
AZ D1-16	9	7	3852	$1,02223 \pm 0,00077$
AZ C12-C	IRT-4M 8tr: 8 a 6tr: 10		5003	$1,01701 \pm 0,00011$

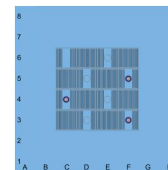


9/14

Návrh aktivní zóny VR-1 s palivem MTR-VR

- Konfigurace kritické aktivní zóny:

- použita AZ D1-16
- na pozici C6 umístěn článek MTR-VR-10



Hodnoty k_{ef} a ρ pro různé polohy absorpčních tyčí v AZ D1-16

Polohy tyčí (↑ = horní konc. poloha, ↓ = dolní konc. poloha)								
B1	B2	B3	E1	E2	R1	R2	k_{ef}	ρ [β_{ef}]
↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	0,92312	-10,94
↑	↑	↑	↓	↓	↓	↓	0,97587	-3,25
↑	↑	↑	↑	↓	↓	↑	1,00095	0,12
↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	1,01961	2,53
↑	↑	↑	↑	↓	330	400	1,00015	0,02
↑	↑	↑	↓	↑	360	350	1,00013	0,02



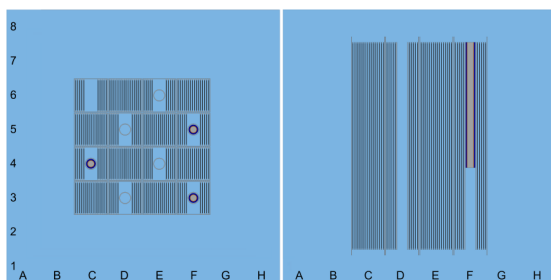
10/14

Návrh aktivní zóny VR-1 s palivem MTR-VR

- Váhy řídicích tyčí:
 - největší váha: B2 (E4), B3 (D5)
 - nejmenší váha: E2 (F3)

Váhy řídicích tyčí v AZ D1-16

Tyč	pozice	váha tyče $\pm 3\sigma$ [β_{ef}]
B1	D3	1,51 \pm 0,06
B2	E4	2,71 \pm 0,11
B3	D5	2,87 \pm 0,12
E1	E6	1,46 \pm 0,06
E2	F3	0,92 \pm 0,03
R1	F5	1,44 \pm 0,05
R2	C4	1,58 \pm 0,07
Celkem		12,49 \pm 0,14



Horizontální řez a vertikální řez 5. řadou kritické AZ



11/14

Projekt LEU-FOREvER a srovnání s MTR-VR

- Projekt LEU-FOREvER
 - evropský projekt spuštěný v roce 2017
 - sdružuje aktéry evropské výzkumné reaktorové komunity: CEA, CVŘ, CERCA, NCBJ, SCK-CEN, TechnicAtome a TUM
 - cílem projektu je diverzifikace dodavatelského řetězce paliva pro evropské výzkumné reaktory
 - navrženo palivo FPFA (Flat Plate Fuel Assembly) ve dvou variantách: SFA a CFA
 - projekt financován programem EU HORIZON 2020

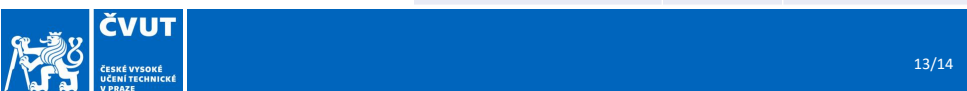


12/14

Projekt LEU-FOREvER a srovnání s MTR-VR

Srovnání základních parametrů paliv FPFA a MTR-VR

Jaderné palivo	FPFA	MTR-VR
Palivová část	U_3Si_2	U_3Si_2
Obohacení	19,75 %	19,75 %
Hustota uranu	4,8 g/cm ³	4,8 g/cm ³
Pokrytí	SAV-1	AG3NE
Geometrie paliva	desky	desky
Tloušťka palivové části	0,51 mm	0,51 mm
Tloušťka pokrytí	0,38 mm	0,38 mm
Mezera mezi deskami	1,98 mm	2,97 mm
Počet desek v článku	SFA: 22	MTR-VR-16: 16
	CFA: 12	MTR-VR-10: 10
k_{∞}	SFA: 1,66	MTR-VR-16: 1,51
	CFA: 1,58	MTR-VR-10: 1,38



13/14

Závěr

- Prvotní výpočty potvrdily potenciální možnost náhrady paliva IRT-4M na reaktoru VR-1 palivem MTR-VR – je potřeba provést další analýzy
- Podrobnější analýzy aktivní zóny a detailnější model palivových článků MTR-VR budou předmětem navazujících prací



14/14

5.4 Studium podkritického reaktoru s externími zdroji neutronů

autor: Bc. Petr Kladiva

afiliace: Katedra jaderných reaktorů, FJFI, ČVUT v Praze

abstrakt: Práce se zabývá studiem rozložení hustoty neutronového toku v podkritickém reaktoru. To je dáno kromě konfigurace aktivní zóny také polohami externích neutronových zdrojů. Změny v rozložení hustoty neutronového toku v podkritickém reaktoru mohou mít významný vliv na měření reaktivity podkritického reaktoru. Jednou z možností odhadu rozložení neutronového toku v podkritické soustavě je výpočetní kód SERPENT. Výpočetní kód je v práci testován a porovnáván s experimenty provedenými na reaktoru VR-1.



STUDIUM PODKRITICKÉHO REAKTORU S EXTERNÍMI ZDROJI NEUTRONŮ

FAKULTA JADERNÁ A FYZIKÁLNĚ INŽENÝRSKÁ

PETR KLADIVA

17. 9. 2020



Proč?

- Částečně vyhořelé palivo jako externí zdroj neutronů v energetickém reaktoru
- Spouštění výzkumného reaktoru



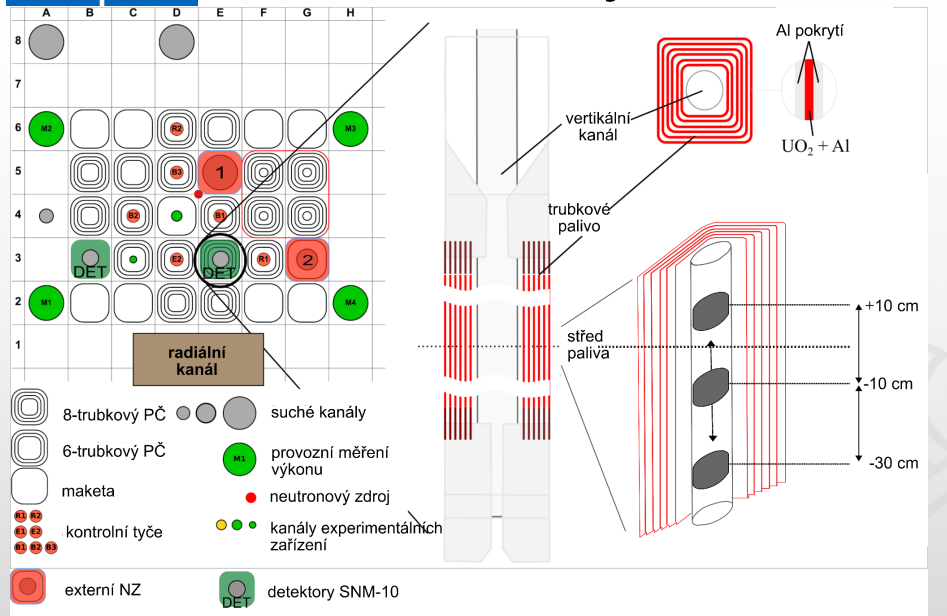
Příklady externích zdrojů

**VVER-440-částečně
vyhořelé palivo**
V závislosti na
vyhoření a obohacení
paliva: Emisní četnost
 $1,19 \cdot 10^6 \div 3,00 \cdot 10^8$
n/s/soubor

**Spouštěcí AmBe zdroj
VR-1**
Emisní četnost
 $1,20 \cdot 10^7$ n/s



Schéma aktivní zóny C12-C



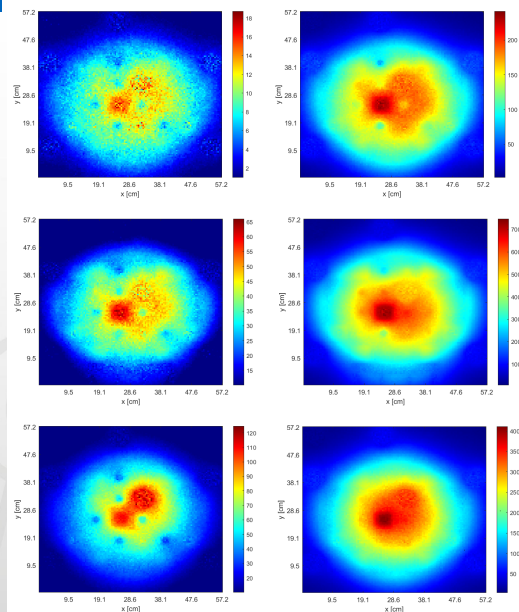


Shrnutí experimentů

- **6 detektorů (2 v aktivní zóně)**
- **2 neutronové zdroje**
- **96 kombinací pozic zdrojů a detektorů**
- **Měření s konstantní podkritičností**
- **Měření při změně podkritičnosti**

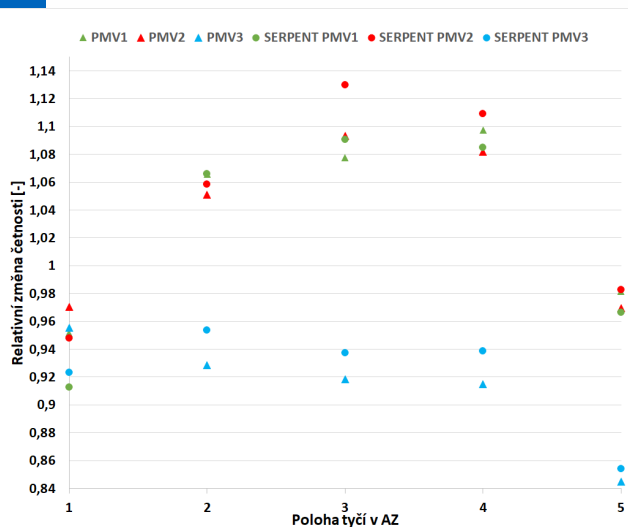


Rozložení hustoty neutronového toku v aktivní zóně podkritického (vlevo) a kritického (vpravo) reaktoru VR-1 v rovinách xy ve spodní (dole), střední (střed) a horní (nahore) části aktivní zóny





Relativní změny měřených a simulovaných četností na detektorech PMV v závislosti na podkritičnosti systému vzhledem k detektoru PMV4.



$$\Delta_p = \frac{m_i s_{ref}}{m_{ref} s_i}$$

	1	2	3	4	5
Všechny tyče v DKP	B1 v HKP	B1, B2 v HKP	B1, B2, B3 v HKP	B1, B2, B3 v HKP E2 141 mm nad DKP	B1, B2, B3, R1 v HKP, E2 141 mm nad DKP



