

Ing. Gabriel Gálik

Autoreferát dizertačnej práce

**MODELOVANIE A SIMULÁCIA NAPĀTOSTNÝCH POMEROV PRI
TLAKOVO-TEPELNOM ŠOKU V JADROVOM REAKTORE**

na získanie: akademickej hodnosti doktor
(philosophiae doktor, PhD.)

v doktorandskom študijnom programe: Elektroenergetika

v študijnom odbore: elektrotechnika

Miesto a dátum: Bratislava, August 2020

**SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY**

Ing. Gabriel Gálik

Autoreferát dizertačnej práce

**MODELOVANIE A SIMULÁCIA NAPÄTOSTNÝCH POMEROV PRI
TLAKOVO-TEPELNOM ŠOKU V JADROVOM REAKTORE**

na získanie: akademickej hodnosti doktor
(philosophiae doktor, PhD.)

v doktorandskom študijnom programe: Elektroenergetika

Miesto a dátum: Bratislava, August 2020

Dizertačná práca bola vypracovaná v internej forme doktorandského štúdia

Na Ústave automobilovej mechatroniky
Fakulte elektrotechniky a informatiky STU v Bratislave (FEI STU BA)

Predkladateľ:

Ing. Gabriel Gálik
Ústav automobilovej mechatroniky
FEI STU BA, Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava

Školiteľ:

prof. Ing. Vladimír Kutiš, PhD.
Ústav automobilovej mechatroniky
FEI STU BA, Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava

Oponenti:

prof. Ing. Fratišek Urban, CSc. - Sjf STU
Ústav energetických strojov a zariadení (SjF)
Nám. slobody 17, 81231 Bratislava

doc. Ing. Milan Nad', CSc. - MTF STU
Ústav aplikovanej informatiky, automatizácie a mechatroniky (MTF)
Ulica Jána Bottu 2781/25, 91724 Trnava

Autoreferát bol rozoslaný:

Obhajoba dizertačnej práce sa koná: 17.08.2020

Na Fakulta elektrotechniky a informatiky STU v Bratislave, FEI STU BA, Ilkovičova 3,
812 19 Bratislava v miestnosti

prof.Dr.Ing.Miloš Oravec

ABSTRAKT

**SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY**

Študijný program: elektroenergetika
Autor: Ing. Gabriel Gálik
Dizertačná práca: Modelovanie a simulácia napätostných pomerov pri tlakovo-
teplnom šoku v jadrovom reaktore
Školiteľ: prof. Ing. Vladimír Kutíš, PhD.
Miesto a rok predloženia práce: Bratislava 2020

Modelovanie a simulácia fyzikálnych a technologických procesov pomocou počítačových numerických metód tvoria v dnešnej dobe vhodný nástroj na detailné skúmanie a sledovanie experimentálne náročných prechodových procesov. Medzi takéto deje je možné zaradiť aj problematiku havarijného chladenia zóny jadrového reaktora. Havarijné chladenie je zabezpečené dodávkou relatívne studeného chladiva k aktívnej zóne pre zabezpečenie jej teplotného manažmentu. Počas procesu havarijného chladenia prebieha zmiešavanie chladiva s rozdielnou teplotou v tesnej blízkosti steny tlakovej nádoby reaktora, na ktorú pôsobí formou tlakovo teplotného šoku. Výsledkom dizertačnej práce je autorom zostavená viacstupňová metóda modelovania procesu havarijného chladenia v reaktore. Metóda je založená na odporúčaniach agentúry IAEA a v práci je aplikovaná na špecifický scenár havarijného chladenia zóny počas havárie s únikom chladiva cez efektívny polomer úniku 20mm. Prvým krokom riešenia metodiky bola vykonaná priestorová termo-hydraulická analýza, kde boli skúmané priebehy zmien tlakového, teplotného a rýchlostného poľa v reaktore počas procesu havarijného chladenia. Primárnym poznatkom počas spracovania výsledkov prvého kroku bol vznik studeného pruhu chladiva s oscilačným charakterom v tesnej blízkosti steny tlakovej nádoby. Ďalším krokom riešenia metodiky bola priestorová tepelno-mechanická analýza tlakovej nádoby reaktora. V tomto kroku boli určené kritické zóny mechanickej záťaže, ktorá je spôsobená tlakovo teplotným šokom a bol skúmaný vplyv vzniknutého studeného pruhu na tlakovú nádobu. Posledným krokom riešenia metodiky bola založená na metódach lomovej mechaniky a predstavovala analýzu záťaže postulovaných trhlín počas tlakovo teplotného šoku. Na základe výsledkov z posledného kroku metodiky sa ukázalo, že citlivosť postulovanej trhliny na oscilačný charakter studeného pruhu je silno závislý od jej orientácie.

Bratislava 2020

Ing. Gabriel Gálik

ABSTRACT

**SLOVAK UNIVERSITY OF TECHNOLOGY IN BRATISLAVA
FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND INFORMATION
TECHNOLOGY**

Study programme:	Electrical Power Engineering
Author:	Ing. Gabriel Gálik
Dissertation thesis:	Modelling and Simulation of Pressure Thermal Shock in a Nuclear Reactor
Supervisor:	prof. Ing. Vladimír Kutiš, PhD.
Place and year of submission:	Bratislava 2020

Modelling and simulation of physical and technological processes using computational numerical methods available in today's information age represent an excellent tool for the detailed study of experimentally difficult to replicate, transient processes. The problematics of emergency core cooling of a nuclear reactor core can be considered as such a process. The process of Emergency Core Cooling is realized by the supply of relatively cold coolant to the core region with the goal of maintaining its thermal management. During the process of emergency core cooling there is a continual mixing of coolant flows with differing temperatures in the immediate proximity of the reactor pressure wall, which is thereby exposed to a pressure thermal shock. The result of this dissertation work is a multistage modelling methodology proposed by the author for the modelling of emergency core cooling processes. The methodology is based on the best practice guidelines presented by the IAEA and as part of this thesis, it is applied to a specific scenario of emergency core cooling during a loss of coolant accident with an effective break diameter of 20mm. A 3D thermohydraulic analysis was performed as the first step in the solution process, where the transient changes in the pressure, velocity and temperature fields within the reactor pressure vessel were studied. The primary knowledge learned when processing the results of the first step, was the presence of an oscillating cold coolant stripe in close proximity to the pressure vessel wall. The next step in the methodology consisted of a three-dimensional thermo-mechanical analysis of the reactor pressure vessel. In this step, pressure thermal shock induced critical zones of mechanical loading were identified and the influence of the oscillatory character of the cold stripe on the pressure vessel was studied. The last step of the methodology consisted of a fracture mechanics analysis of postulated defects during the pressure thermal shock. Acquired results from the final step shown, that the postulated defects' sensitivity to the oscillatory nature of the cold stripe is highly dependent on the postulated defect's orientation.

Bratislava 2020

Ing. Gabriel Gálik

OBSAH

1	Úvod do problematiky	6
2	Súčasný prístup k problematike	7
3	Tézy dizertačnej práce	8
4	PTS analýza definovaného stavu	9
	4.1. Priestorová CFD analýza	10
	4.2. Tepelno-mechanická analýza	16
	4.3. Analýza lomového záťažového stavu	18
5	Záver	22
	5.1. Celkové zhodnotenie	22
	5.2. Ďalšie možné pokračovanie vývoja a výskumu v tejto oblasti	23
	5.3. Prínosy dizertačnej práce	23
	Publikačná činnosť autora	25
	Ostatné	35
	Zoznam použitej literatúry	36

1 ÚVOD DO PROBLEMATIKY

Jadrová energia je dôležitým zdrojom elektrickej energie ako vo svete, tak aj pre Slovensko. Všetky prevádzkované bloky na Slovensku sú tlakovodné ruského dizajnu s označením VVER-440. Na území Slovenska sa nachádzajú dve jadrové elektrárne (EBO, EMO) a sú v prevádzke štyri bloky (dva bloky EBO V2 a dva bloky EMO) druhej generácie VVER-440/213, dva bloky druhej generácie sú vo výstavbe (EMO 3 a 4) a dva bloky prvej generácie VVER440/230 v elektrárni EBO V1 sú odstavené a v procese vyradovania [1, 2]. Výstavba a eventuálne vyradenie z prevádzky jadrovej elektrárne sú technicky náročné procesy, ktoré predstavujú veľké finančné náklady a časovú náročnosť. Z ekonomického hľadiska taktiež existuje veľká snaha maximalizovať návratnosť investície na výstavbu počas obmedzenej životnosti elektrárne pomocou zvyšovania produktivity. Súčasný výskum je teda zameraný na predĺžovanie životnosti a zvyšovanie výkonu už existujúcich a prevádzkovaných jadrových elektrární a ich blokov.

Kvôli riziku, ktoré predstavujú štiepne a aktívované materiály, prevádzková a environmentálna bezpečnosť je najdôležitejším faktorom a musí byť zabezpečená počas všetkých prevádzkových a havarijných stavoch elektrárne. Jeden z najvýznamnejších javov, ktorý ohrozuje integritu tlakovej nádoby, je tzv. tlakovo teplotný šok (ang. Pressure Thermal Shock, PTS) [3]. Tlakovo teplotný šok predstavuje zaťaženie stien tlakovej nádoby od tlaku chladiaceho média a od vnútorných mechanických napätí vyvolaných teplotnou rozťažnosťou materiálu v nehomogénnom teplotnom poli. Za určitých podmienok môže uvedený jav vzniknúť v tlakovej nádobe reaktora pri rôznych stavoch či procesoch v primárnom okruhu.

Táto práca je zameraná na modelovanie tlakovo teplotného šoku počas takzvaných havárií s únikom chladiva (ang. Loss of Coolant Accident, LOCA) [2]. LOCA havária predstavuje proces, ktorý je inicializovaný stratou hermetickosti primárneho okruhu (napr. prerušenie potrubia) a jeho následným odtlakovaním a únikom chladiva. Súčasťou procesov, ktorých cieľom je bezpečné odstavenie reaktora z prevádzky a dochladzovanie aktívnej zóny, je dopĺňovanie uniknutého chladiva a dotlakovanie primárneho okruhu. Počas procesu likvidácie následkov havárie, havarijné systémy chladenia aktívnej zóny dopĺňajú chladivo relatívne nízkej teploty do primárneho okruhu. Turbulentné zmiešavanie studeného a teplého chladiva v a pod vstupnými nátrubkami tlakovej nádoby má za následok nerovnomerné chladenie steny tlakovej nádoby a vytvára podmienky pre vznik tlakovo teplotného šoku [4]. Podchladenie materiálu steny taktiež zvyšuje pravdepodobnosť vzniku krehkého lomu [4]. Strata integrity tlakovej nádoby nastane v prípade, ak miera poškodenia tlakovej nádoby dosiahne úroveň, kde už tlaková nádoba nie je schopná bezpečne plniť svoju funkciu (t.j. mechanické uloženie vnútroreaktorových komponentov, hermetickosť primárneho okruhu atď.).

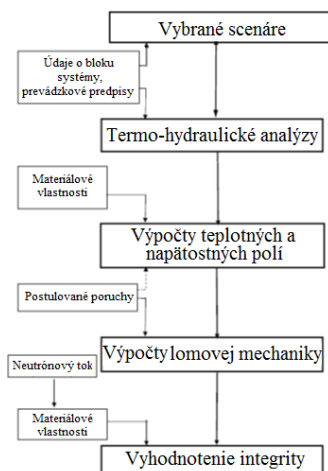
Cieľom tejto práce je poskytnúť robustný prístup a spôsob deterministického modelovania tlakovo teplotného šoku pre reaktory typu VVER 440/213. Pre možnosť detailného modelovania týchto komplexných v čase premenlivých procesov bol zvolený deterministický prístup podporovaný výsledkami numerických simulácií. Síce práca je zameraná na špecifický problém tlakovo teplotného šoku počas LOCA havárie pre tlakovú nádobu reaktora VVER440/213, navrhnutá metodika riešenia by mala byť dostatočne robustná a flexibilná na to, aby umožnila riešenie rôznych scenárov, ktoré spĺňajú obmedzenia opísané v tejto práci.

Dizertačná práca popisuje metodiku využitia numerických metód na modelovanie komplexných multifyzikálnych a multidisciplinárnych dejov v jadrovej energetike je členená nasledovne. Kapitola II charakterizuje súčasné prístupy k riešeniu analyzovanej problematiky, ktoré využívajú globálny systémový pohľad alebo vychádzajú z postulovaných stavov. Kapitola III obsahuje detailnejší popis modelovaného systému ako aj fyzikálnych procesov prebiehajúcich v systéme, pričom numerické metódy využité na simuláciu týchto procesov sú popísané v Kapitole IV. V tejto kapitole je taktiež vysvetlená metodika ako tieto rôzne modely využiť na komplexné modelovanie procesov uvedenej problematiky. Kapitola V obsahuje analýzu uvedenej problematiky pomocou navrhnutej metodiky a výstup z výsledkov numerických analýz. Vyhodnotenie výsledkov práce a návrhy na pokračujúci výskum sú uvedené v Kapitole VI.