Děkuji za pozornost

5.5 Výpočet reflektoru pro aktivní zónu reaktoru VR-1

autor: Bc. Ondřej Petrášek

afiliace: Katedra jaderných reaktorů, FJFI, ČVUT v Praze

abstrakt: Pro optimální fungování reaktoru je důležitý vhodný reflektor neutronů. Reflektory zlepšují rozložení hustoty toku neutronů v aktivní zóně a jejich bilanci. Díky tomu se snižuje kritický rozměr aktivní zóny a lze tak sestavit reaktor menších rozměrů se zachováním výkonnostních parametrů. Další funkcí reflektorů je ochrana reaktorové nádoby před neutrony z aktivní zóny. Díky těmto vlastnostem lze prodloužit životnost reaktorové nádoby a zajistit rovnoměrnější vyhořívání paliva v aktivní zóně. V bakalářské práci byla provedena rešerše obsahující fyzikální a konstrukční popis reflektorů. V rešerši je dále detailní popis reflektorů tlakovodních reaktorů a experimentů s různými reflektory na výzkumných reaktorech. V práci je dále zpracována rešerše ohledně výpočetního kódu Serpent. Na rešeršní část navazuje návrh ocelového reflektoru pro školní reaktor VR-1 a výpočet aktivní zóny s navrženým reflektorem, který je proveden pomocí výpočetního kódu Serpent. Výsledky jsou analyzovány a je popsán vliv reflektoru na aktivní zónu pomocí veličin: rozložení hustoty toku neutronů, spektrum neutronů a váha regulačních tyčí.

Výpočet reflektoru pro aktivní zónu reaktoru VR- I

Autor: Ondřej Petrášek

Vedoucí práce: Ing. Ondřej Novák

CÍL PRÁCE

- Zpracování teorie neutronových reflektorů v jaderných reaktorech (zaměření na reflektory tlakovodních reaktorů) a výsledků z experimentů na výzkumných zařízeních
- Stručná rešerše o výpočetním kódu Serpent
- Návrh reflektoru pro aktivní zónu reaktoru VR-I
- Provedení výpočtů navržené aktivní zóny v kódu Serpent
- Analýza výsledků a posouzení použitelnosti reflektoru

REFLEKTOR V JADERNÉM REAKTORU

- Vlastnosti reflektoru (podobný moderátoru)
- Vliv reflektoru na reaktor a aktivní zónu:
 - Ochrana reaktorové nádoby
 - Vliv na Rozložení hustoty toku neutronů (vyrovnání výkonu)
 - Snížení kritických rozměrů
- Konstrukční řešení

REFLEKTORY TLAKOVODNÍCH REAKTORŮ

- Odlišnost reaktorů západního a východního typu
- VVER – kombinace lehké vody a oceli
- PWR II. generace – kombinace lehké vody a oceli
- Pokročilé PWR (EPR) – masivní ocelový blok

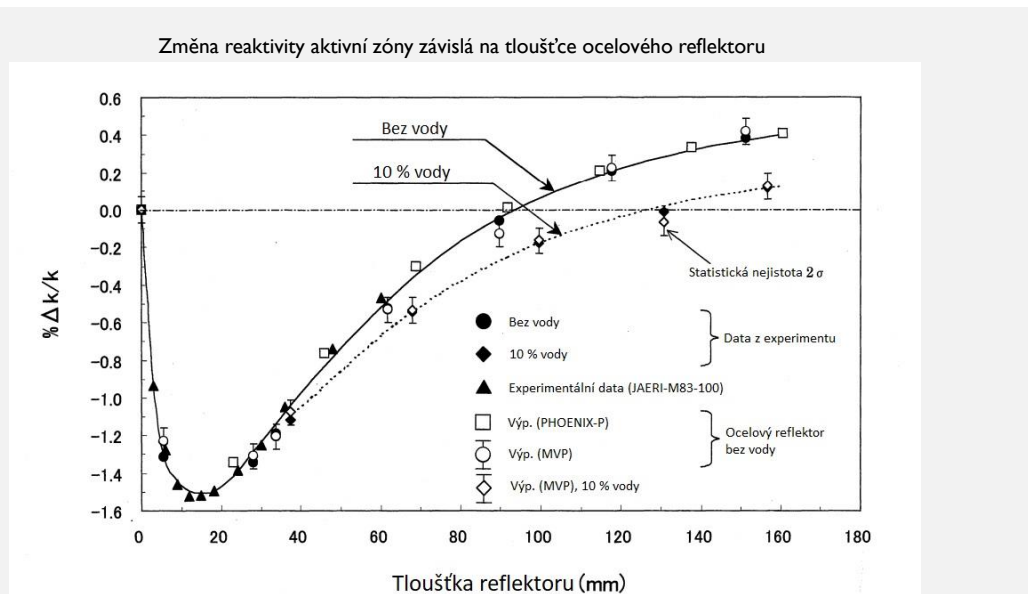
ODLIŠNÉ TYPY REFLEKTORŮ TLAKOVODNÍCH REAKTORŮ

VVER 1000 – horizontální řez

PERLE (model EPR) – horizontální řez

EXPERIMENTY S REFLEKTORY NA VÝZKUMNÝCH REAKTORECH

- Zkoumání vlivu reflektorů na AZ ve výzkumných reaktorech
- Aplikace výsledků pro energetické reaktory
- Typy reflektorů:
 - Těžké (ocelové) + kombinace s vodou
 - Jiné lehké – beryllium

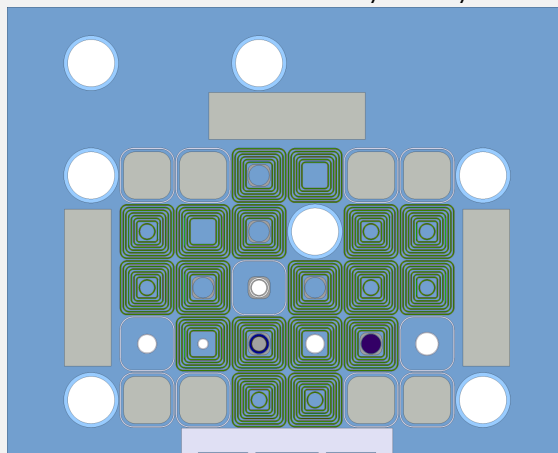


SERPENT

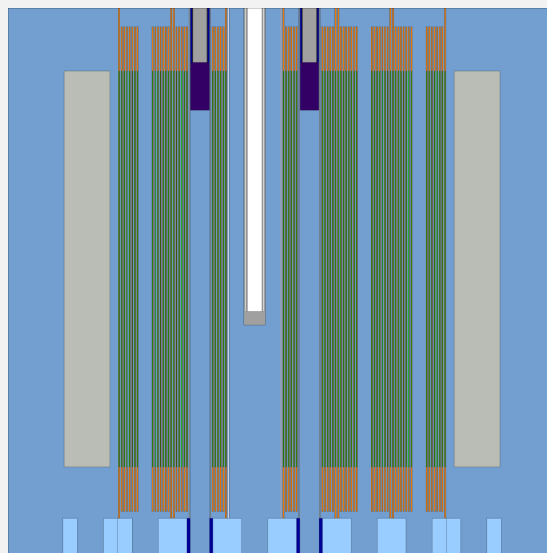
- Víceúčelový 3D Monte Carlo transportní kód
- Vstup – textový soubor
- Skládání různých úrovní geometrie
- Objekty tvořené pomocí povrchů
- Více možností výstupu – práce s detektory

NÁVRH REFLEKTORU

Horizontální řez aktivní zónou VR-I s navrženým ocelovým reflektorem



Vertikální řez aktivní zónou VR-I

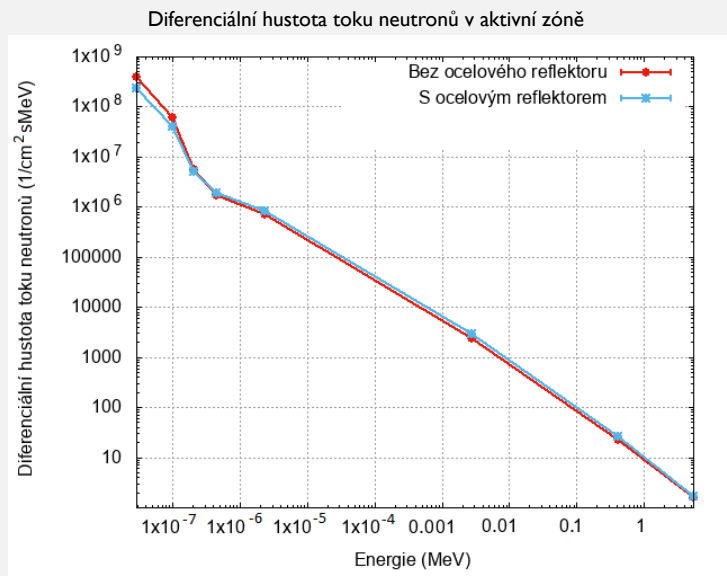
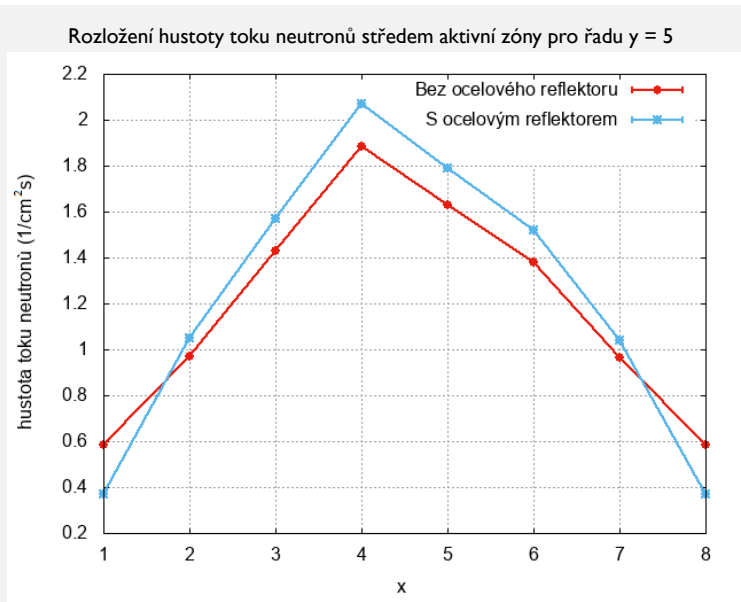


VÝPOČET

- Výpočetní kód Serpent: SERPENT 2.1.31
- Použitý materiál reflektoru: ocel
- Použitá knihovna jaderných dat ENDF/B-VIII.0
- Rozsah výpočtu: 2000 cyklů s 200000 neutrony v každém cyklu