2 SÚČASNÝ PRÍSTUP K PROBLEMATIKE

Numerické analýzy a simulačné metódy sú dôležitým nástrojom pre nedeštruktívne skúmanie stavu komponentov a poškodenia počas postulovaných havárií. Toto je akceptované aj organizáciou IAEA (ang. International Atomic Energy Agency), pričom jednou z hlavných úloh agentúry je skúmanie a vyhodnocovanie bezpečnosti jadrových elektrární.

Správy [5, 6] vydané agentúrou IAEA obsahujú detailné informácie ohľadom analýzy tlakovo-teplotného šoku pre bloky s reaktormi VVER 440/213, ktoré vychádzajú zo skúseností agentúry. Tieto smernice udávajú informácie o jednotlivých krokoch analýzy tlakovo-teplotného šoku, ktoré sú potrebné na korektné skúmanie stavu integrity ako sú podmienky spôsobilosti, metódy analýzy a možné zjednodušujúce predpoklady. Správy [5, 6] taktiež opisujú kroky a vstupné parametre potrebné pre správne vyhodnotenie integrity tlakovej nádoby reaktora. Postupnosť krokov analýzy tlakovo-teplotného šoku pre tlakovú nádobu reaktora podľa agentúry IAEA je zobrazená na Obr. 1.



Obr. 1 Postupnosť krokov analýzy tlakovo-teplotného šoku podľa IAEA [5]

Vzhľadom na to, že metodológia vyhodnotenia tlakovo-teplotného šoku je komplexný viackrokový proces, jednotlivé kroky sa môžu líšiť v použitej numerickej metóde a v posudzovaní prevádzkových procesov jadrových elektrární z rôznych hľadísk. Vzhľadom na to, že riešenie problematiky podľa postupu uvedenom v smernici IAEA [5] je náročné, v dostupnej literatúre sa uvádzajú hlavne čiastočné riešenia celkového postupu, kde sa problematika obmedzuje len na vybrané kroky so zjednodušenými postulovanými vstupmi z predchádzajúcich krokov. Cieľom tejto práce je zostavenie metódy, ktorá predstavuje praktické riešenie na využitie a previazanie jednotlivých krokov stanovených v smernici IAEA.

3 TÉZY DIZERTAČNEJ PRÁCE

Tézy dizertačnej práce boli určené na základe rešerše súčasného stavu výskumu, experimentov, výpočtových modelov a štúdií zaoberajúcich fenoménom tlakovo-teplotného šoku. Hlavným zámerom bolo zostavenie postupnosti analýz s cieľom minimalizovania postulovaných podmienok:

Modelovanie a simulácia tlakovo-teplotného šoku

- a. Využitie systémových termo-hydraulických kódov na určenie systémovej odozvy primárneho okruhu reaktora WWR-440/213 počas havárie s únikom chladiva.

Cieľom bolo využiť dostupné dáta výsledkov systémových termo-hydraulických analýz, ich spracovanie na určenie systémových termo-hydraulických pomerov v oblasti reaktora, studených a horúcich vetiev primárneho okruhu počas LOCA havárie.

- b. Zostavenie detailného 3D termo-hydraulického modelu reaktora WWER-440/213, vzostupnej časti a vybratej studenej vetvy s nátrubkom od systému havarijného chladenia zóny. Následná simulácia prúdenia chladiva v studenej vetve a v zostupnej časti reaktora.

Softvérové balíky ICEM CFD a ANSYS CFX boli využité na modelovanie a simuláciu termo-hydraulických pomerov vo vybratých oblastiach [7]. Vstupné a okrajovo počiatkové parametre boli určené na základe dostupných dát získaných pomocou 1D systémových termo-hydraulických modelov. Cieľom detailnej termo-hydraulickej analýzy bolo určenie vlastností tlakového a teplotného poľa na vnútornom povrchu steny tlakovej nádoby reaktora.

- c. Zostavenie modelu TNR pre štruktúrnu analýzu. Zabezpečenie prenosu výsledkových údajov medzi CFD termo-hydraulickou analýzou a štruktúrnu analýzou na základe metód FSI. Výpočet teplotného a napätostného poľa v stene tlakovej nádoby reaktora.

Štruktúrna analýza bola vytvorená pomocou softvérového balíku ANSYS Mechanical [8, 9]. Potrebné vstupné okrajovo-počiatkové podmienky určené a spracované na základe výsledkov termo-hydraulických analýz.

- d. Cieľom vykonaných analýz bolo určenie kritických napätostných zón v stene tlakovej nádoby a zahnutie inicializačných porúch do vybratých zón pre určenie záťažového stavu a mieru intenzity napätia v týchto trhlínach.

Poloha a orientácia inicializačných trhlín bola určená na základe napätostného stavu a smeríc IAEA [5, 6, 10, 11]. Následná štruktúrna analýza modelu tlakovej nádoby s inicializačnými trhlínami bola vykonaná na získanie záťažového stavu pomocou numerických metód lomovej mechaniky.

4 PTS ANALÝZA DEFINOVANÉHO STAVU

Prvým krokom v riešení problematiky zaťažovania tlakovej nádoby reaktora počas havárie s únikom chladiva je potreba priestorovej charakterizácie tlakových a tepelných podmienok. Priamo z 1D systémových analýz nie je možné takéto charakteristiky získať s dostatočným priestorovým rozlíšením. Z tohto dôvodu dáta poskytnuté z 1D termo-hydraulického modelu boli použité spolu s dostupnou technickou dokumentáciou na vytvorenie výpočtového modelu a výpočet 3D CFD prechodovej termo-hydraulickej analýzy.

Prechodová analýza je nevyhnutná na zachytenie dynamického namáhania tlakovej nádoby reaktora počas LOCA havárie. CFD analýza bola zostavená so zámerom výpočtu toku a zmiešavania chladiva a taktiež na súčasný výpočet prenosu tepla cez vnútorný povrch steny tlakovej nádoby a teplotné pole v samotnej stene tlakovej nádoby.

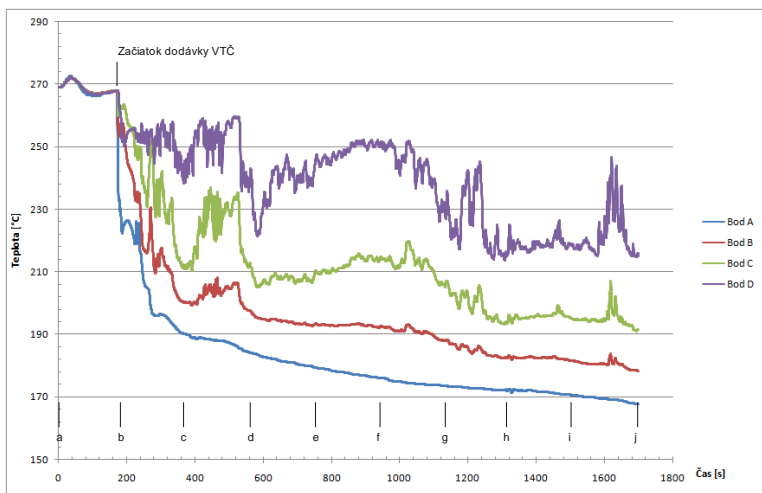
4.1. PRIESTOROVÁ CFD ANALÝZA

Počiatočným krokom v riešení termo-hydrauliky tlakovo-teplotného šoku bola parametrická štúdia teploty doplnovaného chladiva. Táto štúdia reprezentovala analýzy výpočtového modelu s uvažovaním rôznych teplôt doplnovaného chladiva v rozsahu od 20 až po 60°C s krokom 5°C. Jednotlivé analýzy boli počítané sekvenčne na distribuovanom HPC klastrí, pričom celkový čas výpočtu jednej analýzy trvala 2 týždne a výsledkový súbor jednej prechodovej analýzy predstavoval 300GB dát. Výstupovým parametrom parametrickej štúdie bola zvolená priemerná teplota chladiva na výstupnom nátrubku HL2. Kým referenčný priebeh má hladký polynomiálny charakter, čo naznačuje silné zjednodušenie v modelovaní procesov, priebeh získaný 3D CFD termo-hydraulickou analýzou vykazovala prudké zmeny vyvolané procesmi lokálneho priestorového zmiešavania chladiva. Z pohľadu zaťažovania tlakovej nádoby reaktora, tieto lokálne procesy zmiešavania sú kľúčové. Zmiešavanie chladiva vytvára nehomogénne teplotné pole v tlakovej nádobe reaktora. Toto pole je premenlivé aj v priestore aj v čase. Preto pre kvalitné zobrazenie priestorového zmiešavania chladiva boli zvolené dva spôsoby, zobrazenie hodnôt v závislosti od času vo vybratých bodoch a časové snímky priestorového rozloženia hodnôt.

Záujmové body boli umiestnené na vnútornom povrchu steny TNR a ich poloha bola určená vzhľadom na nátrubok CL2. Body A, B, C a D sa nachádzali na vnútornom povrchu steny tlakovej nádoby a boli využité na popísanie turbulentného zmiešavania chladiva a ochladzovania tlakovej nádoby pomocou časových priebehov teplôt v pripovrchových vrstvách rozhrania steny a chladiva. Tieto časové priebehy sú zobrazené na Obr. 2. Obrázok taktiež zobrazuje časový okamih začiatku doplnovania chladiva systémom VTČ v čase 166 s.

Body sa nachádzali vo zvislej rovine osi nátrubku CL2 na vnútornom povrchu steny TNR na úrovni:

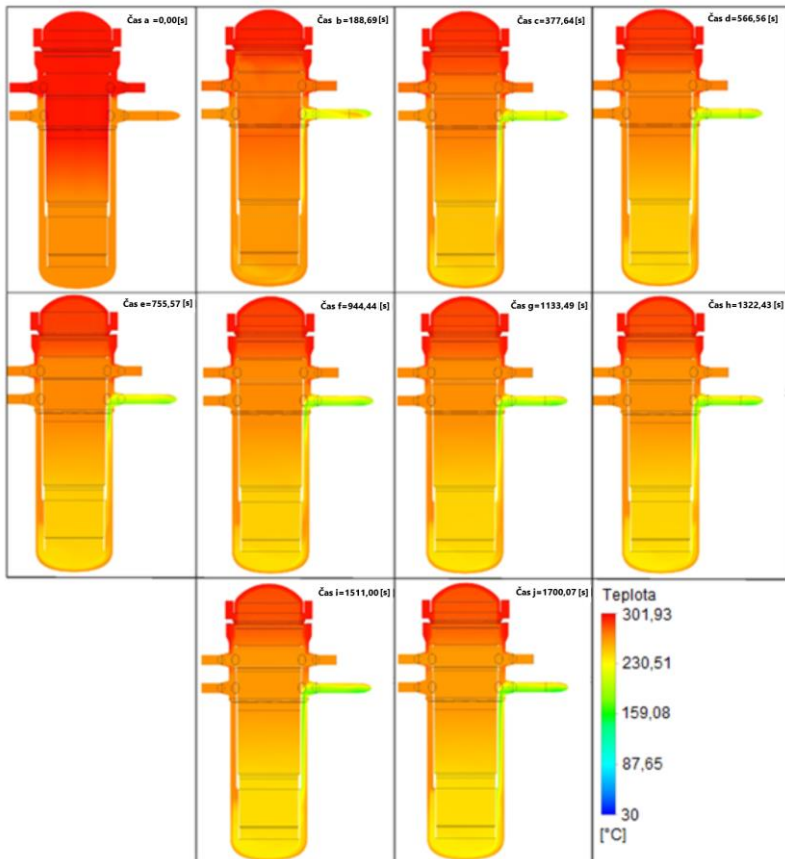
- A - tesne pod nátrubkom CL2 (0,3m pod úrovňou osi nátrubku CL2)
- B - úroveň zvaru č. 5 nad aktívnou zónou (1m pod úrovňou osi nátrubku CL2)
- C - horná úroveň aktívnej zóny (1,3m pod úrovňou osi nátrubku CL2)
- D - stredová rovina aktívnej zóny (2,5m pod úrovňou osi nátrubku CL2)



Obr. 2 Časové priebehy teplôt vybraných bodov s vyznačenými časovými bodmi

Časové priebehy teploty vo vybraných bodoch zobrazené na Obr. 2 charakterizujú vývin a správanie sa studeného pruhu pod nátrubkom CL2. V grafe je časová os rovnomerne rozdelená na časové úseky časovými bodmi značenými od „a“ až po „j“. Časový priebeh "Bod A" reprezentuje priebeh teploty v bode, ktorý sa nachádza priamo pod nátrubkom CL2. Tento bod sa nachádza najbližšie k vstupnému nátrubku a teda má relatívne najnižšie teploty a v čase je tento priebeh relatívne hladký, čo naznačuje relatívnu ustálenosť toku. So zvyšujúcou sa vzdialenosťou sa prejavuje postupné zmiešavanie chladiva v pruhu s chladivom prúdiacim v zostupnej časti vo forme zvýšenia teploty a efekt turbulencie. V najnižšom sledovanom bode "Bod D" charakteristika vykazuje pomerne vysoké teploty a ukazuje na nestálosť a kmitanie studeného pruhu.