VÝSLEDKY

- Snížení k_{eff} z hodnoty $(9,99675 \cdot 10^{-1} \pm 5 \cdot 10^{-5})$ na hodnotu $(9,81296 \cdot 10^{-1} \pm 5 \cdot 10^{-5})$
- Změna rozložení hustoty toku neutronů v aktivní zóně – vyšší hustota toku neutronů ve středu aktivní zóny a nižší na okraji
- Změna energetického spektra



ZÁVĚR

- Je důležité pro reaktor navrhnout správný reflektor
- Navržený reflektor je nevhodný pro energetické reaktory menších rozměrů. Při menších rozměrech reaktorové nádoby je výhodnější použít jako reflektor vodu.
- Ocelový reflektor je efektivní od větších rozměrů (přibližně 15 cm tloušťky)

Děkuji za pozornost

6 Druhý blok prezentací studentů

6.1 Analýza odezvy samonapájecích detektorů neutronů s využitím Monte-Carlo programu Serpent 2

autor: Bc. Pavel Jíška

afiliace: Katedra jaderných reaktorů, FJFI, ČVUT v Praze

abstrakt: Vnitroreaktorová měření se podílejí na stanovení výkonové distribuce uvnitř aktivní zóny jaderného reaktoru. Znalost výkonové distribuce je požadována především bezpečnostními principy, ale je také žádoucí z ekonomických důvodů. Limitní podmínky pro provoz detektorů uvnitř reaktoru zapříčinily, že se nejčastěji setkáváme v energetických reaktorech se samonapájecími detektory a termočlánky. Příspěvek se zaměřuje na problematiku detekce samonapájecími rhodiovými detektory neutronů. Odezva tohoto typu detektoru silně závisí na podmínkách, ve kterých se detektor nachází. V rekonstrukční metodologii je potřeba vybrané aspekty zohlednit. Program Serpent umožňuje závislosti numericky predikovat. Příspěvek popisuje stanovení závislostí na teplotě paliva, teplotě chladiwa, koncentrace kyseliny borité, vyhoření paliva a vyhoření materiálu emitoru. Následně rozšiřuje problematiku do trojrozměrné geometrie a komentuje použitelnost rozvoje do funkčních závislostí, jakožto možný způsob přípravy dat pro samonapájecí detektory.

Analýza odezvy samonapájecích detektorů s využitím Monte-Carlo programu Serpent 2

Seminář jaderného inženýrství 2020

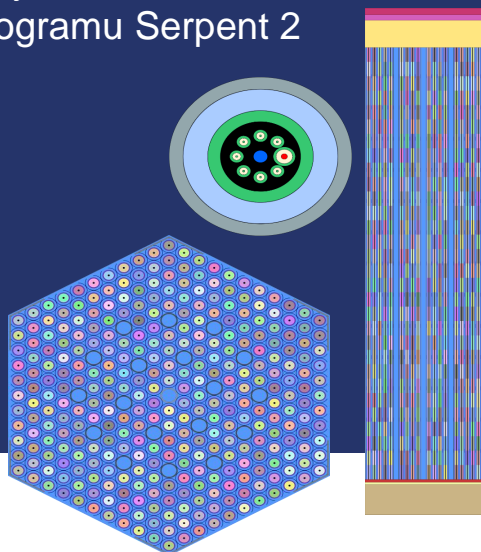
17. září 2020

Bc. Pavel Jíška

Magisterské studium – 2. ročník

Katedra jaderných reaktorů

FJFI ČVUT v Praze

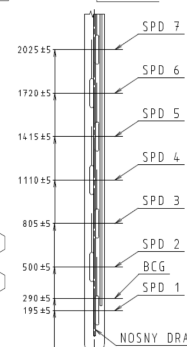
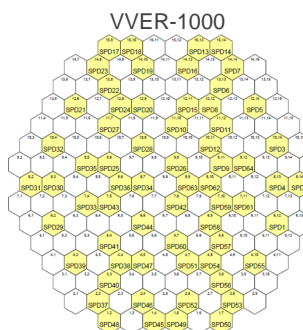
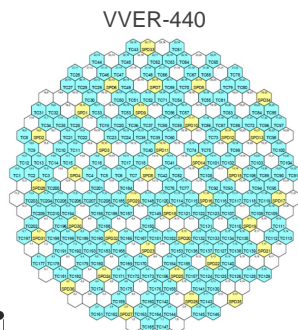
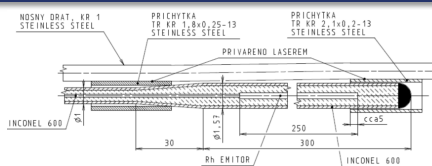


Katedra jaderných reaktorů

Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, ČVUT v Praze

Detektory vnitroreaktorového měření

- Nehostinné podmínky pro provoz:
 - Radiační prostředí
 - Teplota, tlak, vlhkost, ...
- Nejčastěji používané:
 - Termočlánky (TC)
 - Samonapájecí detektory (SPD)

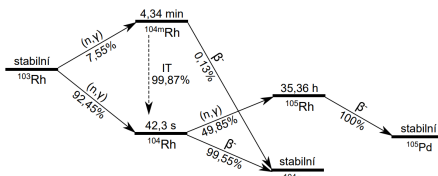


Kanál vnitroreaktorového měření (KNI)

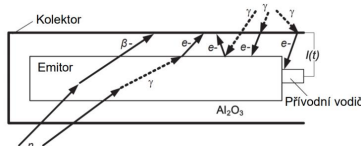
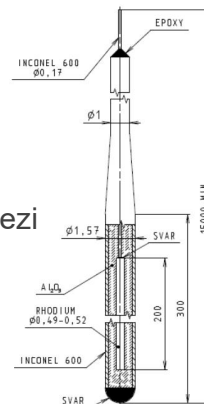


Samonapájecí detektory neutronů (SPD) (se zpožděnou odezvou)

- Sám generuje měřitelný elektrický proud
- Založen na neutronové aktivaci (n,γ):



- Následným β⁻ rozpadem vzniká rozdíl potenciálů mezi emitorem a kolektorem
- Na měřeném proudovém signálu se podílejí také další reakce, které je potřeba správně interpretovat



Citlivostní analýza odezvy SPD

- V dvougrupovém přiblížení lze měřený proud vyjádřit jako:

$$I(t) = e \cdot \frac{m}{\rho} \cdot [\varepsilon_1(N(t)) \cdot \sigma_1^{Rh} \cdot \phi_1^{Rh} + \varepsilon_2(N(t)) \cdot \sigma_2^{Rh} \cdot \phi_2^{Rh}] \cdot N(t)$$

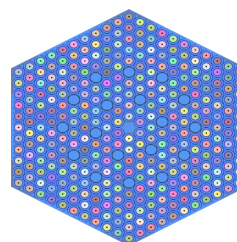
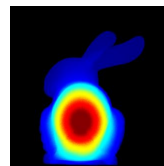
- Mikroskopické účinné průřezy jsou určovány na základě rekonstrukční metodologie a parametrizovány dle skutečných technologických vlastností palivových souborů a dalších charakteristik
- Jejich predikce a parametrizace byla předmětem bakalářské práce a výzkumného úkolu
- Pozorované vlivy teploty chladiva, paliva, koncentrace kyseliny borité, vyhořívání materiálu emitoru a vyhořívání paliva



Katedra jaderných reaktorů Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, ČVUT v Praze

Program Serpent 2

- Nejlepší přiblížení fyzikálních procesů
- Nástroj pro srovnávací úlohy (benchmarky)
- Výhody:
 - vysoká shoda modelu s realitou
 - v knihovných energie uvažována jako spojitá funkce
 - minimální zjednodušení závislostí
 - přesnost teoreticky neomezená
- Nevýhody:
 - výpočetní nároky (paměť, procesor, délka výpočtu...)
 - výsledek vždy se statistickou chybou ($\sigma \sim \sqrt{N}$)



```

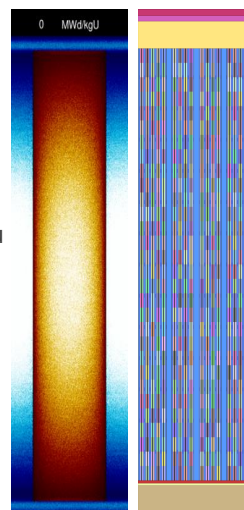
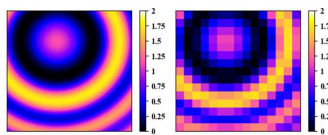
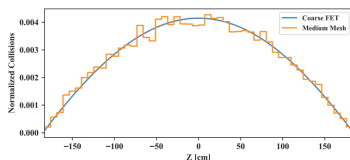
%% --- GENERAL CHARACTERISTICS OF FUEL ASSEMBLY:
surf sFA1 hexxc 0.0 0.0 11.60
surf sFA2 hexxc 0.0 0.0 11.70
surf sFA3 hexxc 0.0 0.0 11.80
surf sFA4 rect -11.80 11.80 -3.825 3.825
surf sFA5 rect -11.80 11.80 -3.825 3.825
surf sFA6 rect -11.80 11.80 -3.825 3.825

%% --- FUEL PIN - UO2 (3.6 wt% U-235, 0 wt% Gd2O3):
pin 36U
void 0.075
UO2-3.6 0.3785
void 0.3865
E11oc1 0.455
water
    
```

Katedra jaderných reaktorů Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, ČVUT v Praze

Pokračování v diplomové práci

- Detailní 3D model palivového souboru včetně distančních mřížek
- Trojrozměrné vyhořívání palivového souboru a ověření numerické stability
- Hlavní cíl:
 - Posouzení použitelnosti síťových detektorů a detektorů založených na rozvoji do funkční závislosti pro přípravu dat samonapájecích detektorů





6.2 Lokalita palivových vsázek

autor: Bc. Matěj Rzehulka

afiliace: Katedra jaderných reaktorů, FJFI, ČVUT v Praze

abstrakt: Prezentovaná práce se zabývala principem lokality v optimalizaci palivových vsázek. V úvodu stručně popisovala reaktor VVER-1000 a jeho provoz v Jaderné elektrárně Temelín, který byl použit jako modelový příklad a zdroj dat. V teoretické části matematicky formulovala úlohu optimalizace palivových vsázek a diskutovala její vlastnosti. Následně zavedla pojem lokality a je popsala nejasný stav využití lokality v řešení optimalizace vsázek. V praktické části práce práce byl popsán koncept zavedení inherentně korelujících metrik a proces jejich hledání. V závěru byly diskutovány výsledky hledání a bylo okomentováno, proč byly pokusy neúspěšné.

Rešerše
○○○○Lokalita
○○○○○○○Výsledky
○○○

Optimalizace palivových vsázek

Lokalita metrik podobnosti

M. Rzehulka¹Vedoucí práce: M. Kvasnička²¹Katedra jaderných reaktorů,
FJFI ČVUT v Praze²ORF ÚJV Řež a. s.Seminář jaderného inženýrství
Praha, 17. září 2020

M. Rzehulka

Lokalita v optimalizaci vsázek

Seminář JI 2020

1 / 15

Rešerše
●○○○Lokalita
○○○○○○○Výsledky
○○○

Rešerše

- 1 Reaktor VVER-1000 a jeho provoz v ETE
- 2 Projektování vsázek v praxi, projekční limity
- 3 Matematická formulace úlohy optimalizace vsázek
- 4 Optimalizační algoritmy, vliv lokality na jejich použitelnost

M. Rzehulka

Lokalita v optimalizaci vsázek

Seminář JI 2020

2 / 15

Rešerše ○●○○ Lokalita ○○○○○○ Výsledky ○○○

Optimalizace vsázek

Cíle

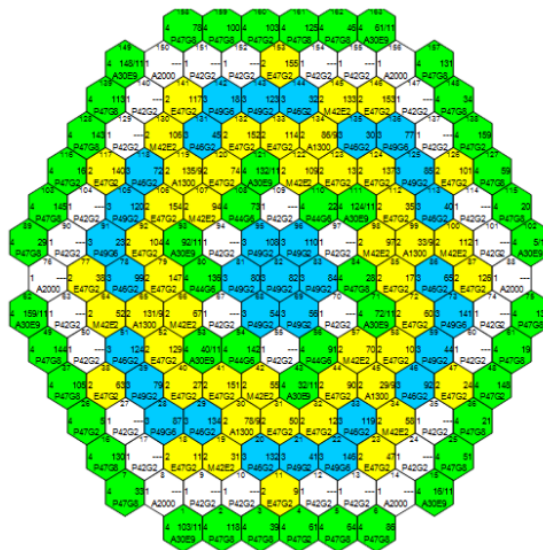
- ① Bezpečnost
- ② Maximalizace ekonomičnosti

Problémy

- Diskrétnost
- Multimodalita
- ...

M. Rzehulka Lokalita v optimalizaci vsázek Seminář JI 2020 3 / 15

Rešerše ○●○○ Lokalita ○○○○○○ Výsledky ○○○



Obrázek: Kartogram vsázky 14. cyklu 2. bloku ETE. Zdroj: Ulmanová, 2016.

M. Rzehulka Lokalita v optimalizaci vsázek Seminář JI 2020 4 / 15

Rešerše 000● Lokalita 0000000 Výsledky 000

Motivace

- Náročnost výpočtu odezev
 - Vyhodnocovat jen podobnost konfigurací
 - Jak měřit?
- Předčasná konvergence lokálního prohledávání
 - Optimalizovat proces generování – vyžaduje pojem *okolí*

M. Rzehulka Lokalita v optimalizaci vsázek Seminář JI 2020 5 / 15

Rešerše 0000 Lokalita ●0000000 Výsledky 000

Používané optimalizační algoritmy

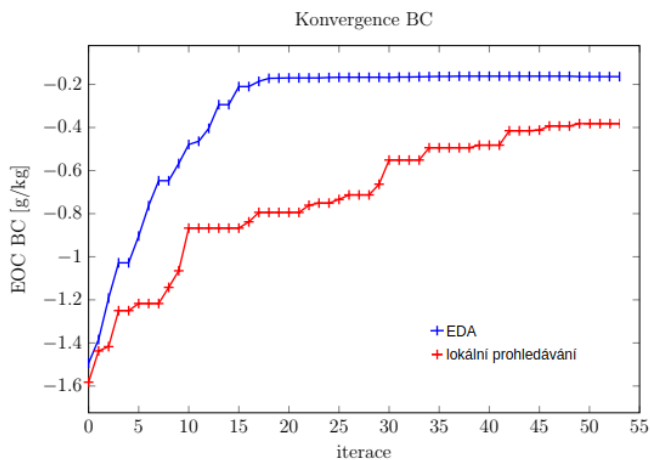
Užívají se heuristiky

- 1 Lokální prohledávání
 - K zajištění konvergence vyžadují splnění lokality
 - V současných implementacích časté
 - Problém s předčasnou konvergencí
- 2 Estimation of Distribution Algorithms (EDA)
 - Řešení generována z pravděpodobnostního rozdělení
 - Rozdělení se modifikuje
 - Splnění lokality není vyžadováno

M. Rzehulka Lokalita v optimalizaci vsázek Seminář JI 2020 6 / 15

Rešerše 0000 Lokalita 000000 Výsledky 000

Předčasná konvergence lokálního prohledávání



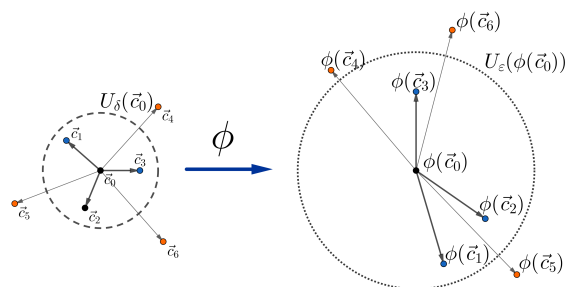
Obrázek: Konvergence hodnot BC při optimalizaci algoritmem třídy EDA a lokálním prohledáváním (metrika založená na k_{∞}). Zdroj: Kvasnička, 2020.

M. Rzehulka Lokalita v optimalizaci vsázek Seminář JI 2020 7 / 15

Rešerše 0000 Lokalita 000000 Výsledky 000

Lokalita optimalizačního problému

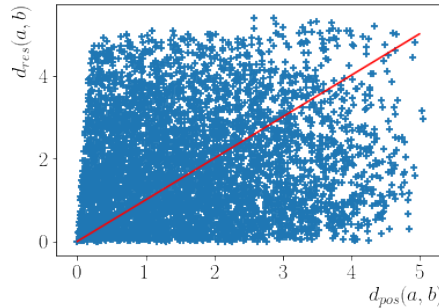
- Vyjadřuje korelaci vzdáleností na prostoru konfigurací a odezev
- Je ovlivněna volbou metrik na těchto prostorech
- Zásadní pro správné fungování lokálních prohledávacích algoritmů
 - Ale současné implementace těchto algoritmů pro optimalizaci vsázek ji nediskutují



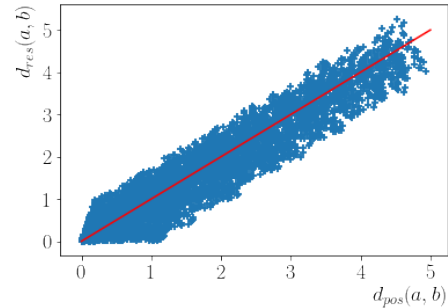
Obrázek: Dvojice metrik splňujících lokalitu vzhledem k zobrazení ϕ . Okolí bodu se zobrazí do jiného okolí, body mimo okolí v Ω_C se zobrazí mimo okolí v Ω_E .

Rešerše 0000 Lokalita 0000000 Výsledky 000

Lokalita optimalizačního problému



Obrázek: Nekorelující metriky.



Obrázek: Korelující metriky.

M. Rzehulka Lokalita v optimalizaci vsázek Seminář JI 2020 9 / 15

Rešerše 0000 Lokalita 0000000 Výsledky 000

Cíl práce

Existuje metrika na prostoru konfigurací, resp. fyzikálních parametrů vsázek, která zajistí splnění lokality, tj. bude vykazovat vysokou korelaci s metrikou na prostoru odezev? Jak takové korelující metriky vypadají?

- Bez lokality nebudou lokální prohledávací algoritmy dávat spolehlivé výsledky

Náročnost úlohy hledání metrik

- Velké množství volby metrik
- Black-box povaha problému

M. Rzehulka Lokalita v optimalizaci vsázek Seminář JI 2020 10 / 15

Rešerše ○○○○	Lokalita ○○○○○○●○	Výsledky ○○○
Inherentně korelující metriky		

- Metody strojového učení umožňují tvořit modely pouze ze známých dat, bez jakýchkoli informací o aproximované funkci – náročnost lze "obejít"
- Na prostoru odezev je volena metrika po složkách
 $d_{r,j}(\mathbf{r}_a, \mathbf{r}_b) = |(r_a)_j - (r_b)_j|$
- Vzdálenost konfigurací se vyhodnotí po složkách jako vzdálenost jednotlivých fyzikálních parametrů $d_c^P = |\mathbf{P}(\mathbf{c}_A) - \mathbf{P}(\mathbf{c}_B)|$ dvou vsázek
- Vhodnou regresní metodou se najde zobrazení Ψ takové, aby

$$d_c^L = \Psi(|\mathbf{P}(\mathbf{c}_A) - \mathbf{P}(\mathbf{c}_B)|) \approx d_r \quad (1)$$

M. Rzehulka	Lokalita v optimalizaci vsázek	Seminář Ji 2020	11 / 15
Rešerše ○○○○	Lokalita ○○○○○○●○	Výsledky ○○○	

- Dvojice metrik (d_c^L, d_r) splňuje požadované vlastnosti
 - Pozitivní korelace bude zaručena z definice Ψ
 - d_c^L lze vypočíst ze znalosti konfigurace, bez nutnosti provést výpočet neutronickým kódem
 - Výpočet musí být řádově rychlejší než neutronický kód, jinak nemá smysl

M. Rzehulka	Lokalita v optimalizaci vsázek	Seminář Ji 2020	12 / 15
-------------	--------------------------------	-----------------	---------

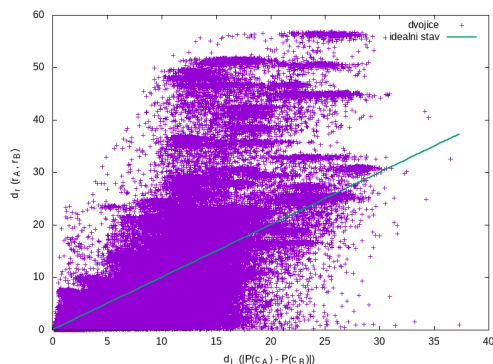
Rešerše 0000 Lokalita 0000000 Výsledky 000

Výsledky hledání metrik

Korelativní metriku nebylo možné najít

Možné příčiny

- Vysoká dimenzionalita vstupních dat
- Nevhodná distribuce vstupních dat



Obrázek: Korelační diagram z testování aproximace metriky metodou Regression Tree Ensembles.

M. Rzehulka Lokalita v optimalizaci vsázek Seminář JI 2020 13 / 15

Rešerše 0000 Lokalita 0000000 Výsledky 000

Závěr

1 Zavedení metriky

- Vyzkoušené postupy nevedly k nalezení signifikantně korelující metriky,
- metody strojového učení za současného stavu nejsou vhodné k definování metriky.

2 Důsledky pro volbu optimalizačních algoritmů

- Splnění principu lokality zatím není možné,
- algoritmy založené na lokálním prohledávání proto nejsou vhodné.