Časové snímky na Obr. 3 sú zobrazené v rezovej rovine a predstavujú rozloženie teploty v TNR aj v chladive a reprezentujú stav v časových bodoch „a“ až „j“ (Obr. 2).



Obr. 3 Časové snímky priestorového rozloženia teploty chladiva aj TNR v rezovej rovine. Čas od „a“ až po bod „j“.

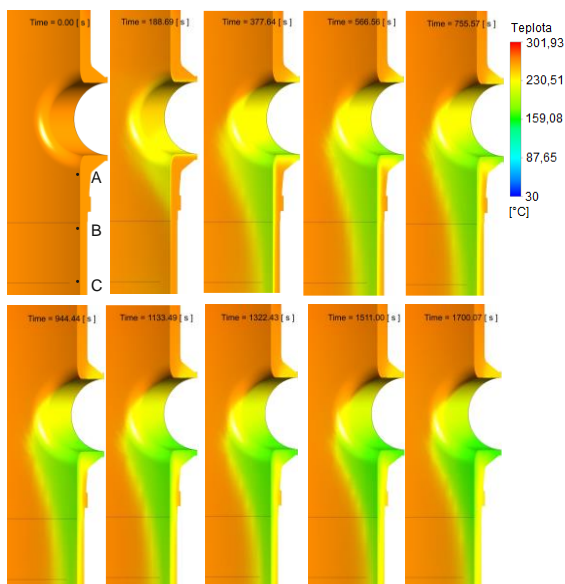
Na Obr. 3 sú zobrazené časové snímky teploty chladiva počas procesu zmiešavania chladiva v TNR.

Časové snímky zobrazené na Obr. 3 opisujú priebeh chladenia reaktora a reaktorovej nádoby počas modelovaného scenára. Na základe získaných dát bolo možné charakterizovať termo-hydraulický proces pre daný scenár nasledovne:

- záťažový stav tlakovej nádoby je silne nesymetrický, stena TNR pod nátrubkom CL2 je podchladená v porovnaní so stenou na protiľahlej strane pod nátrubkom CL5
- vzniká významný teplotný gradient v TNR vo zvislom smere, ktorý je pôsobený zotrvaním studeného chladiva v oblasti DZK a okolo dna šachty a zotrvaním horúceho chladiva v oblasti hornej časti BOR.
- vzniká významný teplotný gradient v Solid doméne po hrúbke steny TNR
- teplota chladiva v nátrubku CL2 nie je homogénna, nedokonalé zmiešavanie v studenej vetve zvyšuje mieru podchladenia steny nádoby

Na základe týchto poznatkov vieme určiť, že pri skúmaní záťažového stavu TNR nie je možné využiť zredukované modely. Ďalej, tlaková nádoba počas modelovaného scenáru bola vystavená záťažovým podmienkam tlakovo teplotného šoku. Pre vyhodnotenie procesu chladenia tlakovej nádoby, bolo potrebné sledovať teplotu steny TNR.

Chladenie steny tlakovej nádoby reaktora počas simulovaného deja neprebíha iba povrchovo. Obr. 4 zobrazuje vybrané snímky pozdĺžneho rezu steny tlakovej nádoby v stredovej rovine nátrubku CL2.



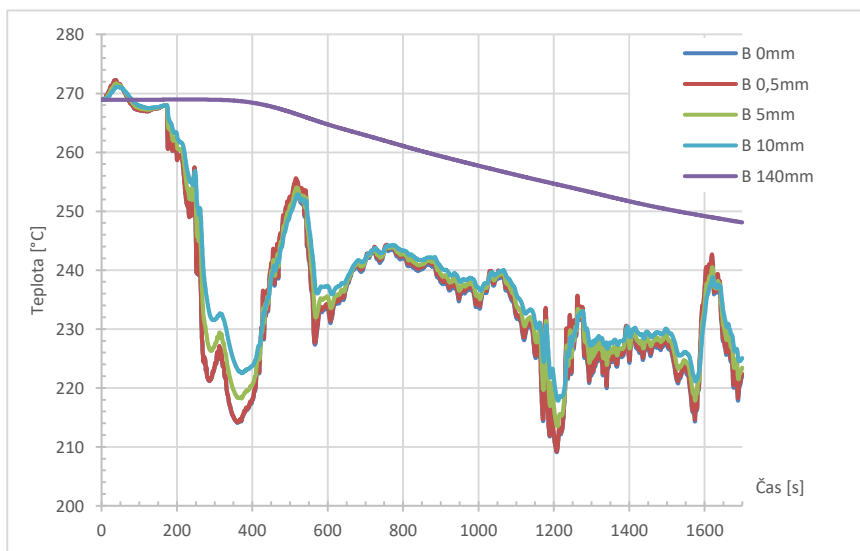
Obr. 4 Časové snímky rozloženia teploty v stene TNR zobrazené v reze cez CL2

Ako je vidno na Obr. 4, teplota steny nádoby postupne klesá po hrúbke steny. Gradient teplôt sa postupne mení, pričom maximálnu hodnotu dosiahne približne v čase 377s (viditeľné aj v grafoch na Obr. 5 a Obr. 6).

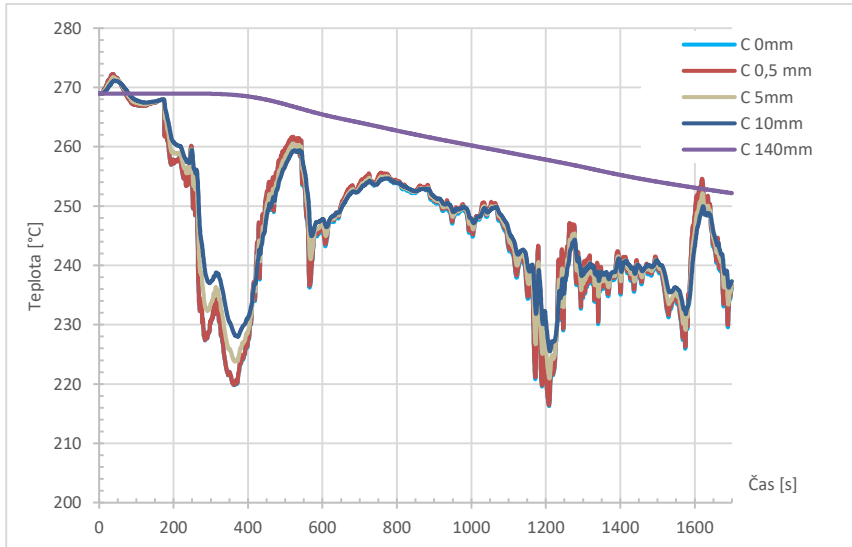
Rozloženie teploty po hrúbke steny je taktiež ovplyvňované osciláciou studeného pruhu chladiva. Kmitavá zmena teplôt prebieha nielen na povrchu ale aj v podpovrchových vrstvách. Na základe priebehov teplôt zobrazených na Obr. 2 boli vybrané body B a C na určenie priebehu teplôt v podpovrchových vrstvách. Body boli zvolené z dôvodu, že vykazujú relatívne vysokú nestabilitu teplôt v čase pri relatívne nízkych povrchových teplotách.

Obr. 5 a Obr. 6 zobrazujú grafy závislostí teplôt od času. Jednotlivé priebehy predstavujú teploty v uvedenej hĺbke pod vybraným bodom. Ako príklady:

- “B 0mm“, predstavuje teplotu v bode B na vnútornom povrchu TNR
- “B 5mm“, predstavuje teplotu v hĺbke 5mm od vnútorného povrchu TNR pod bodom B
- “B 140mm“, predstavuje teplotu v hĺbke 140mm pod bodom B čo zároveň predstavuje vonkajší povrch TNR (celková hrúbka steny 140mm)



Obr. 5 Časový priebeh teplôt v bode B v rôznych polohách po hrúbke TNR



Obr. 6 Časový priebeh teplôt v bode C v rôznych polohách po hrúbke TNR

Ako je vidieť z Obr. 5 a Obr. 6, podpovrchové teploty sledujú oscilačný charakter studeného pruhu a povrchových teplôt. Z priebehov je možné určiť niekoľko zaujímavých bodov a hodnôt:

- v čase 370s nastane najväčší teplotný rozdiel medzi vnútorným a vonkajším povrchom, pre bod B to je 55°C a pre bod C to je 49°C
- oscilácia studeného pruhu spôsobuje niekoľkonásobné výkyvy medzi lokálnymi minimálnymi a maximálnymi hodnotami
- sekundárny výkyv, ktorý prebieha v čase od 370s do 540s, predstavuje teplotnú zmenu 30°C
- v intervale od 600s do 1100s je studený pruh posunutý mimo body B a C a teda sú zaznamenané relatívne vysoké hodnoty teplôt
- v čase 1215s nastáva ďalšie prudké zníženie teplôt spôsobené vrátením sa pruhu do oblasti bodov B a C
- v čase 1620s nastáva prudké zvýšenie až vyrovnanie teplôt na vnútornom a vonkajšom povrchu

Z výsledkov priestorovej termo-hydraulickej analýzy sa ukázalo, že počas uvažovaného scenára zmiešavanie doplnňovaného chladiva od vysoko tlakového systému prebieha formou

studeného pruhu v zostupnej časti tlakovej nádoby. Vytvorený studený pruh následne lokálne ochladzuje stenu tlakovej nádoby. Významným poznatkom bol fakt, že vzniknutý studený pruh má oscilačný charakter a teda počas jednej modelovanej LOCA20 havárie môže prebehnúť väčší počet lokálnych PTS záťažových cyklov.

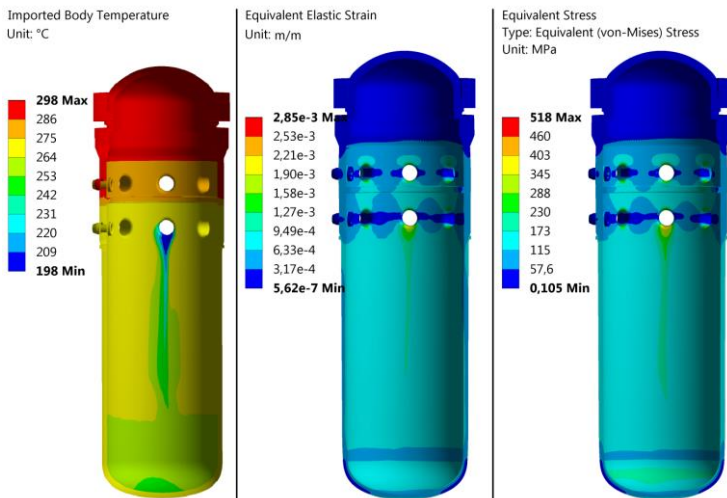
Na základe uvedených bodov, boli zvolené tri časové okamihy 360s, 1053s a 1218s, ktoré budú ďalej študované v nasledujúcich krokoch metodológie. Tieto časové okamihy boli zvolené na základe pozorovaných výkyvov v teplotnom poli. Pre tieto tri časové body boli výsledkové údaje tlakových a teplotných podmienok tlakovej nádoby reaktora exportované a pripravené na spracovanie v ďalších krokoch.

4.2. TEPELNO-MECHANICKÁ ANALÝZA

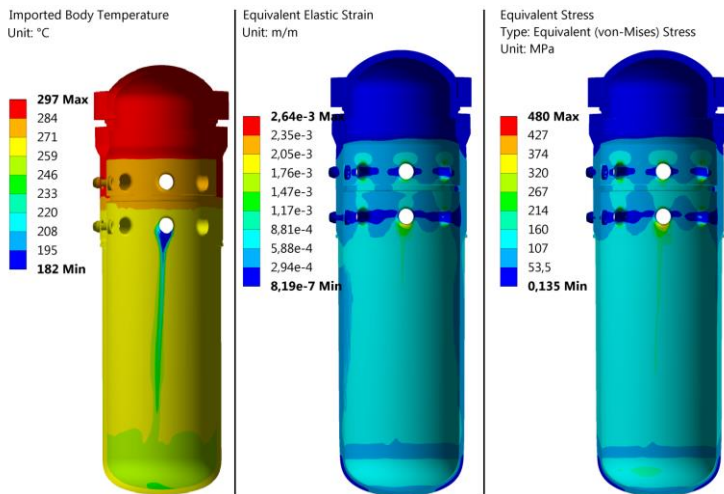
Tepelno-mechanická analýza vychádzala z výsledkov získaných z priestorovej termo-hydraulickej analýzy. Cieľom bolo určenie kritických zón napätostí, kde môže vzniknúť a šíriť sa trhlinka. Tepelno-mechanická analýza predstavovala tri výpočty pre vybrané časové body určené z 3D CFD termo-hydraulickej analýzy.