M. Rzehulka Lokalita v optimalizaci vsázek Seminář JI 2020 14 / 15

6.3 Experimentální ověření chování paliva při těžkých haváriích

autor: Bc. Martin Příbyl

afiliace: Katedra jaderných reaktorů, FJFI, ČVUT v Praze

abstrakt: Aby bylo možné predikovat tavení v důsledku vzniku eutektického systému při těžkých haváriích tlakovodních reaktorů, provádí se simulace chování palivových svazků prostřednictvím integrálních experimentů doplněných o experimenty zabývající se jednotlivými interakcemi. V této prezentaci je uveden seznam dostupných experimentálních programů a v současné době nejrozvinutějších konceptů ATF paliv. Za účelem experimentálního studia palivového systému reaktoru VVER byly provedeny pokusy s palivovými tabletami UO₂ obklopenými Zr pokrytím. Absorpční tyče byly pozorovány při experimentech s materiálem B4C s CrNi pokrytím umístěným v Zr vodící trubce. Po teplotním přechodu byla provedena analýza mikrostruktury vzorku pomocí optického mikroskopu. Interakce mezi komponentami UO₂/Zr nebyla pozorována. Interakce na rozhraních B4C/CrNi a CrNi/Zr pozorována byla.

Experimentální ověření chování paliva při těžkých haváriích

Seminář jaderného inženýrství 2020

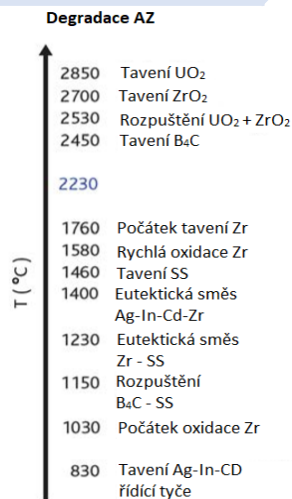
Martin Příbyl
pribyma9@fjfi.cvut.cz
 KJR FJFI ČVUT v Praze
 17.9.2020

Vedoucí práce:
 Ing. Jakub Krejčí Ph.D.
krejci@ujp.cz
 UJP Praha a.s.

1

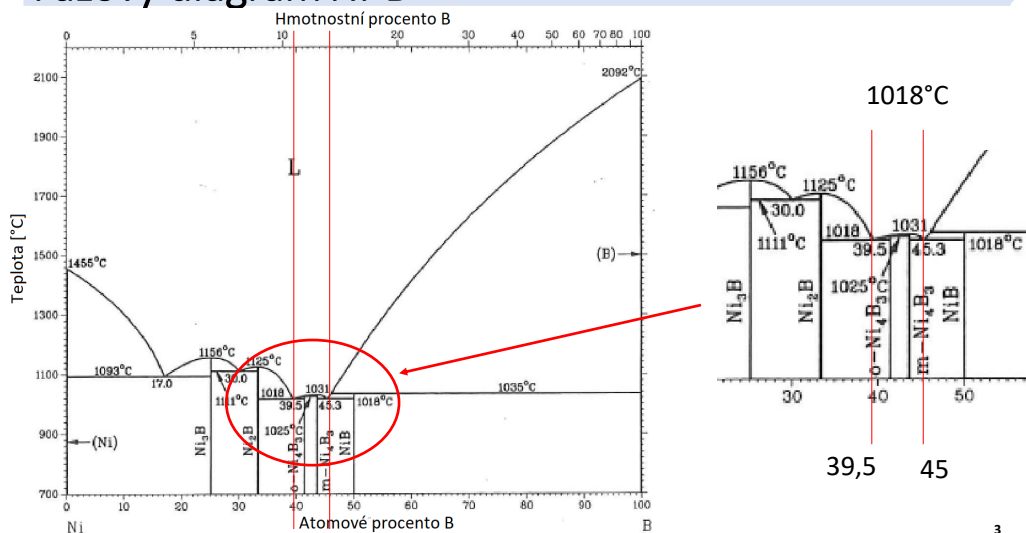
Rešeršní část

- Těžké havárie tlakovodních reaktorů
 - LOCA, SBO
- Interakce palivového systému a absorpčních tyčí
 - Interakce Zr/UO_2 , H_2O/Zr
 - Interakce B_4C /pokrytí, B_4C/Zr , Zr /pokrytí, oxidace B_4C
- Integrované experimenty
 - CORA, QUENCH, CODEX, Phebus FP, LOFT, PBF-SFD, NRU-FLHT
- Alternativní paliva
 - Požadované vlastnosti
 - Vylepšené UO_2 , vysoko-hustotní palivo, zapouzdřené palivo



2

Fázový diagram Ni-B

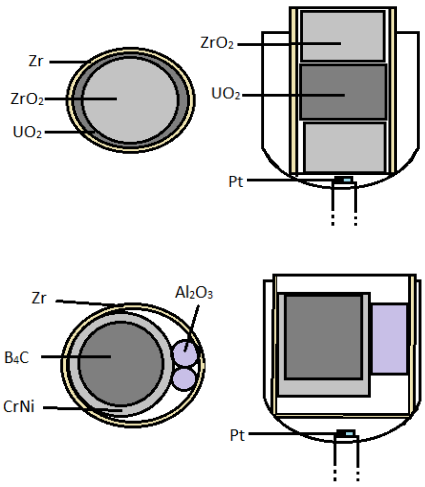


3

Schéma vzorků

- Vzorek UO_2
 - UO_2 s přírodním obohacením
 - Zr slitina E110 (Zr-1%Nb)

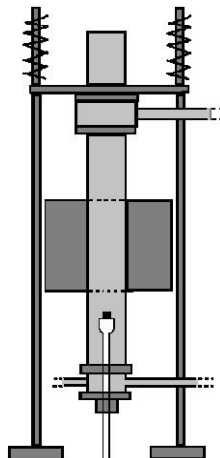
- Vzorek B_4C
 - B_4C (srovnatelné s ETE)
 - CrNi slitina 42XHM (42%Cr-Ni-1,5%Mo)
 - Zr slitina E635 (Zr-1%Nb-1,2%Sn)



4

Schéma vysokoteplotní pece

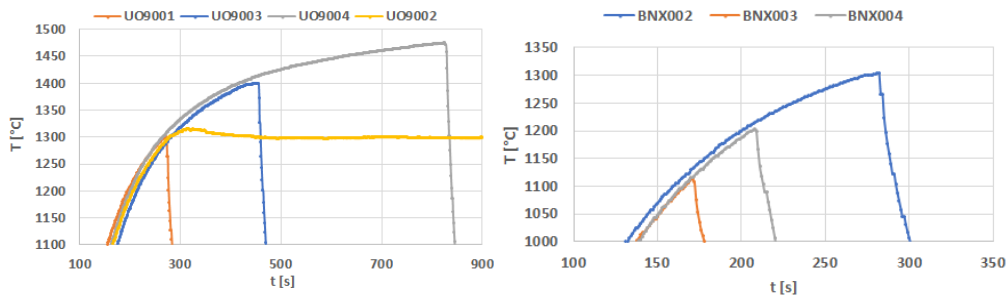
- ❑ Modifikované zařízení COLLOS
- ❑ Komponenty:
 - ❑ Vyhřívací válcový blok
 - ❑ Křemenná retorta
 - ❑ Spodní argonový přívod (max. přítok 16 l/min)
- ❑ Teplotní rozsah 500-1500°C
- ❑ Průměrná rychlost ohřevu:
 - < 1300°C: 4,6°C/s,
 - 1300 – 1400°C: 0,6°C/s,
 - 1400 – 1475°C: 0,2°C/s



5

Průběh experimentu

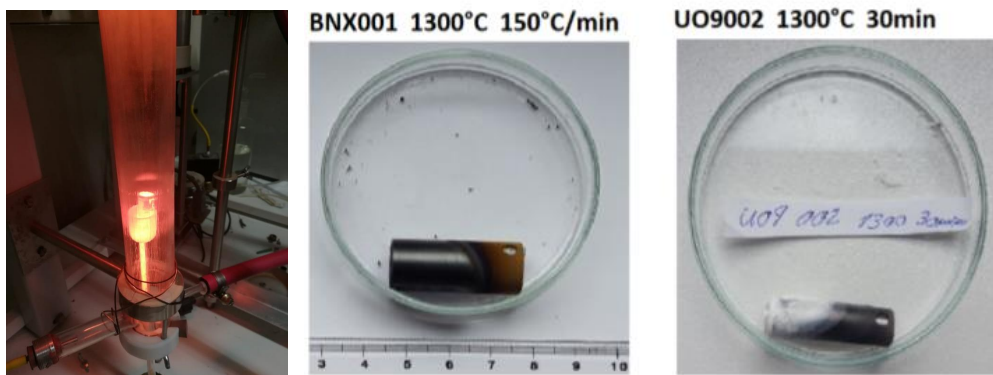
- ❑ Předehřátí experimentálního zařízení na teplotu 800°C
- ❑ Zahřátí vzorků na požadovanou teplotu (1000 – 1475°C)
- ❑ Chlazení proudem argonu
 - Teplotní vývoj vzorků UO_2 a B_4C :



6

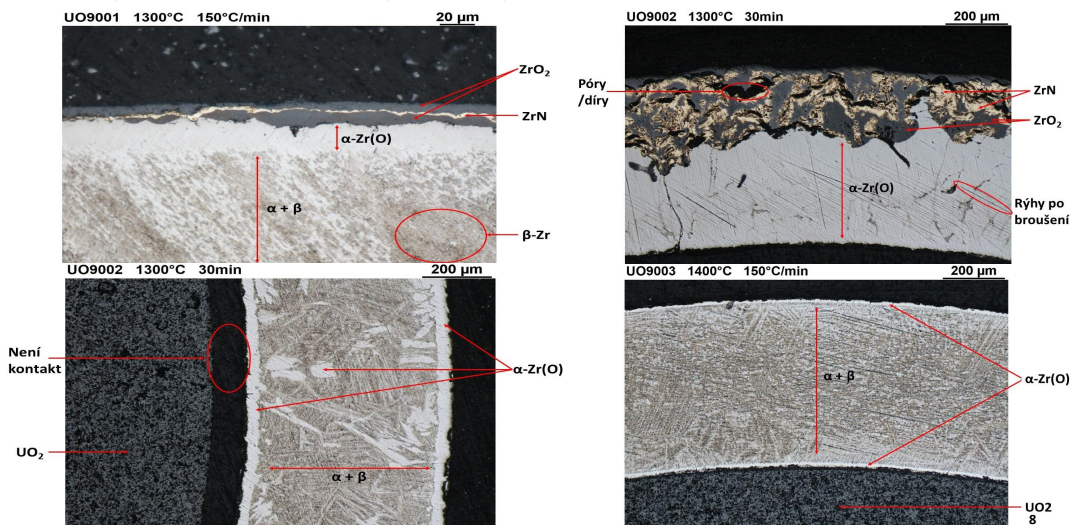
Průběh experimentu

- Příprava metalografického výbrusu
- Pozorování struktury prostřednictvím mikroskopu

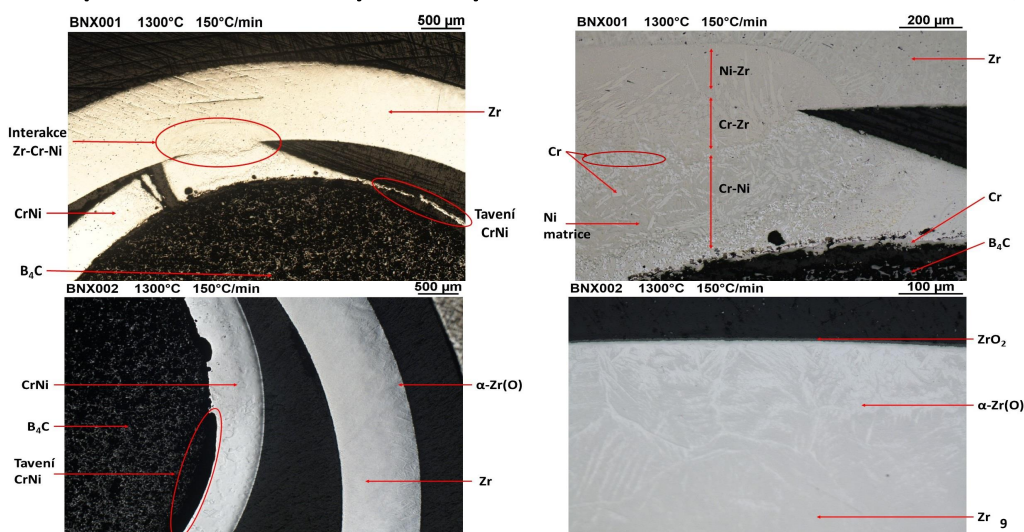


7

Experimentální výsledky s UO2



Experimentální výsledky s B₄C

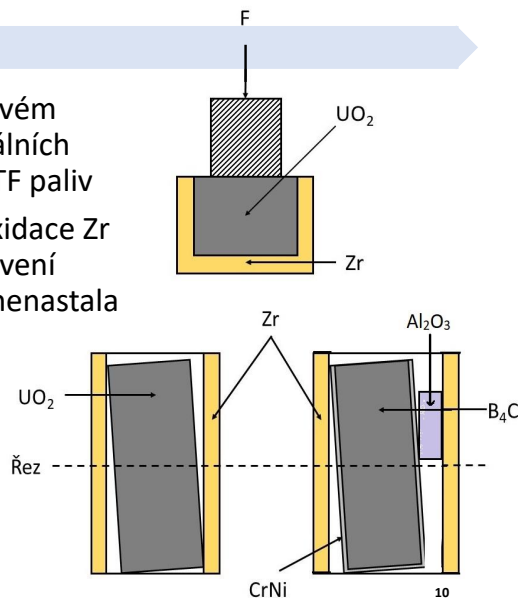


Závěr

- ❑ Provedena řada interakcí v palivovém systému a absorpčních tyčích, integrálních experimentů s palivovými svazky a ATF paliv
- ❑ V rámci experimentů pozorována oxidace Zr slitin, interakce *CrNi/Zr*, eutektické tavení systému *B₄C/CrNi*, interakce *Zr/UO₂* nenastala

❑ Další cíle:

- Opakování experimentů s *UO₂* s nově navrženým uspořádáním
- Analýza chemického složení vzorků, identifikace fází a složení
- Izotermická expozice vzorků po různě dlouhou dobu



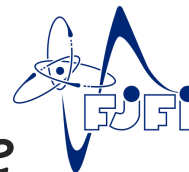
6.4 Ověření LOCA a RIA kritérií pro vybrané havarijní scénáře s pokročilým jaderným palivem

autor: Bc. Tereza Kinkorová

afiliace: Katedra jaderných reaktorů, FJFI, ČVUT v Praze

abstrakt: V současné době se ve světě uvažuje o zavedení pokročilého jaderného paliva (ATF palivo), probíhá celá řada výzkumů a testování různých konceptů pokročilého paliva. Jeho používání není ale jen otázkou konstrukce nových slitin, pelet atd. Je zde mnoho dalších parametrů, které musí být ověřeny před komerčním využíváním v energetických reaktorech. Jedním z těchto aspektů jsou bezpečnostní kritéria, jejichž aplikovatelností na ATF palivo se zabývala práce prezentovaná v rámci tohoto příspěvku. Konkrétně se jednalo o kritéria související s haváriemi LOCA a RIA, které jsou významnými projektovými haváriemi z hlediska paliva. Pro výpočty chování tradičního paliva při zadaných projektových haváriích byl použit termomechanický kód FRAPTRAN (společně s FRAPCONem, kterým byly spočítány počáteční podmínky). Výpočet chování paliva se zvýšenou odolností proti haváriím byl proveden pomocí upravených kódů FRAPCON a FRAPTRAN, které jsou vyvíjeny na KJR FJFI. Výpočtem byla ověřena především nutnost změny metody výpočtu a interpretace ECR kritéria pro pokročilé palivo.

Ověření LOCA a RIA kritérií pro vybrané havarijní scénáře s pokročilým jaderným palivem



TEREZA KINKOROVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE: Ing. MARTIN ŠEVEČEK, Ph.D.

KONZULTANTI PRÁCE: Ing. MOJMÍR VALACH, CSc., Ing. JAKUB KREJČÍ, Ph.D.

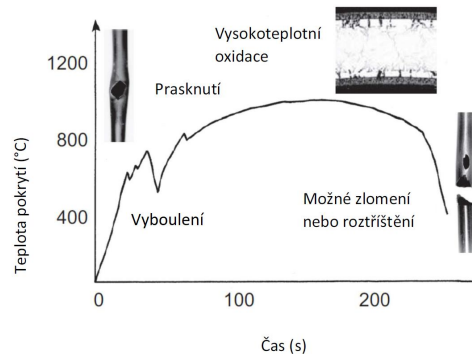
BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

17. 9. 2020, PRAHA

1

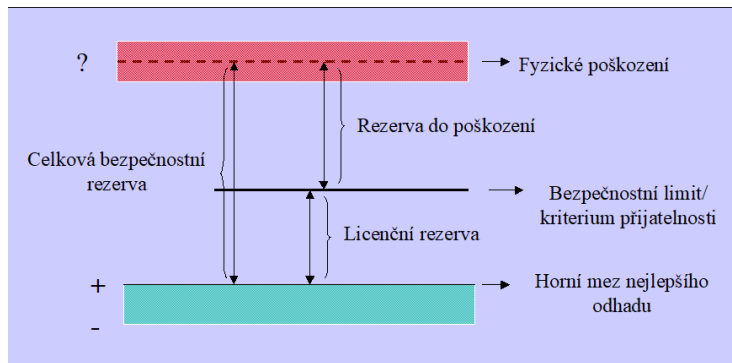
Jaderná bezpečnost

- cíl: zabránění vzniku nekontrolovatelné štěpné řetězové reakce a úniku RA látek do okolí
- **projektové havárie**
 - limitní havárie
 - nejdůležitější z hlediska paliva:
 - **LOCA** = havárie se ztrátou chladiva (typický průběh teploty pokrytí)
 - **RIA** = havárie vyvolaná vnosem reaktivity (vznik pulzu)



2

Bezpečnostní kritéria

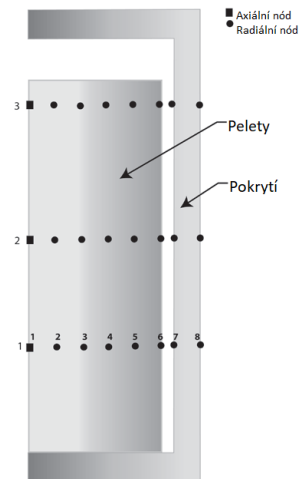


- Zabránění nežádoucím jevům
- Př. pro palivo: obohacení, vyhoření, teplota, oxidace

3

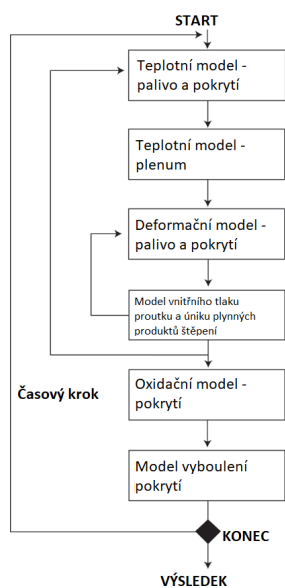
Modelování termomechanického chování jaderného paliva

- termomechanické výpočetní kódy: TRANSURANUS, BISON, FEMAXI, OFFBEAT
- výpočetní termomechanický kód FRAPTRAN 2.0
 - transientní kód
- počáteční podmínky: FRAPCON 4.0
 - stacionární kód
 - vyhoření, oxidická vrstva, koncentrace vodíku, vnitřní tlak, složení plyných produktů štěpení v mezeře
- lehkovodní reaktory, UO_2 a MOX palivo
- pokrytí: Zircaloy-4, Zircaloy-2, ZIRLO, M5, E110
- US NRC



GELHOOD, K.; LUSCHER, W.; CUTA, J.; et al.: FRAPTRAN-2.0: A Computer Code for the Transient Analysis of Oxide Fuel Rods. Technická zpráva, 2016.

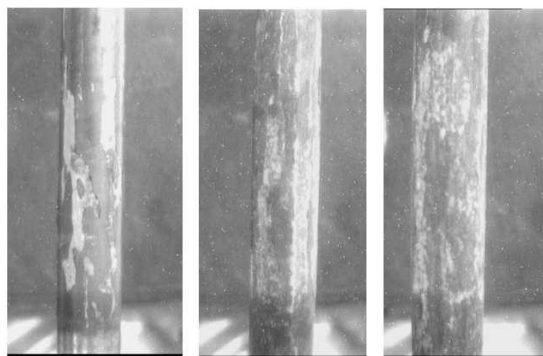
4



5

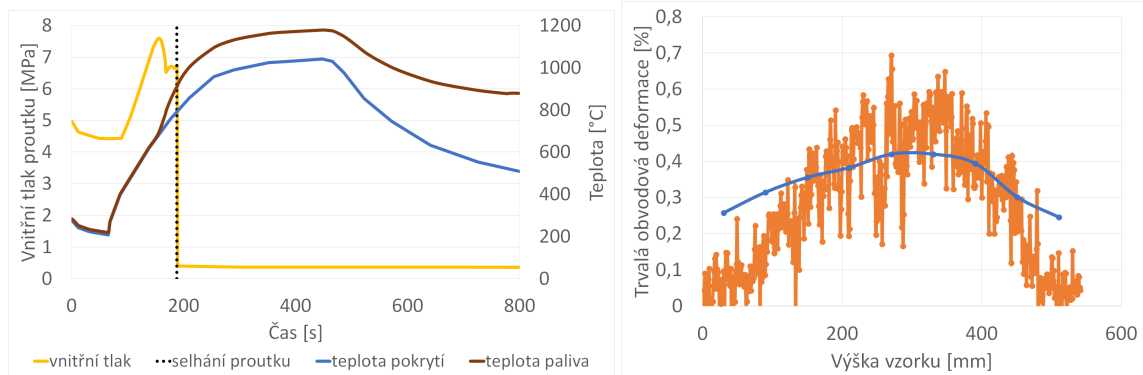
Výpočet

- 4 experimenty (2 LOCA, 2 RIA)