Súčasťou tepelno-mechanickej analýzy boli tri výpočty ustáleného stavu vo vybraných časových bodoch. Jednotlivé výpočty boli riešené sekvenčne a predstavujú okamihový snímok z celkového priebehu scenáru riešeného pomocou termo-hydraulickej analýzy. Primárnym záťažovým faktorom bolo rozloženie teploty a tlaku na tlakovej nádobe reaktora, tieto hodnoty bolo pre jednotlivé výpočty importované zo súboru dát výsledkov termo-hydraulickej analýzy. Obr. 7, Obr. 8 a Obr. 9 zobrazujú rozloženie teploty (vľavo), pretvorenia (stred) a ekvivalentného mechanického napätia (vpravo) v pozdĺžnom reze v pohľade v smere osi nátrubku CL2.

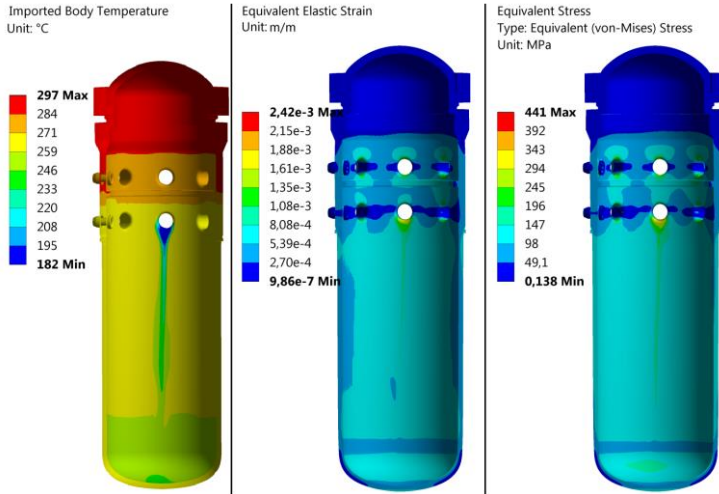
Jednotlivé obrázky zobrazujú záťažový stav modelovaného systému pre zvolené časové body. Ako je vidieť na obrázku, mechanické napätie relatívne dobre sleduje rozloženie teploty. Maximálne mechanické napätia sú pozorovateľné v oblasti studeného pruhu. Lokálne maximálne mechanické napätia vznikajú na vnútornej stene nátrubku CL2, kde je tiež pozorovateľná minimálna teplota.



Obr. 7 Výsledky tepelno-mechanickej analýzy pre čas 360s



Obr. 8 Výsledky tepelno-mechanickej analýzy pre čas 1053s



Obr. 9 Výsledky tepelno-mechanickej analýzy pre čas 1218s

Získané hodnoty maximálnych mechanických napätí sú relatívne vysoké. Oblasť týchto extrémov je ale relatívne malá a predstavuje tenkú prípoверхovú vrstvu. Z dôvodu použitia lineárneho elastického modelu sú tieto napätia nadhodnotené. V reálnej štruktúre by v týchto oblastiach došlo k plastizácii materiálu a zníženiu lokálnych mechanických napätí. Vzhľadom na polohu uvedených maxím na vnútornom povrchu steny studeného nádrubku (mimo skúmanej oblasti studeného pruhu), rozloženia mechanických napätí v stene tlakovej nádoby a odporúčaní smerníc agentúry IAEA a ďalšími autormi zaoberajúcimi danou problematikou [12], zvolený lineárny materiálový model bol považovaný za prijateľný.

Na základe rozloženia mechanických napätí získaných z troch analýz záťažového stavu TNR a na základe polohy aktívnej zóny bola zvolená kritická zóna v bode C. V tomto bode bol pozorovateľný vplyv studeného pruhu a nachádza sa na vrchnej úrovni aktívnej zóny. Do tejto zóny bola v nasledujúcom kroku vložená inicializačná trhlinka.

4.3. ANALÝZA LOMOVÉHO ZÁŤAŽOVÉHO STAVU

V poslednom kroku metodológie bolo potrebné vykonať analýzu záťažového stavu trhlín. Táto analýza bola postavená na numerických metódach lomovej mechaniky. Tieto metódy sú založené na postulovanej inicializačnej trhline, ktorá musí byť vopred zahrnutá vo výpočtovom modeli. Tvar a orientácia uvažovanej inicializačnej trhliny bola určená na základe noriem agentúry

IAEA. Kritické zóny zaťaženia a záujmová poloha inicializačnej trhliny bola určená na základe výpočtov z predchádzajúceho kroku.

Súčasťou analýzy lomového záťažového stavu bolo šesť výpočtov ustáleného stavu vo vybratých časových bodoch a príslušnou orientáciou inicializačnej trhliny. Jednotlivé výpočty boli riešené sekvenčne a predstavujú okamihový snímok z celkového priebehu scenáru riešeného pomocou termo-hydraulickej analýzy. Primárnym záťažovým faktorom bolo rozloženie teploty a tlaku na tlakovej nádobe reaktora, tieto hodnoty boli pre jednotlivé výpočty importované zo súboru dát výsledkov termo-hydraulickej analýzy. Maximálne hodnoty vybratých faktorov záťažového stavu získaných jednotlivými analýzami boli spracované a zobrazené v Tab. 1.

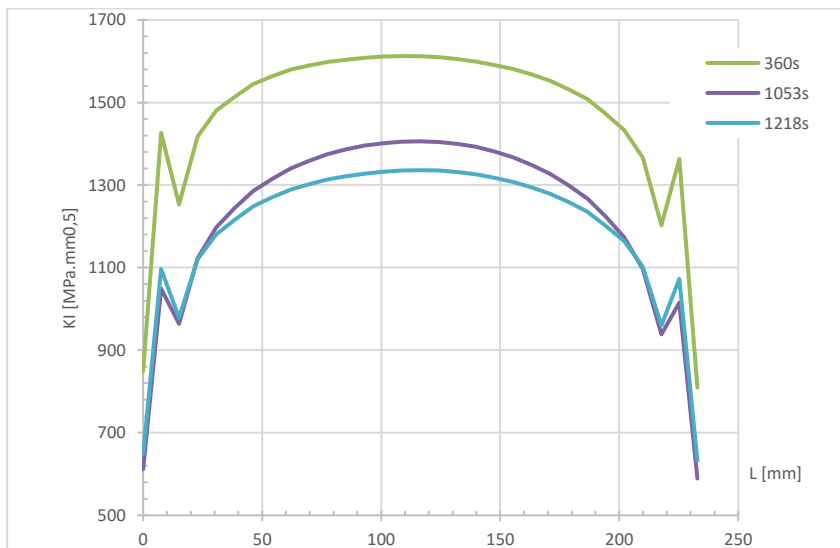
Tab. 1 Dosiiahnuté maximá pre jednotlivé uvažované orientácie trhlín a časových okamihov

		Pozdĺžna	Obvodová	
360s	K _I	1612,20	860,38	[MPa/mm ^{0.5}]
	K _{II}	27,55	36,17	
	K _{III}	28,48	31,38	
	J	11886,00	3458,60	[J/m ²]
1053s	K _I	1406,40	1146,80	[MPa/mm ^{0.5}]
	K _{II}	35,55	6,68	
	K _{III}	36,89	5,84	
	J	8040,00	6081,70	[J/m ²]
1218s	K _I	1335,70	1157,00	[MPa/mm ^{0.5}]
	K _{II}	40,03	69,19	
	K _{III}	39,72	55,90	
	J	8155,00	6193,30	[J/m ²]

Tab. 1 zobrazuje vypočítané maximálne hodnoty faktorov zoskupených podľa orientácie inicializačnej trhliny a podľa časovej snímky záťaže. Tabuľka obsahuje maximá troch smerových faktorov intenzity napätia a maximum hodnoty J integrálu. Z uvedených faktorov intenzity napätia je možné konštatovať, že trhliny sú vo všetkých uvažovaných prípadoch zaťažované v otváracom móde. O čom vypovedá významne vyššia hodnota K_I v porovnaní s príslušnými hodnotami K_{II} a K_{III}. Hodnota získaných faktorov ale nie je konštantná a mení sa po obvode čela trhliny.

Vzhľadom na to, že smerodajná hodnota záťažového stavu pre otvárací mód zaťaženia je K_I, táto hodnota bola využitá na detailnejšie vzájomné porovnanie jednotlivých stavov. Obr. 10 a Obr. 11 zobrazujú závislosť faktoru intenzity napätia od polohy, kde vodorovná nezávislá os

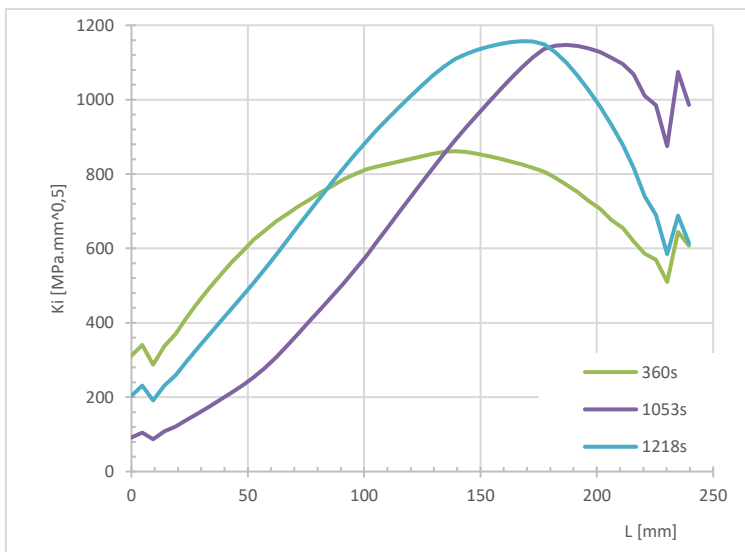
zobrazuje obvodovú vzdialenosť po čele trhliny. Celková obvodová dĺžka čela je daná rozmermi a poleiptickým tvarom trhliny a predstavuje približne 233mm.



Obr. 10 Faktor intenzity napätia po čele trhliny pre jednotlivé záťažové stavy (pozdĺžna trhlina)

Obr. 10 zobrazuje priebeh faktoru intenzity napätia pozdĺžne orientovanej poleiptickej trhliny po čele trhliny pre tri sledované záťažové stavy. Všetky tri zobrazené priebehy sú súmerné a v čase postupne klesajúce. Tieto vlastnosti je možné zdôvodniť tým, že studený pruh chladiva je v následku zmiešavania v zostupnej časti posunutý mimo roviny trhliny pre všetky tri stavy. Teplotné podmienky po dĺžke trhliny sú rovnomerné a postupný pokles faktoru intenzity napätia je pre prezentované stavy pravdepodobne spôsobený v čase klesajúcim tlakom chladiva a vzdialenosťou studeného pruhu od roviny trhliny.

Obr. 11 zobrazuje priebeh faktoru intenzity napätia obvodovo orientovanej poleiptickej trhliny po čele trhliny pre tri sledované záťažové stavy. V porovnaní s priebehmi získanými pre pozdĺžnu trhlinu, priebehy zobrazené na Obr. 11 nie sú súmerné. Maximálna faktor intenzity sú posunuté mimo stred obvodu čela trhliny. Ďalej, časová zmena záťažového tvaru pre obvodovo orientovanú trhlinu nie je klesajúca. Geometrické vlastnosti (rozмеры, poloha a orientácia) obvodovo uloženéj trhliny spôsobuje, že trhlina zasahuje do oblasti studeného pruhu. Teplotné podmienky po dĺžke trhliny sú premenlivé.



Obr. 11 Faktor intenzity napätia po čele trhliny pre jednotlivé záťažové stavy (obvodová trhlina)

Pre dané skúmané kombinácie záťažových stavov a uvažovaných inicializačných trhlín je možné skonštatovať:

- pozdĺžne orientovaná trhlina je minimálne citlivá na kmitavý charakter studeného pruhu
- citlivosť pozdĺžne orientovanej trhliny je významne ovplyvnená jej polohou
- obvodovo orientovaná trhlina výraznejšie zasahuje do oblasti studeného pruhu a obvodovo orientovaná dĺžka trhliny znamená, že trhlina lepšie pokryje oblasť kmitania studeného pruhu
- obvodovo orientovaná trhlina je výrazne citlivá na kmitanie studeného pruhu
- lokálna teplota studeného pruhu ovplyvňuje maximálnu hodnotu faktoru intenzity napätia
- kmitanie studeného pruhu ovplyvňuje polohu maxima faktoru intenzity napätia.

5 ZÁVER

5.1. CELKOVÉ ZHODNOTENIE

Táto práca bola zameraná na modelovanie tlakovo teplotného šoku počas takzvanej havárie s únikom chladiva. Súčasťou modelovaných procesov boli systémy havarijného chladenia aktívnej zóny. Proces doplňovania uniknutého chladiva primárneho okruhu bol zahrnutý na základe dát získaných zo systémovej termo-hydraulickej analýzy. Prvotné termo-hydraulické analýzy slúžili na simuláciu procesu likvidácie následkov simulovanej havárie. Havarijné systémy chladenia aktívnej zóny dopĺňali chladivo relatívne nízkej teploty do primárneho okruhu. Turbulentné zmiešavanie studeného a teplého chladiva v okolí vstupných nátrubkov a v zostupnej časti tlakovej nádoby malo za následok nerovnomerné chladenie steny tlakovej nádoby a vytváralo podmienky pre vznik tlakovo teplotného šoku. Strata integrity tlakovej nádoby nastane v prípade, ak miera poškodenia tlakovej nádoby dosiahne úroveň, kde už tlaková nádoba nie je schopná bezpečne plniť svoju funkciu mechanického uloženia vnútroreaktorových komponentov a hermetickosť primárneho okruhu. Pre zistenie stavu integrity modelovanej tlakovej nádoby boli vykonané následné štruktúrne analýzy a analýzy metódami lomovej mechaniky. Jednotlivé kroky riešenia modelovacej metodiky prezentovanej v tejto práci obsahujú vyhodnotenie dosiahnutých výsledkov a čiastkové závery. Celkové zhodnotenie modelovacej metodiky a dosiahnutých výsledkov modelovania prezentované v práci je možné spraviť z dvoch pohľadov:

Z kvalitatívneho pohľadu, dosiahnuté výsledky sú považované za vierohodné. Modely a výpočty boli zostavené v súlade s „best practice“ metódami. Všetky použité numerické modely boli odladené pomocou „mesh sensitivity“ štúdie pre zabezpečenie najlepšej možnej kvality výsledkov pri minimálnej možnej výpočtovej náročnosti. Výsledky boli následne verifikované pomocou spätnej kontroly a porovnania s dátami zo systémovej termo-hydraulickej analýzy. Zachytenie vzniku oscilačného správania studeného pruhu a jeho vplyvu na stenu tlakovej nádoby je z kvalitatívneho hľadiska považované za primárny výstup z práce.

Zhodnotenie výsledkov z kvantitatívneho pohľadu je obťažnejšie, z dôvodu že materiálové vlastnosti využité pre analýzy predstavovali povýrobný stav a nie ožiarený stav po dlhodobej prevádzke. Pre kvalitné a vierohodné vyhodnotenie z kvantitatívneho hľadiska by bolo potrebné vykonať validáciu výsledkov na základe experimentálnych meraných dát, ktoré z technických dôvodov neboli dostupné.

Časová náročnosť riešenia jednotlivých krokov metodiky zahŕňala zostavenie výpočtových modelov, odladenie výpočtových modelov, zostavenie analýz, riešenie technických problémov a obmedzení numerických nástrojov, zostavenie vhodných riešení na zabezpečenie

prenosu dát medzi analýzami, samotné výpočty a spracovanie získaných výsledkov. Uvedené úlohy boli vykonané pre každú uvedenú analýzu v tejto práci.

5.2. ĎALŠIE MOŽNÉ POKRAČOVANIE VÝVOJA A VÝSKUMU V TEJTO OBLASTI

Cieľom tejto práce bolo poskytnúť robustný prístup a spôsob deterministického modelovania tlakovo teplotného šoku pre reaktory typu VVER 440/213. Pre možnosť detailného modelovania týchto komplexných, v čase premenlivých procesov bol zvolený deterministický prístup podporovaný výsledkami numerických simulácií. Sice práca bola zameraná na špecifický problém tlakovo teplotného šoku počas LOCA20 havárie pre tlakovú nádobu reaktora VVER440/213, navrhnutá metodika riešenia by mala byť dostatočne robustná a flexibilná na to, aby umožnila riešenie rôznych scenárov, ktoré spĺňajú obmedzenia opísané v tejto práci. Vylepšenia metodiky a ďalšie možné pokračovanie výskumu v oblasti problematiky:

Vyriešenie technických problémov mapovania uzlových bodov vzniknuté pri špecifickom využití metódy submodelingu, by umožnilo zlepšenie výpočtovej náročnosti štrukturálnych analýz. Takáto redukcia modelu by umožnila aj plnohodnotné prechodové štrukturálne analýzy.

Zlepšenie kvantitatívnej vierohodnosti získaných výsledkov využitím materiálových vlastností reprezentujúcich reálne materiálové stavy. Vykonanie validácie modelov na základe experimentálnych výsledkov.

Korektné zachytenie vplyvu oscilačného charakteru studeného pruhu na stenu tlakovej nádoby pomocou prechodovej štrukturálnej analýzy by umožnilo kvalitnejšie vyhodnotenie možných záťažových cyklov a frekvencií pre únavovú štúdiu.

Vo výsledkoch pozorovateľné oscilačné správanie studeného pruhu je výsledkom špecifických termo-hydraulických podmienok skúmaného scenáru LOCA20. Na určenie možnosti vzniku kmitavého pruhu pri iných termo-hydraulických podmienkach by bolo potrebné vykonať štúdie pre iné scenáre LOCA havárie.

5.3. PRÍNOSY DIZERTAČNEJ PRÁCE

Súčasťou práce bola navrhnutá viackroková modelovacia metodológia ktorá slúži na modelovanie komplexných termo-hydraulických procesov. Táto metodológia bola navrhnutá pre účely modelovania termo-hydraulických procesov tlako-vodných reaktorov so zameraním na analýzu tlakovo-teplotného šoku. Podstatou metodológie je postupné modelovanie systému od

globálneho pohľadu k špecifickému, čím sa zabezpečí minimalizácia počtov postulovaných podmienok.

Navrhnutá metodológia bola využitá na analýzu vplyvu scenáru Havárie s únikom chladiva s efektívnym priemerom úniku 20mm na tlakovú nádobu reaktoru VVER 440/213. Z výsledkov analýzy bolo možné vyvodiť niekoľko poznatkov:

- Pre daný modelovaný scenár bol spozorovaný vznik kmitavého pruhu studeného chladiva v zostupnej časti reaktora v tesnej blízkosti steny tlakovej nádoby, ktorá lokálne ochladzovala povrch steny tlakovej nádoby.
- Kmitavý charakter studeného pruhu má vplyv aj na podpovrchové vrstvy materiálu steny tlakovej nádoby.
- Bola spozorovaná závislosť citlivosti inicializačných trhlín na kmitavý charakter studeného pruhu od jej orientácie

Spozorovaný kmitavý charakter studeného pruhu je vlastnosť, ktorú štandardné prístupy riešenia tlakovo-teplotného šoku zostavené pomocou postulovaných podmienok neumožňujú zachytiť. Pričom dynamický charakter chladenia vyvoláva viacnásobné záťažové cykly počas simulovaného scenáru, ktoré môžu spôsobiť únavu materiálu a majú negatívny vplyv na životnosť tlakovej nádoby reaktora.

PUBLIKAČNÁ ČINNOSŤ AUTORA

ADC Vedecké práce v zahraničných karentovaných časopisoch

ADC01 LALINSKÝ, Tibor - DZUBA, Jaroslav - VANKO, Gabriel - KUTIŠ, Vladimír - PAULECH, Juraj - GÁLIK, Gabriel - DRŽÍK, Milan - CHROMÍK, Štefan - LOBOTKA, Peter. Thermo-mechanical analysis of uncooled La_{0.67}Sr_{0.33}MnO₃ microbolometer made on circular SOI membrane. In Sensors and Actuators A. Physical. Vol. 265, (2017), s. 321-328. ISSN 0924-4247 (2017: 2.311 - IF, Q2 - JCR Best Q, 0.699 - SJR, Q1 - SJR Best Q). V databáze: SCOPUS: 2-s2.0-85029699843 ; CC: WOS:000413381400038.

ADN Vedecké práce v domácich časopisoch registrovaných v databázach Web of Science alebo SCOPUS

ADN01 GÁLIK, Gabriel - KUTIŠ, Vladimír - JAKUBEC, Jakub - PAULECH, Juraj - SEDLÁR, Tibor. Modeling of coolant flow within the spent fuel storage pool of a VVER 440 reactor. In Strojnicky časopis = Journal of Mechanical engineering. Vol. 67, no. 1 (2017), s. 37-44. ISSN 0039-2472 (2017). V databáze: SCOPUS: 2-s2.0-85059973843.

ADN02 JAKUBEC, Jakub - PAULECH, Juraj - KUTIŠ, Vladimír - GÁLIK, Gabriel. Influence of bypass on thermo-hydraulics of VVER440 fuel assembly. In Strojnicky časopis = Journal of Mechanical engineering. Vol. 67, no. 1 (2017), s. 69-76. ISSN 0039-2472 (2017). V databáze: SCOPUS: 2-s2.0-85060033800.

ADN03 KUTIŠ, Vladimír - JAKUBEC, Jakub - PAULECH, Juraj - GÁLIK, Gabriel - SEDLÁK, Tomáš. CFD analysis of downcomer of nuclear reactor VVER 440. In Strojnicky časopis = Journal of Mechanical engineering. Vol. 66, no. 2 (2016), s. 55-62. ISSN 0039-2472 (2016). V databáze: SCOPUS: 2-s2.0-85059921717.

ADN04 KUTIŠ, Vladimír - GÁLIK, Gabriel - PAULECH, Juraj - MURÍN, Justín - GOGA, Vladimír. CFD analysis of dry cask nuclear fuel storage. In Strojnicky časopis = Journal of Mechanical engineering. Vol. 69, No. 3 (2019), s. 75-80. ISSN 0039-2472 (2019: 0.247 - SJR, Q3 - SJR Best Q). V databáze: DOI: 10.2478/scjme-2019-0032 ; SCOPUS: 2-s2.0-85076313353.

ADN05 PAULECH, Juraj - KUTIŠ, Vladimír - GÁLIK, Gabriel - JAKUBEC, Jakub - SEDLÁR, Tibor. Thermo-hydraulic behaviour of coolant in nuclear reactor VVER-440 under refuelling conditions. In Strojnicky časopis = Journal of Mechanical engineering. Vol. 67, no. 1 (2017), s. 87-92. ISSN 0039-2472 (2017). V databáze: SCOPUS: 2-s2.0-85059973065.

ADN06 PAULECH, Juraj - KUTIŠ, Vladimír - GÁLIK, Gabriel - MURÍN, Justín. Mechanical analysis of clamp for powerline conductors. In Strojnicky časopis = Journal of Mechanical engineering. Vol. 69, No. 3 (2019), s. 95-100. ISSN 0039-2472 (2019: 0.247 - SJR, Q3 - SJR Best Q). V databáze: DOI: 10.2478/scjme-2019-0035 ; SCOPUS: 2-s2.0-85076295402.

ADN07 PAULECH, Juraj - GÁLIK, Gabriel - KUTIŠ, Vladimír - MURÍN, Justín. Software for model preparation of transmission lattice construction. In *Strojnícky časopis = Journal of Mechanical engineering*. Vol. 69, No. 3 (2019), s. 89-94. ISSN 0039-2472 (2019: 0.247 - SJR, Q3 - SJR Best Q). V databáze: DOI: 10.2478/scjme-2019-0034 ; SCOPUS: 2-s2.0-85076306612.

AEC Vedecké práce v zahraničných recenzovaných vedeckých zborníkoch, monografiách

AEC01 KUTIŠ, Vladimír - GÁLIK, Gabriel - RÝGER, Ivan - MURÍN, Justín - HRABOVSKÝ, Juraj - PAULECH, Juraj - LALINSKÝ, Tibor. Piezoelectric Analysis of SAW Sensor Using Finite Element Method. In *Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské - Technické univerzity Ostrava*. Roč. 59, č. 1 (2013), s.33-38. ISSN 1210-0471

AFC Publikované příspěvky na zahraničných vedeckých konferenciách

AFC01 GÁLIK, Gabriel - KUTIŠ, Vladimír - JAKUBEC, Jakub - PAULECH, Juraj. Pressure thermal shock analysis for nuclear reactor. In *23rd SVSFEM ANSYS Users' Group Meeting and Conference 2015* [elektronický zdroj] : 10.-12.6.2015, Hustopeče, Česká republika. 1. vyd. Brno : SVS FEM, 2015, S. 21-28. ISBN 978-80-905525-2-4. V databáze: W

AFC02 GÁLIK, Gabriel - KUTIŠ, Vladimír - PAULECH, Juraj - JAKUBEC, Jakub. Thermo-hydraulic flow simulation of spent fuel storage pool. In *Proceedings of 24th SVSFEM ANSYS Users' Group Meeting and Conference 2016* [elektronický zdroj] : Dolní Morava, ČR, 1. - 3. 6. 2016. 1. vyd. Brno : SVS FEM, 2016, online, S. 5-9. ISBN 978-80-905525-3-1.