6

Výpočet



7

Palivo se zvýšenou odolností vůči haváriím

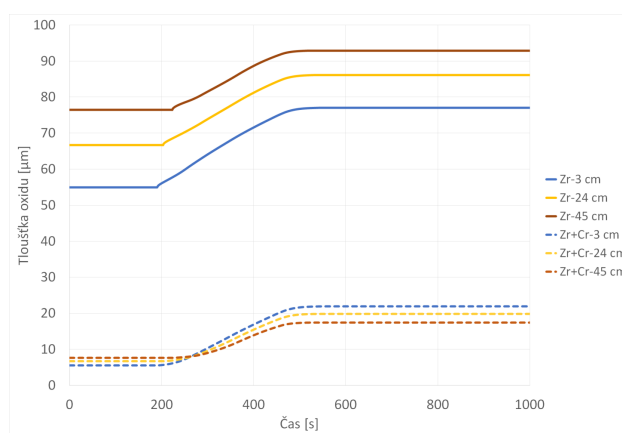
= pokročilé palivo = ATF palivo (Accident Tolerant Fuel, Advanced Technology Fuel)

- zvýšení bezpečnosti JE, zvýšení odolnosti paliva
- koncepty:
 - 1) palivové pelety
 - 2) nepalivové části AZ
 - 3) palivové pokrytí: modifikace zirkoniových slitin (nanesení ochranných vrstev), pokročilé materiály (FeCrAl, 42HNM, SiC/SiC)

8

ATF výpočet

- modifikovaný FRAPTRAN a FRAPCON
- modely pro ATF
- málo experimentálních dat



9

Závěry

- práce: nutnost modifikace kritérií
- seznámení s kódy, s výpočty
- spoustu nových informací
- ...

10

6.5 Počítání rozložení výkonu v AZ EDU

autor: Bc. Robin Krempaský

afiliace: Katedra jaderných reaktorů, FJFI, ČVUT v Praze

abstrakt: Přednáška populárně nazvaná "Počítání rozložení výkonu v AZ EDU" vycházela z bakalářské práce s názvem Rekonstrukce výkonu AZ metodou RBF pro monitorování reaktorů VVER, která byla vypracovávána pod vedením RNDr. Michala Kvasničky z Oddělení reaktorové fyziky ÚJV Řež, a. s. Přednáška si kladla za cíl definovat a vysvětlit rekonstrukci výkonu, kterou lze definovat jako matematický proces sloužící ke stanovení rozložení výkonu i v těch místech AZ, ve kterých se nenachází vnitroreaktorová instrumentace a který je založen na údajích z vnitroreaktorové instrumentace a on-line výpočetních kódů. Rekonstrukce výkonu byla ilustrována na reálných datech popisujících rozložení výkonu v AZ EDU. Názorně bylo ukázáno, že pro rekonstrukci výkonu je důležitá úloha aproximace dat zadaných nerovnoměrně rozloženou množinou bodů. Bylo ukázáno, že tuto aproximaci lze provést metodou Radiálních bazických funkcí (RBF) a to navíc se zohledněním neurčitosti měření vnitroreaktorové instrumentace.



The slide cover features a blue background with a faint, stylized lion logo in the lower half. In the top left corner, there is a small white logo of a lion holding a sword, next to the text 'ČVUT' and 'ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE'. The main title 'Počítání rozložení výkonu v AZ EDU' is written in large white font, followed by the subtitle 'Rekonstrukce výkonu AZ metodou RBF pro monitorování reaktorů VVER' in a smaller white font. At the bottom left, the presenter's name 'Robin Krempaský', affiliation 'KJR FJFI ČVUT v Praze', and date '17. 9. 2020' are listed in white text.



RNDr. Michal Kvasnička, ORF ÚJV Řež a.s.

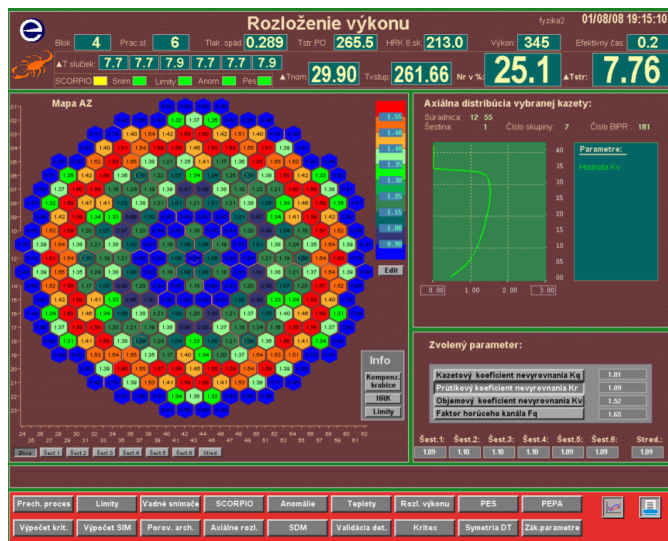
Ing. Lenka Frýbortová, Ph.D., KJR FJFI ČVUT

Ing. Milan Gren, ORF ÚJV Řež a.s.



Obsah

- 1 Monitorování rozložení výkonu a rekonstrukce výkonu
- 2 Aproximační metoda RBF
- 3 Implementace metody RBF do jazyka MATLAB
- 4 Testování aproximační metody RBF



Obr.: Ilustrativní snímek z monitorovacího systému AZ (Molnár, 2013)



Stanovování rozložení výkonu

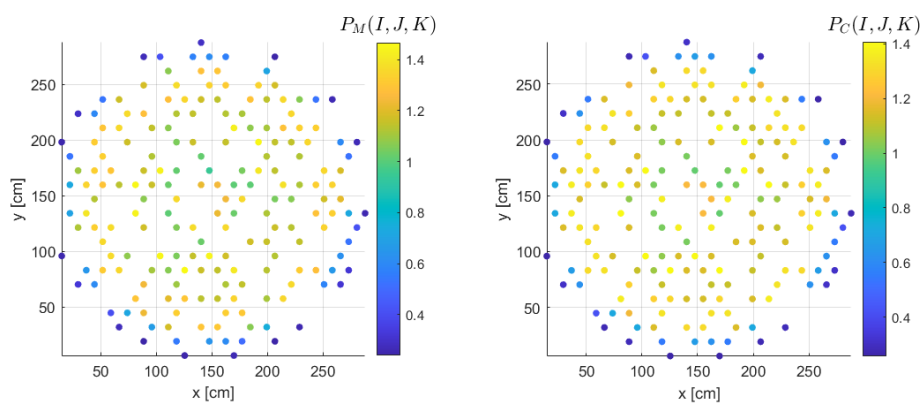
Dva základní přístupy:

- 1 on-line výpočetní kódy
- 2 vnitroreaktorová instrumentace:
 - samonapájecí detektory
 - termočlánky

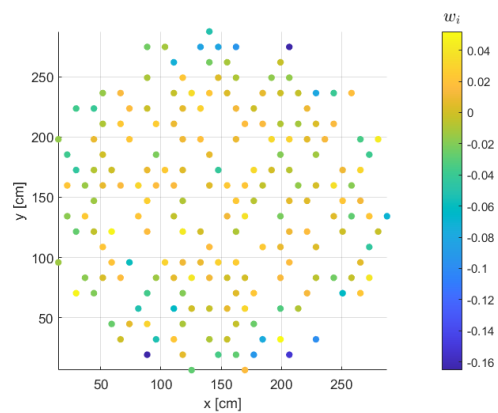


Rekonstrukce výkonu

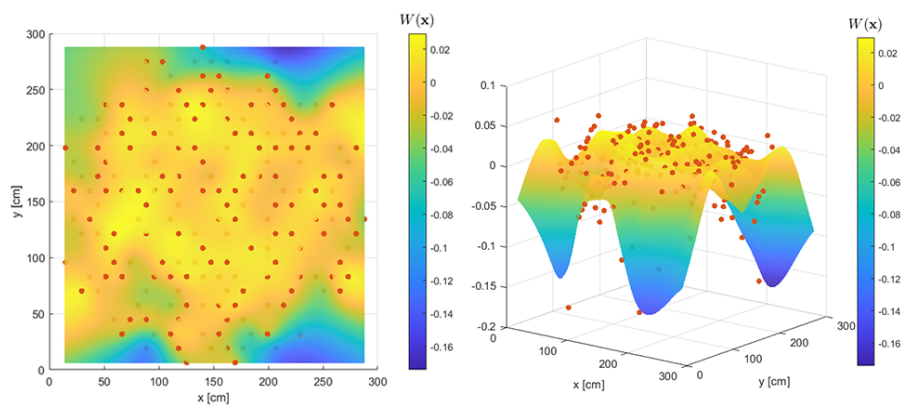
- 1 znalost $P_C(x)$ a $P_M(I, J, K)$
- 2 relativní odchylky výkonu: $w = \frac{P_M(I, J, K) - P_C(I, J, K)}{P_M(I, J, K)}$
- 3 interpolační faktor: $W(x) = \left[\frac{P_M(I, J, K) - P_C(I, J, K)}{P_M(I, J, K)} \right]$
- 4 výsledné rozložení výkonu: $P_M(x) = \frac{P_C(x)}{-W(x)}$



Obr.: Rozložení výkonu podle TC (vlevo) a podle výpočetního kódu (vpravo)



Obr.: Rozložení relativních odchylek výkonu



Obr.: Aproximace relativních odchylek výkonu – interpolační faktor



Rekonstrukce výkonu

1 znalost $P_C(x)$ a $P_M(I, J, K)$

2 relativní odchylky výkonu: $w = \frac{P_M(I, J, K) - P_C(I, J, K)}{P_M(I, J, K)}$

3 interpolační faktor: $W(x) = \left[\frac{P_M(I, J, K) - P_C(I, J, K)}{P_M(I, J, K)} \right]$