AFC03 GÁLIK, Gabriel - KUTIŠ, Vladimír - JAKUBEC, Jakub - PAULECH, Juraj. Transient coolant mixing and structural simulation of a small-LOCA event in a VVER-440 reactor. In *Proceedings of 25th SVSFEM ANSYS Users' Group Meeting and Conference 2017* [elektronický zdroj] : 28th - 30th of June 2017, Brno, Czech Republic. 1. vyd. Brno : SVS FEM, 2017, online, S. 51-58. ISBN 978-80-905525-4-8.

AFC04 GÁLIK, Gabriel - KUTIŠ, Vladimír - PAULECH, Juraj - GOGA, Vladimír. Termo-hydraulic and termo-mechanical loading of VVER-440 reactor pressure vessel. In *Applied mechanics 2018 : 20th International conference*. Myslovice, Czech Republic. April 9-11, 2018. Plzeň : Západočeská univerzita v Plzni, 2018, S. 31-36. ISBN 978-80-261-0766-8

AFC05 GÁLIK, Gabriel - PAULECH, Juraj - KUTIŠ, Vladimír - MURÍN, Justín - GOGA, Vladimír. Model preparation and mechanical simulation of transmission lattice construction. In *Applied mechanics 2019 : 21st International conference*. Ostravice, Czech Republic. April 17-19, 2019. Ostrava : VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2019, S. 54-59. ISBN 978-80-248-4287-5.

AFC06 GÁLIK, Gabriel - KUTIŠ, Vladimír - PAULECH, Juraj - MURÍN, Justín. Modelling the effects of oscillating stripe cooling during a LOCA event in a VVER440/213 reactor pressure vessel. In *Coupled problems 2019 : VIII International conference on computational methods for coupled problems in science and engineering*. Sitges, Spain. June 3-5, 2019. Barcelona : CIMNE, 2019, S. 553-561. ISBN 978-84-949194-5-9.

AFC07 GOGA, Vladimír - BOHUŠ, Jakub - GÁLIK, Gabriel. Stress analysis using ANSYS model of the strain gauge rosette. In Proceedings of 24th SVSFEM ANSYS Users' Group Meeting and Conference 2016 [elektronický zdroj] : Dolní Morava, ČR, 1. - 3. 6. 2016. 1. vyd. Brno : SVS FEM, 2016, online, S. 141-146. ISBN 978-80-905525-3-1.

AFC08 GOGA, Vladimír - JAKUBEC, Jakub - GÁLIK, Gabriel - MURÍN, Justín. Physical quarter car suspension model. In Applied mechanics 2017 : 19th conference. Brno, Czech Republic. April 25-27, 2017. Brno : Institute of Physics of Materials ASCR, 2017, S. 25-28. ISBN 978-80-87434-08-6.

AFC09 GOGA, Vladimír - MURÍN, Justín - KUTIŠ, Vladimír - PAULECH, Juraj - GÁLIK, Gabriel. Parameter identification of linear mechanical system. In Applied mechanics 2018 : 20th International conference. Myslovice, Czech Republic. April 9-11, 2018. Plzeň : Západočeská univerzita v Plzni, 2018, S. 37-42. ISBN 978-80-261-0766-8.

AFC10 GOGA, Vladimír - MINÁR, Martin - MURÍN, Justín - KUTIŠ, Vladimír - PAULECH, Juraj - GÁLIK, Gabriel. Basic parameters of coiled fishing line actuator. In Applied mechanics 2019 : 21st International conference. Ostravice, Czech Republic. April 17-19, 2019. Ostrava : VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2019, S. 65-69. ISBN 978-80-248-4287-5.

AFC11 HRABOVSKÝ, Juraj - KUTIŠ, Vladimír - PAULECH, Juraj - GÁLIK, Gabriel - LALINSKÝ, Tibor - VANKO, Gabriel - DZUBA, Jaroslav. Static and transient analysis of microbolometer. In Proceedings of 25th SVSFEM ANSYS Users' Group Meeting and Conference 2017 [elektronický zdroj] : 28th - 30th of June 2017, Brno, Czech Republic. 1. vyd. Brno : SVS FEM, 2017, online, S. 31-35. ISBN 978-80-905525-4-8.

AFC12 JAKUBEC, Jakub - KUTIŠ, Vladimír - GÁLIK, Gabriel - PAULECH, Juraj. Coolant mixing processes simulations of nuclear reactor VVER 440 fuel assembly. In 23rd SVSFEM ANSYS Users' Group Meeting and Conference 2015 [elektronický zdroj] : 10.-12.6.2015, Hustopeče, Česká republika. 1. vyd. Brno : SVS FEM, 2015, S. 63-69. ISBN 978-80-905525-2-4. V databáze: WOS.

AFC13 JAKUBEC, Jakub - KUTIŠ, Vladimír - GÁLIK, Gabriel - PAULECH, Juraj. CFD model for bypass study of VVER440 fuel assembly. In Proceedings of 24th SVSFEM ANSYS Users' Group Meeting and Conference 2016 [elektronický zdroj] : Dolní Morava, ČR, 1. - 3. 6. 2016. 1. vyd. Brno : SVS FEM, 2016, online, S. 10-14. ISBN 978-80-905525-3-1.

AFC14 KUTIŠ, Vladimír - GÁLIK, Gabriel - KRÁLOVIČ, Viktor - RÝGER, Ivan - MOJTO, Emil - LALINSKÝ, Tibor. Modelling and Simulation of SAW Sensor Using FEM. In Procedia Engineering : Modelling of Mechanical and Mechatronics Systems. 5th International Conference. Zemplínska Širava, Slovakia, November 6- 8, 2012. Vol. 48 (2012), s.332-337. ISSN 1877-7058 (2012): 0.165 - SJR).

AFC15 KUTIŠ, Vladimír - GÁLIK, Gabriel - RÝGER, Ivan - PAULECH, Juraj - MURÍN, Justín - HRABOVSKÝ, Juraj - LALINSKÝ, Tibor. FEM Model of Surface Acoustic Wave Sensor with Sensitive Layer. In 21st SVS FEM ANSYS Users' Group Meeting and Conference 2013 [elektronický zdroj] : Luhačovice, Czech Republic, 12.-14.6.2013. Brno : SVS FEM, 2013, s.online, [7] p. ISBN 978-80-905525-0-0.

AFC16 KUTIŠ, Vladimír - GÁLIK, Gabriel - MURÍN, Justín - RÝGER, Ivan - PAULECH, Juraj - HRABOVSKÝ, Juraj - LALINSKÝ, Tibor. Piezoelectric FEM Analysis of Surface Acoustic Wave Sensor. In Computational Plasticity XII. Fundamentals and Applications [elektronický zdroj] : Proceedings of the XII International Conference on Computational Plasticity-Fundamentals and Applications. Barcelona, Spain, 3-5 September 2013. Barcelona : International Center for Numerical Methods in Engineering, 2013, s.CD-ROM, [7] p. ISBN 978-84-941531-5-0.

AFC17 KUTIŠ, Vladimír - JAKUBEC, Jakub - GÁLIK, Gabriel - PAULECH, Juraj - MURÍN, Justín. Thermal homogenization of coolant in upperplenum of nuclear reactor VVER 440. In 23rd SVSFEM ANSYS Users´Group Meeting and Conference 2015 [elektronický zdroj] : 10.-12.6.2015, Hustopeče, Česká republika. 1. vyd. Brno : SVS FEM, 2015, S. 119-125. ISBN 978-80-905525-2-4. V databáze: WOS.

AFC18 KUTIŠ, Vladimír - JAKUBEC, Jakub - PAULECH, Juraj - GÁLIK, Gabriel. Coolant mass flow distribution at inlet fuel assembly nozzles of nuclear reactor VVER 440. In Proceedings of 24th SVSFEM ANSYS Users´ Group Meeting and Conference 2016 [elektronický zdroj] : Dolní Morava, ČR, 1. - 3. 6. 2016. 1. vyd. Brno : SVS FEM, 2016, online, S. 147-153. ISBN 978-80-905525-3-1.

AFC19 KUTIŠ, Vladimír - JAKUBEC, Jakub - PAULECH, Juraj - GÁLIK, Gabriel - MURÍN, Justín - HRABOVSKÝ, Juraj. CFD analysis of fuel assembly bypass. In Applied mechanics 2017 : 19th conference. Brno, Czech Republic. April 25-27, 2017. Brno : Institute of Physics of Materials ASCR, 2017, S. 61-64. ISBN 978-80-87434-08-6.

AFC20 KUTIŠ, Vladimír - JAKUBEC, Jakub - GÁLIK, Gabriel - PAULECH, Juraj - MURÍN, Justín. CFD modeling and simulation of fuel assembly bypass. In Proceedings of 25th SVSFEM ANSYS Users´ Group Meeting and Conference 2017 [elektronický zdroj] : 28th - 30th of June 2017, Brno, Czech Republic. 1. vyd. Brno : SVS FEM, 2017, online, S. 37-41. ISBN 978-80-905525-4-8.

AFC21 KUTIŠ, Vladimír - MURÍN, Justín - PAULECH, Juraj - GÁLIK, Gabriel - GOGA, Vladimír. Piezoelectric finite element beam for SMART structures. In Applied mechanics 2018 : 20th International conference. Myslovce, Czech Republic. April 9-11, 2018. Plzeň : Západočeská univerzita v Plzni, 2018, S. 69-74. ISBN 978-80-261-0766-8.

AFC22 KUTIŠ, Vladimír - MURÍN, Justín - PAULECH, Juraj - GÁLIK, Gabriel. Finite beam element with piezoelectric layers and FG material of core. In 13th World congress on computational mechanics : 2nd Pan American congress on computational mechanics. New York, USA. July 22-27, 2018. New York : IACM, 2018, [10] s. ISBN 978-0-578-40837-8.

AFC23 KUTIŠ, Vladimír - GÁLIK, Gabriel - PAULECH, Juraj - MURÍN, Justín - GOGA, Vladimír. CFD analysis of dry cask nuclear fuel storage. In Applied mechanics 2019 : 21st International conference. Ostravice, Czech Republic. April 17-19, 2019. Ostrava : VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2019, S. 114-118. ISBN 978-80-248-4287-5.

AFC24 KUTIŠ, Vladimír - PAULECH, Juraj - GÁLIK, Gabriel - MURÍN, Justín. Piezoelectric finite beam element with FGM core for mechatronic applications. In Coupled problems 2019 : VIII International conference on computational methods for coupled problems in science and engineering. Sitges, Spain. June 3-5, 2019. Barcelona : CIMNE, 2019, S. 100-109. ISBN 978-84-949194-5-9.

AFC25 LALINSKÝ, Tibor - VANKO, Gabriel - DZUBA, Jaroslav - KUTIŠ, Vladimír - GÁLIK, Gabriel - PAULECH, Juraj - DRŽÍK, Milan - CHROMÍK, Štefan - LOBOTKA, Peter. Thermo-mechanical analysis of uncooled La0.67Sr0.33MnO3 microbolometer made on circular SOI membrane. In Procedia Engineering. Vol. 168 Euroensors 2016 : 30th anniversary euroensors conference. Hungary, Budapest. September 4-7, 2016, (2016), s. 733-736. ISSN 1877-7058 (2016: 0.286 - SJR). V databáze: WOS: 000391641300176 ; SCOPUS: 2-s2.0-85010004823.

AFC26 PAULECH, Juraj - JAKUBEC, Jakub - GÁLIK, Gabriel - KUTIŠ, Vladimír - SEDLÁR, Tibor. Major outage in VVER-440 - CFD analysis. In Proceedings of 24th SVSFEM ANSYS Users´ Group Meeting and Conference 2016 [elektronický zdroj] : Dolní Morava, ČR, 1. - 3. 6. 2016. 1. vyd. Brno : SVS FEM, 2016, online, S. 40-45. ISBN 978-80-905525-3-1.

AFC27 PAULECH, Juraj - KUTIŠ, Vladimír - HRABOVSKÝ, Juraj - MURÍN, Justín - GOGOLA, Roman - SEDLÁR, Tibor - GÁLIK, Gabriel. Two-way coupled electro-thermal analysis of FGM system calculated by the new link finite element. In ECCOMAS congress 2016. Volume I - IV : proceedings of the VII European congress on computational methods in applied sciences and engineering. Crete, Greece, 5 - 10 June 2016. 1st. ed. Athens : Institute of Structural Analysis and Antiseismic Research, 2016, S. 4888-4899. ISBN 978-618-82844-0-1. V databáze: SCOPUS: 2-s2.0-84995489878.

AFC28 PAULECH, Juraj - KUTIŠ, Vladimír - GÁLIK, Gabriel - LALINSKÝ, Tibor - VANKO, Gabriel - DZUBA, Jaroslav. Thermal FEM analysis of microbolometer MEMS structure. In Applied mechanics 2017 : 19th conference. Brno, Czech Republic. April 25-27, 2017. Brno : Institute of Physics of Materials ASCR, 2017, S. 97-100. ISBN 978-80-87434-08-6.

AFC29 PAULECH, Juraj - KUTIŠ, Vladimír - MURÍN, Justín - GOGA, Vladimír - GÁLIK, Gabriel - SEDLÁR, Tibor. The electro-thermal link finite element for multiphysical analysis with 3D spatial functionally graded material properties. In Applied mechanics 2018 : 20th International conference. Myslovice, Czech Republic. April 9-11, 2018. Plzeň : Západočeská univerzita v Plzni, 2018, S. 93-98. ISBN 978-80-261-0766-8.

AFC30 PAULECH, Juraj - GÁLIK, Gabriel - MURÍN, Justín - KUTIŠ, Vladimír - HRABOVSKÝ, Juraj. The electro-thermal link finite element with 3D spatial functionally graded material properties and thermoelectric effects. In 13th World congress on computational mechanics : 2nd Pan American congress on computational mechanics. New York, USA. July 22-27, 2018. New York : IACM, 2018, [11] s. ISBN 978-0-578-40837-8.

AFC31 PAULECH, Juraj - KUTIŠ, Vladimír - GÁLIK, Gabriel - MURÍN, Justín - GOGA, Vladimír - MINÁR, Martin. Mechanical analysis of clamp for overhead powerline conductors. In Applied mechanics 2019 : 21st International conference. Ostravice, Czech Republic.

April 17-19, 2019. Ostrava : VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2019, S. 157-162. ISBN 978-80-248-4287-5.

AF32 PAULECH, Juraj - MURÍN, Justín - KUTIŠ, Vladimír - GÁLIK, Gabriel - SEDLÁR, Tibor. Analysis of functionally graded material actuator using new finite elements. In Coupled problems 2019 : VIII International conference on computational methods for coupled problems in science and engineering. Sitges, Spain. June 3-5, 2019. Barcelona : CIMNE, 2019, S. 413-421. ISBN 978-84-949194-5-9.

AFD Publikované príspevky na domácich vedeckých konferenciách

AFD01 BUGÁR, Martin - GOGA, Vladimír - SEDLÁR, Tibor - KUTIŠ, Vladimír - PAULECH, Juraj - GÁLIK, Gabriel. Battery modelling considering the effects of the temperature and capacity fading. In Power engineering 2018. Renewable Energy Sources 2018 : 7th International Scientific Conference. Tatranské Matliare, Slovakia. June 5-7, 2018. 1. vyd. Bratislava : Slovak University of Technology, 2018, S. 50-55. ISBN 978-80-89983-02-5. V databáze: WOS: 000449664200012.

AFD02 CIGÁNEK, Ján - NOGE, Filip - GÁLIK, Gabriel - GOGOLA, Roman. Fuzzy Tracking Controller for Shape Optimized Robotic System. In RAAD 2014 [elektronický zdroj] : 23rd International Conference on Robotics in Alpe-Adria-Danube Region. Conference Proceedings. September 3-5, 2014, Smolenice Castle, Slovakia. 1. vyd. Bratislava : Publishing House of Slovak University of Technology, 2014, CD-ROM, [8] p. ISBN 978-80-227-4219-1. V databáze: SCOPUS: 2-s2.0-84921825936 ; WOS: 000360803800016.

AFD03 GÁLIK, Gabriel - KUTIŠ, Vladimír. Pressure thermal shock in a nuclear reactor pressure vessel - survey. In Power Engineering 2014. Energy - Ecology - Economy 2014 : Proceedings of the 12th International Scientific Conference EEE 2014; Tatranské Matliare, Slovakia; May 20-22, 2014. 1. vyd. Bratislava : Slovak University of Technology in Bratislava, 2014, s. 75-79. ISBN 978-80-89402-69-4.

AFD04 GÁLIK, Gabriel - KUTIŠ, Vladimír - PAULECH, Juraj - MURÍN, Justín - HRABOVSKÝ, Juraj. Effect of electronics and surrounding on saw sensor performance. In Kybernetika a informatika 2014 [elektronický zdroj] : Medzinárodná konferencia SSKI. Oščadnica, Slovenská republika, 5.-8. 2. 2014. 1.vyd. Bratislava : STU v Bratislave FEI, 2014, CD-ROM [5] p. ISBN 978-80-227-4122-4.

AFD05 GÁLIK, Gabriel - KUTIŠ, Vladimír. Modelovanie a simulácia SAW mikrosnímača. In ŠVOČ 2013 (elektronický zdroj) : Zborník vybraných prác. 1. vyd. Bratislava : FEI STU, 2013, s.CD ROM, s. 43-47. ISBN 978-80-227-3909-2.

AFD06 GÁLIK, Gabriel - KUTIŠ, Vladimír. Modeling of a capacitive micro accelerometer with Fe method. In 22nd SVSFEM ANSYS Users' Group Meeting and Conference 2014 [elektronický zdroj] : proceedings, Jasná, SR, 25. - 27. 6. 2014. Brno : SVS FEM, 2014, CD ROM, s. 28-37. ISBN 978-80-905525-1-7.

AFD07 GÁLIK, Gabriel - KUTIŠ, Vladimír. Pressure thermal shock - survey. In ELITECH´14 [elektronický zdroj] : 16th Conference of Doctoral Students; Bratislava, Slovakia, 4 June 2014. 1.vyd. Bratislava : Nakladateľstvo STU, 2014, CD-ROM, [5] p. ISBN 978-80-227-4171-2.

AFD08 GÁLIK, Gabriel - KUTIŠ, Vladimír - MURÍN, Justín - LALINSKÝ, Tibor. 3D FEM model of piezoelectric SAW sensor. In APCOM 2014. Applied Physics of Condensed Matter : Proceedings of the 20th International Conference; Štrbské Pleso, Slovakia; 25-27 June 2014. 1. vyd. Bratislava : Nakladateľstvo STU, 2014, s. 316-319. ISBN 978-80-227-4179-8.

AFD09 GÁLIK, Gabriel - KUTIŠ, Vladimír. Modeling of a capacitive micro accelerometer with finite element method. In ELITECH´15 [elektronický zdroj] : 17th Conference of doctoral students. Bratislava, Slovak Republic, May 25, 2015. 1. vyd. Bratislava : Nakladateľstvo STU, 2015, CD-ROM, [7] s. ISBN 978-80-227-4358-7.

AFD10 GÁLIK, Gabriel - KUTIŠ, Vladimír - JAKUBEC, Jakub - PAULECH, Juraj - MURÍN, Justín. Pressure thermal shock analysis for nuclear reactor pressure vessel. In APCOM 2015 : Proceedings of 21st international conference on applied physics of condensed matter. Štrbské Pleso, Slovak Republic. June 24-26, 2015. 1. vyd. Bratislava : Vydavateľstvo STU, 2015, S. 144-148. ISBN 978-80-227-4373-0.

AFD11 GÁLIK, Gabriel - KUTIŠ, Vladimír - JAKUBEC, Jakub - PAULECH, Juraj - SEDLÁR, Tibor. Thermo-hydraulic conditions in VVER-440 spent fuel storage pool. In Power engineering 2016. Energy-Ecology-Economy 2016 : 13th International scientific conference. Tatranske Matliare, Slovakia. May 31 - June 2, 2016. 1. vyd. Bratislava : Slovak University of Technology, 2016, S. 113-117. ISBN 978-80-89402-86-1

AFD12 GÁLIK, Gabriel - KUTIŠ, Vladimír - JAKUBEC, Jakub - PAULECH, Juraj - SEDLÁR, Tibor. Thermo-hydraulics of spent fuel storage pool of nuclear reactor VVER 440. In APCOM 2016 : Proceedings of 22nd international conference on applied physics of condensed matter. Štrbské Pleso, Slovak Republic, June 22-24, 2016. 1. vyd. Bratislava : Slovenská technická univerzita v Bratislave, 2016, S. 142-145. ISBN 978-80-227-4572-7.

AFD13 GÁLIK, Gabriel - KUTIŠ, Vladimír - JAKUBEC, Jakub - PAULECH, Juraj. Transient coolant mixing simulation during a small-LOCA event in VVER 440 reactor. In APCOM 2017 : Proceedings of 23rd international conference on applied physics of condensed matter. Štrbské Pleso, Slovak Republic, June 12-14, 2017. 1. vyd. Bratislava : Vydavateľstvo Spektrum STU, 2017, S. 162-166. ISBN 978-80-227-4699-1.

AFD14 GÁLIK, Gabriel - KUTIŠ, Vladimír - PAULECH, Juraj - GOGA, Vladimír - MURÍN, Justín. Thermo-mechanical analysis of VVER 440/213 RPV under LOCA conditions. In Power engineering 2018. Energy-Ecology-Economy 2018 : 14th International scientific conference. Tatranske Matliare, Slovakia. June 5-7, 2018. 1. vyd. Bratislava : Slovak University of Technology, 2018, S. 51-53. ISBN 978-80-89402-98-4. V databáze: WOS: 000485101200009.

AFD15 GÁLIK, Gabriel - KUTIŠ, Vladimír - PAULECH, Juraj - GOGA, Vladimír - MURÍN, Justín - BUGÁR, Martin. Thermo-hydraulic analysis of dry cask nuclear fuel storage. In Power engineering 2018. Energy-Ecology-Economy 2018 : 14th International scientific

conference. Tatranske Matliare, Slovakia. June 5-7, 2018. 1. vyd. Bratislava : Slovak University of Technology, 2018, S. 47-50. ISBN 978-80-89402-98-4. V databáze: WOS: 000485101200010.

AFD16 GÁLIK, Gabriel - KUTIŠ, Vladimír - PAULECH, Juraj. Thermal transient analysis of bolometer. In APCOM 2018 : 24th International conference on applied physics of condensed matter. Štrbské Pleso, Slovak Republic. June 20-22, 2018. 1. ed. St. Louis : AIP Publishing, 2018, Art. no. 020011 [5] s. ISSN 0094-243X. ISBN 978-0-7354-1712-0. V databáze: WOS: 000443464900011 ; SCOPUS: 2-s2.0-85051845602.

AFD17 GÁLIK, Gabriel - KUTIŠ, Vladimír - PAULECH, Juraj - MURÍN, Justín. CFD modeling of transient fluid-flow during LOCA eventin a VVER440/213 reactor. In APCOM 2019 : 25th International conference on applied physics of condensed matter. Štrbské Pleso, Slovak Republic. June 19-21, 2019. 1. ed. Melville : AIP Publishing, 2019, Art. no. 020013 [4] s. ISBN 978-0-7354-1873-8. V databáze: WOS: 000535987500013.

AFD18 GOGOLA, Roman - MURÍN, Justín - HRABOVSKÝ, Juraj - GÁLIK, Gabriel. Computational modeling of free vibration of power lines. In ELITECH'14 [elektronický zdroj] : 16th Conference of Doctoral Students; Bratislava, Slovakia, 4 June 2014. 1.vyd. Bratislava : Nakladateľstvo STU, 2014, CD-ROM, [5] p. ISBN 978-80-227-4171-2.

AFD19 HRABOVSKÝ, Juraj - GOGOLA, Roman - MURÍN, Justín - GÁLIK, Gabriel. Modal analysis of overhead power lines at different ambient temperatures. In APCOM 2016 : Proceedings of 22nd international conference on applied physics of condensed matter. Štrbské Pleso, Slovak Republic, June 22-24, 2016. 1. vyd. Bratislava : Slovenská technická univerzita v Bratislave, 2016, S. 347-351. ISBN 978-80-227-4572-7.

AFD20 JAKUBEC, Jakub - KUTIŠ, Vladimír - PAULECH, Juraj - GÁLIK, Gabriel. CFD modelling of bypass in fuel assembly of nuclear reactor VVER 440. In APCOM 2015 : Proceedings of 21st international conference on applied physics of condensed matter. Štrbské Pleso, Slovak Republic. June 24-26, 2015. 1. vyd. Bratislava : Vydavateľstvo STU, 2015, S. 243-247. ISBN 978-80-227-4373-0.

AFD21 JAKUBEC, Jakub - PAULECH, Juraj - GÁLIK, Gabriel - KUTIŠ, Vladimír - SEDLÁR, Tibor. Parametric study of bypass influence on thermo-hydraulics of nuclear power reactor VVER440 fuel assembly. In Power engineering 2016. Energy-Ecology-Economy 2016 : 13th International scientific conference. Tatranske Matliare, Slovakia. May 31 - June 2, 2016. 1. vyd. Bratislava : Slovak University of Technology, 2016, S. 83-87. ISBN 978-80-89402-86-1.

AFD22 JAKUBEC, Jakub - KUTIŠ, Vladimír - GÁLIK, Gabriel - PAULECH, Juraj. Parametric study of bypass influence on mixing processes of VVER440 fuel assembly. In APCOM 2016 : Proceedings of 22nd international conference on applied physics of condensed matter. Štrbské Pleso, Slovak Republic, June 22-24, 2016. 1. vyd. Bratislava : Slovenská technická univerzita v Bratislave, 2016, S. 41-44. ISBN 978-80-227-4572-7.