4 výsledné rozložení výkonu: $P_M(x) = \frac{P_C(x)}{-W(x)}$

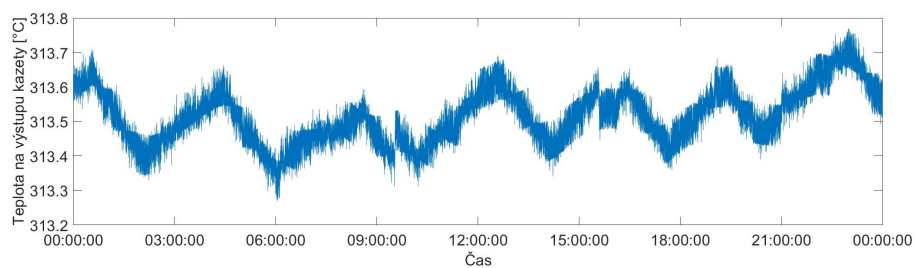


Požadavky na funkci $W(x)$

$$P_M(x) = \frac{P_C(x)}{W(x)}$$



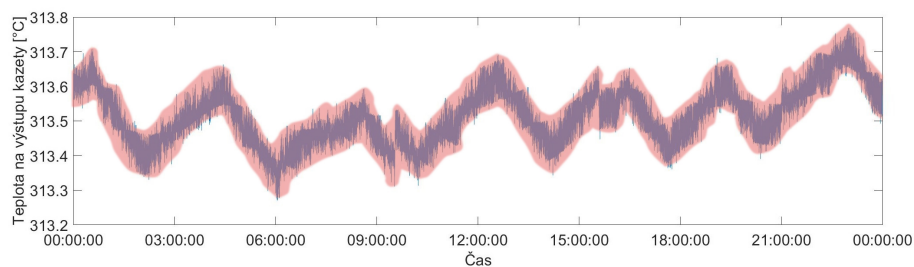
Požadavky na funkci $W(x)$



Obr.: Teplota chladiva na výstupu kazety – signál s nízkou neurčitostí



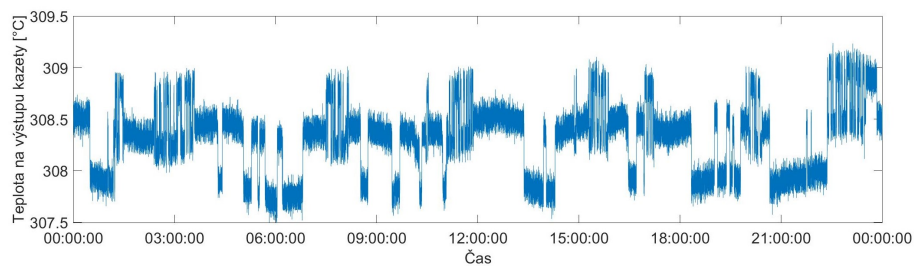
Požadavky na funkci $W(x)$



Obr.: Teplota chladiva na výstupu kazety – signál s nízkou neurčitostí



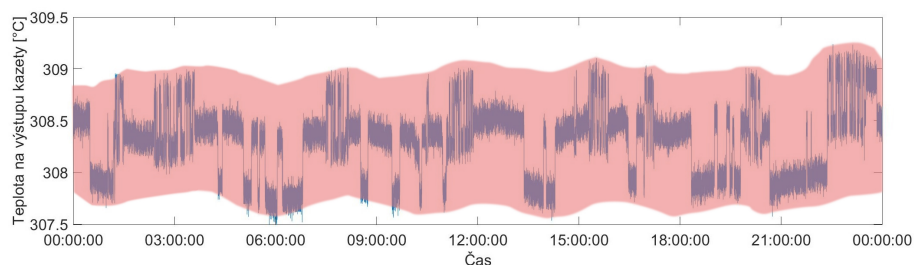
Požadavky na funkci $W(x)$



Obr.: Teplota chladiva na výstupu kazety – signál s vysokou neurčitostí



Požadavky na funkci $W(x)$



Obr.: Teplota chladiva na výstupu kazety – signál s vysokou neurčitostí



Požadavky na funkci $W(x)$

- přesné měření termočlánkem (tj. nízká neurčitost):

$$W_{I,J,K} = w \frac{P_{M,I,J,K} - P_{C,I,J,K}}{P_{M,I,J,K}}$$

$$P_{M,I,J,K} = \frac{P_{C,I,J,K}}{-W_{I,J,K}} = \frac{P_{C,I,J,K}}{-\frac{P_{C,I,J,K} - P_{M,I,J,K}}{P_{M,I,J,K}}} = P_{M,I,J,K}$$



Požadavky na funkci $W(x)$

- NEpřesné měření termočlánkem (tj. vysoká neurčitost):

$$W_{I, J, K} \approx 0$$

$$P_{M, I, J, K} \approx \frac{P_{C, I, J, K}}{-W_{I, J, K}} \approx \frac{P_{C, I, J, K}}{-0} \approx P_{C, I, J, K}$$



Požadavky na funkci $W(x)$

- přesné měření termočlánkem:

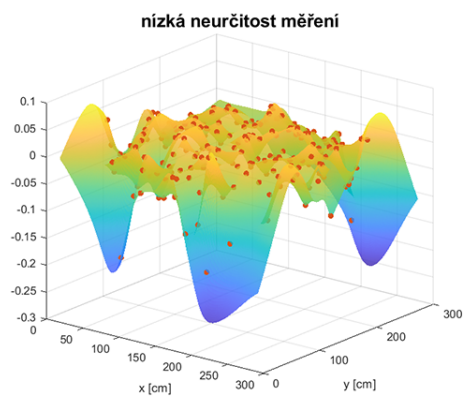
$$W_{I, J, K} \approx w \frac{P_{M, I, J, K} - P_{C, I, J, K}}{P_{M, I, J, K}}$$

- nepřesné měření termočlánkem:

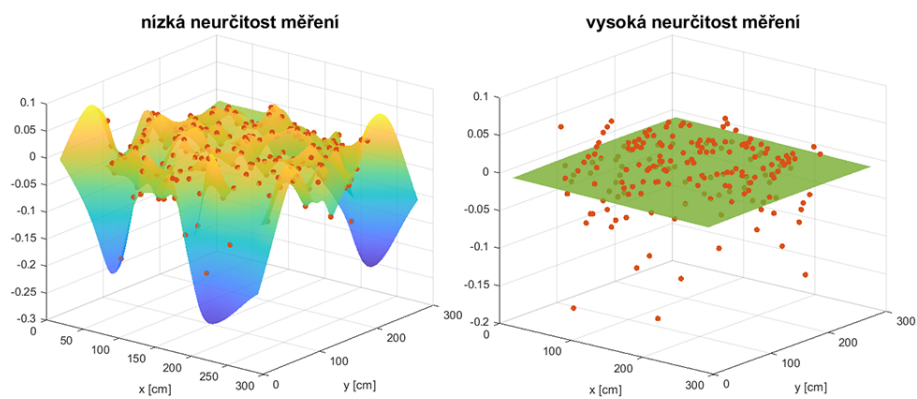
$$W_{I, J, K} \approx 0$$



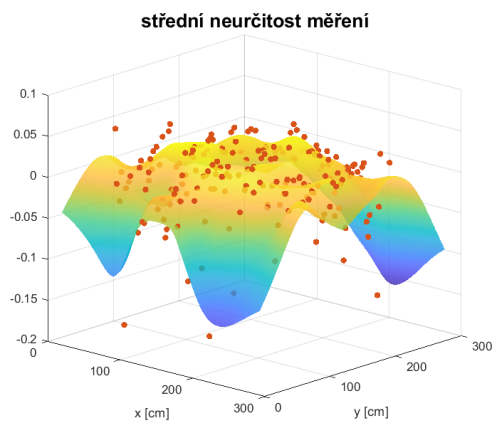
Aproximační metoda radiálních bazických funkcí



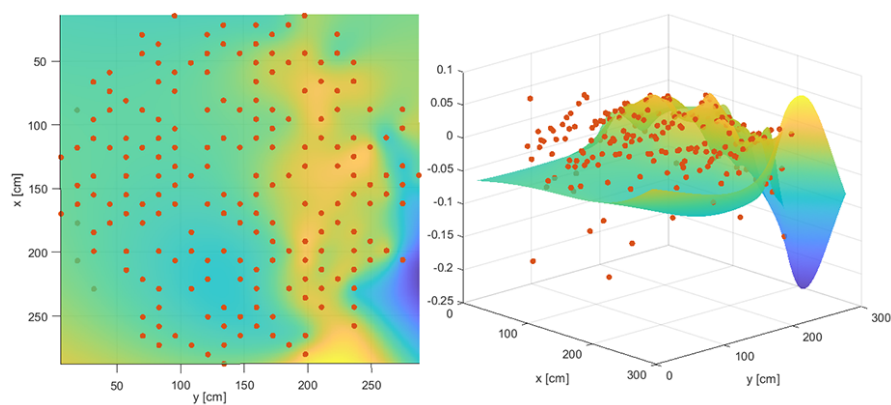
Obr.: Limitní případy aproximace



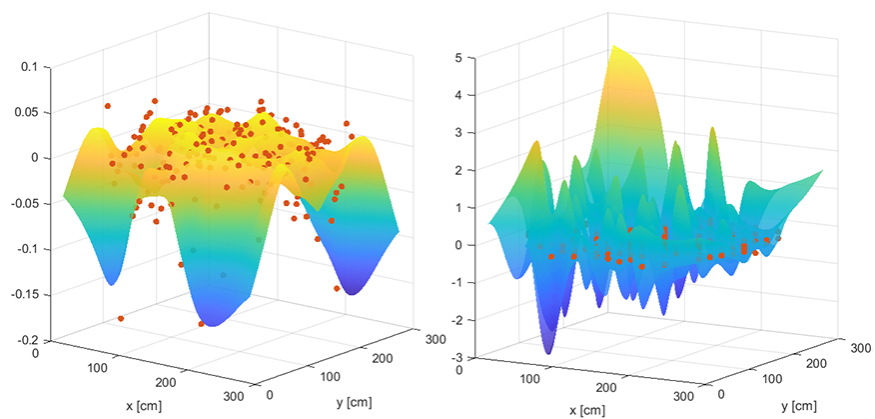
Obr.: Limitní případy aproximace



Obr.: Střední případ aproximace



Obr.: Příklad lokalizovaných neurčitostí



Obr.: Porovnání věrohodné (vlevo) a nevěrohodné (vpravo) aproximace



Shrnutí

- 1** Podíval jsem se jak to chodí mimo katedru.
- 2** Sáhnu l jsem si na provozní data EDU.
- 3** Zdokumentoval jsem metodu RBF pro rekonstrukci výkonu.
- 4** Opravil jsem významnou chybu v datech na ORF.

7 Seznam účastníků

Ghadir Alterkawi
Martin Ansorge
Tomáš Bílý
Jan Čada
Dominik Celárek
Lenka Filousová
Pavel Jíška
Tereza Kinkorová
Petr Kladiva
Matěj Kotlaba
Robin Krempaský
Ondřej Lachout
Filip Laštůvka
Jakub Mátl
Jana Matoušková
Denis Nevelöš
Ondřej Novák
Adéla Nováková
Sebastian Nývlt
Dominika Ongradyová
Kamila Ooppelová
Kateřina Orságová
Ondřej Petrášek
Jan Pinta
Martin Příbyl
Rahul Rungta
Matěj Rzehulka
Josef Sabol
Martin Ševeček
L'ubomír Sklenka
Jana Šošková
Pavel Suk
Štěpán Tichý
Lucie Titzová
Bruno Uldrich
Miroslav Vejvoda
Daniel Vlček