AFD23 JAKUBEC, Jakub - KUTIŠ, Vladimír - GÁLIK, Gabriel - PAULECH, Juraj. Fuel assembly bypass calculations of VVER440 in CFD model. In APCOM 2017 : Proceedings of 23rd international conference on applied physics of condensed matter. Štrbské Pleso, Slovak

Republic, June 12-14, 2017. 1. vyd. Bratislava : Vydavateľstvo Spektrum STU, 2017, S. 167-172. ISBN 978-80-227-4699-1.

AFD24 KUTIŠ, Vladimír - GÁLIK, Gabriel - RÝGER, Ivan - PAULECH, Juraj - MURÍN, Justín - HRABOVSKÝ, Juraj - LALINSKÝ, Tibor. Modal and Transient Analysis of SAW MEMS Sensor. In APCOM 2013. Applied Physics of Condensed Matter : Proceedings of the 19th International Conference. Štrbské Pleso, Slovak Republic, June 19-21, 2013. 1. vyd. Bratislava : STU v Bratislave, 2013, s.221-225. ISBN 978-80-227-3956-6.

AFD25 KUTIŠ, Vladimír - JAKUBEC, Jakub - GÁLIK, Gabriel - PAULECH, Juraj - MURÍN, Justín - HRABOVSKÝ, Juraj. Thermal homogenization of coolant in downcomer of nuclear reactor VVER 440. In APCOM 2015 : Proceedings of 21st international conference on applied physics of condensed matter. Štrbské Pleso, Slovak Republic. June 24-26, 2015. 1. vyd. Bratislava : Vydavateľstvo STU, 2015, S. 149-153. ISBN 978-80-227-4373-0.

AFD26 KUTIŠ, Vladimír - JAKUBEC, Jakub - PAULECH, Juraj - GÁLIK, Gabriel - MURÍN, Justín - GOGOLA, Roman - HRABOVSKÝ, Juraj. CFD analysis of nominal project conditions in downcomer of VVER 440. In Power engineering 2016. Energy-Ecology-Economy 2016 : 13th International scientific conference. Tatranske Matliare, Slovakia. May 31 - June 2, 2016. 1. vyd. Bratislava : Slovak University of Technology, 2016, s. 94-97. ISBN 978-80-89402-86-1.

AFD27 KUTIŠ, Vladimír - JAKUBEC, Jakub - PAULECH, Juraj - GÁLIK, Gabriel - SEDLÁR, Tibor. The influence of orifice diameter on coolant mass flow through fuel assembly of nuclear reactor VVER 440. In APCOM 2016 : Proceedings of 22nd international conference on applied physics of condensed matter. Štrbské Pleso, Slovak Republic, June 22-24, 2016. 1. vyd. Bratislava : Slovenská technická univerzita v Bratislave, 2016, S. 89-93. ISBN 978-80-227-4572-7.

AFD28 KUTIŠ, Vladimír - PAULECH, Juraj - GÁLIK, Gabriel - LALINSKÝ, Tibor - VANKO, Gabriel - HRABOVSKÝ, Juraj - JAKUBEC, Jakub. Thermal analysis of microbolometer. In APCOM 2017 : Proceedings of 23rd international conference on applied physics of condensed matter. Štrbské Pleso, Slovak Republic, June 12-14, 2017. 1. vyd. Bratislava : Vydavateľstvo Spektrum STU, 2017, S. 267-271. ISBN 978-80-227-4699-1.

AFD29 KUTIŠ, Vladimír - PAULECH, Juraj - GÁLIK, Gabriel - GOGA, Vladimír - MURÍN, Justín - BUGÁR, Martin. CFD model of upperplenum of nuclear reactor VVER 440. In Power engineering 2018. Energy-Ecology-Economy 2018 : 14th International scientific conference. Tatranske Matliare, Slovakia. June 5-7, 2018. 1. vyd. Bratislava : Slovak University of Technology, 2018, S. 54-56. ISBN 978-80-89402-98-4. V databáze: WOS: 000485101200011.

AFD30 KUTIŠ, Vladimír - PAULECH, Juraj - GÁLIK, Gabriel - GOGA, Vladimír - MURÍN, Justín - BUGÁR, Martin. CFD analysis of fuel assembly nozzles of nuclear reactor VVER 440. In Power engineering 2018. Energy-Ecology-Economy 2018 : 14th International scientific conference. Tatranske Matliare, Slovakia. June 5-7, 2018. 1. vyd. Bratislava : Slovak University of Technology, 2018, S. 57-60. ISBN 978-80-89402-98-4. V databáze: WOS: 000485101200012.

AFD31 KUTIŠ, Vladimír - PAULECH, Juraj - MURÍN, Justín - GÁLIK, Gabriel. Analysis of piezoelectric beams for smart structures. In APCOM 2018 : 24th International conference on applied physics of condensed matter. Štrbské Pleso, Slovak Republic. June 20-22, 2018. 1. ed. St. Louis : AIP Publishing, 2018, Art. no. 020027 [6] s. ISSN 0094-243X. ISBN 978-0-7354-1712-0. V databáze: WOS: 000443464900027 ; SCOPUS: 2-s2.0-85051854528.

AFD32 KUTIŠ, Vladimír - PAULECH, Juraj - MURÍN, Justín - GÁLIK, Gabriel. Piezoelectric finite beam with LQR control. In APCOM 2019 : 25th International conference on applied physics of condensed matter. Štrbské Pleso, Slovak Republic. June 19-21, 2019. 1. ed. Melville : AIP Publishing, 2019, Art. no. 020026 [4] s. ISBN 978-0-7354-1873-8. V databáze: SCOPUS: 2-s2.0-85070547582 ; WOS: 000535987500026.

AFD33 MURÍN, Justín - HRABOVSKÝ, Juraj - GOGOLA, Roman - GÁLIK, Gabriel. Modal analysis of the power lines by finite element methods. In EE časopis pre elektrotechniku, elektroenergetiku, informačné a komunikačné technológie [elektronický zdroj] : Zborník ku konferencii s medzinárodnou účasťou Elektrotechnika, Informatika a Telekomunikácie ELOSYS 2014. Roč. 20, mimoriadne číslo (2014), CD-ROM, s. 202-206. ISSN 1335-2547.

AFD34 PAULECH, Juraj - GÁLIK, Gabriel - JAKUBEC, Jakub - KUTIŠ, Vladimír - MURÍN, Justín - GOGOLA, Roman - HRABOVSKÝ, Juraj - SEDLÁR, Tibor. Thermo-hydraulic conditions IN VVER-440 during major outage. In Power engineering 2016. Energy-Ecology-Economy 2016 : 13th International scientific conference. Tatranske Matliare, Slovakia. May 31 - June 2, 2016. 1. vyd. Bratislava : Slovak University of Technology, 2016, s. 118-120. ISBN 978-80-89402-86-1.

AFD35 PAULECH, Juraj - JAKUBEC, Jakub - GÁLIK, Gabriel - KUTIŠ, Vladimír - MURÍN, Justín - GOGOLA, Roman - HRABOVSKÝ, Juraj - SEDLÁR, Tibor. Thermo-hydraulic behaviour of coolant in nuclear reactor VVER-440 during outage. In APCOM 2016 : Proceedings of 22nd international conference on applied physics of condensed matter. Štrbské Pleso, Slovak Republic, June 22-24, 2016. 1. vyd. Bratislava : Slovenská technická univerzita v Bratislave, 2016, S. 70-74. ISBN 978-80-227-4572-7.

AFD36 PAULECH, Juraj - KUTIŠ, Vladimír - GÁLIK, Gabriel - MURÍN, Justín - BUGÁR, Martin - GOGA, Vladimír - SEDLÁR, Tibor. Behaviour of coolant in VVER-440 under refuelling conditions. In Power engineering 2018. Energy-Ecology-Economy 2018 : 14th International scientific conference. Tatranske Matliare, Slovakia. June 5-7, 2018. 1. vyd. Bratislava : Slovak University of Technology, 2018, S. 44-46. ISBN 978-80-89402-98-4. V databáze: WOS: 000485101200008.

AFD37 PAULECH, Juraj - GÁLIK, Gabriel - KUTIŠ, Vladimír - MURÍN, Justín - BUGÁR, Martin - GOGA, Vladimír. Mechanical simulation of transmission lattice construction. In Power engineering 2018. Energy-Ecology-Economy 2018 : 14th International scientific conference. Tatranske Matliare, Slovakia. June 5-7, 2018. 1. vyd. Bratislava : Slovak University of Technology, 2018, S. 150-153. ISBN 978-80-89402-98-4. V databáze: WOS: 000485101200032.

AFD38 PAULECH, Juraj - MURÍN, Justín - KUTIŠ, Vladimír - GÁLIK, Gabriel - GOGA, Vladimír - SEDLÁR, Tibor. The electro-thermal link finite element with 3D spatial functionally graded material properties. In APCOM 2018 : 24th International conference on applied physics of condensed matter. Štrbské Pleso, Slovak Republic. June 20-22, 2018. 1. ed. St. Louis : AIP Publishing, 2018, Art. no. 020036 [6] s. ISSN 0094-243X. ISBN 978-0-7354-1712-0. V databáze: WOS: 000443464900036 ; SCOPUS: 2-s2.0-85051858761.

AFD39 PAULECH, Juraj - MURÍN, Justín - KUTIŠ, Vladimír - GÁLIK, Gabriel. Analysis of FGM actuator structure using new multiphysical finite elements. In APCOM 2019 : 25th International conference on applied physics of condensed matter. Štrbské Pleso, Slovak Republic. June 19-21, 2019. 1. ed. Melville : AIP Publishing, 2019, Art. no. 020034 [4] s. ISBN 978-0-7354-1873-8. V databáze: WOS: 000535987500034.

OSTATNÉ

Vedenie záverečných prác:

- Hagara Miroslav (2019) „Modelovanie snímača hmotnostného prietoku vzduchu pomocou MKO“
- Kozubjaková Nikola (2019) „Analýza charakteristiky krídla elektrickej formuly“
- Kysela Enriko (2020) „Analýza charakteristiky predného prítlačného krídla“
- Bc. Mašír Matúš (2018) „Termo-mechanická analýza tlakovej nádoby reaktora VVER-440/213“
- Ragan Jakub (2017) „Ovládací panel pre polohovací mechanizmus“
- Szekeres Róbert (2020) „Analýza vplyvu vybratých aerodynamických prvkov na profil prúdenia vzduchu v okolí vozidla“
- Škvara Ján (2019) „Modelovanie nezávislého zavesenia kola prednej nápravy pomocou MKP“
- Ťurge Andrej (2020) „Návrh samonosnej karosérie pre vozidlo Formula Student“

ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

- [1] I. R. Václav Urbánek, Jaderná elektrárna s reaktory VVER-440 Typ 213 včetně technologických systému, Praha 5-Zbraslav: Ústřední informační středisko pro jaderný program, 1987.
- [2] G.F. Hewitt, C.L. Tien, Introduction to Nuclear Power, Taylor & Francis, 2000.
- [3] T. J. Katona, “Long-Term Operation of VVER Power Plants,” INTECH, Hungary.
- [4] B. K.B., Cracks and Fracture, Cambridge: ACADEMIC PRESS, 1999.
- [5] International Atomic Energy Agency, „Guidelines on Pressurized Thermal Shock Analysis for WWER Nuclear Power Plants,” 2006.
- [6] International Atomic Energy Agency, “Pressurized Thermal Shock in Nuclear Power Plants: Good Practices for Assessment,” Vienna, 2010.
- [7] F. M. White, Fluid Mechanics: 4th edition, McGraw-Hill Higher Education, 1998.
- [8] “ANSYS Mechanical APDL Technology Demonstration Guide,” ANSYS, Inc., 2011.
- [9] ANSYS, “Theory manual,” 2014.
- [10] International Atomic Energy Agency, “Guidelines for prediction of irradiation embrittlement of operating WWER-440 reactor pressure vessels,” IAEA-TECDOC-1442, 2005.
- [11] International Atomic Energy Agency, “Integrity of Reactor Pressure Vessels in Nuclear Power Plants: Assessment of Irradiation Embrittlement Effects in Reactor Pressure Vessel Steels,” IAEA Nuclear Energy Series No. NP-T-3.11, Vienna, 2009.
- [12] G. M. M. B. N. V.F.González-Albuixech, „Integrity analysis of a reactor pressure vessel subjected to a realistic pressurized thermal shock considering the cooling plume and constraint effects,” *Engineering Fracture Mechanics*, zv. Volume 162, pp. 201-217, August 2016.

- [13] L. Debarberis, A. Kryukov, D. Erak, Yu. Kevorkyan, D. Zhurko, "Advanced method for WWER RPV embrittlement assessment," *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, no. 81, pp. 695-701, 2004.
- [14] V. Kutiš, Modelovanie multifyzikálnych procesov a dejov, Bratislava, 2014.