

**Oponentní posudek disertační práce**  
**disertantky Ing. Kateřiny Demjančukové, vypracované na téma:**  
**“Vliv seismické události na redefinici havárie se ztrátou chladiva“**

Disertační práce Ing. Kateřiny Demjančukové má 12 kapitol a dvě přílohy. Přehled literatury, na kterou se disertantka odvolává a vlastní publikace, jsou vloženy za přílohy.

Přehled použitých zkratk, označení hlavních veličin bez jejich jednotek, seznam obrázků a tabulek je zařazen před úvodní kapitolu 1. Úvodní kapitola 1 podává obecný přehled o řešené problematice v disertační zprávě. Cíle disertační práce jsou uvedeny v čl. 1.1. Disertantka Ing. Kateřina Demjančuková se v čl. 1.3 své disertační práci věnuje problematice havárie se ztrátou chladiva typu velká LOCA (LB LOCA). Americké US NRC uvažovalo navrhnout změnu předpisu vzhledem k velmi nízké pravděpodobnosti jejího výskytu. Událost na elektrárně Fukušima však tuto snahu zatím pozastavilo. Disertantka ve své práci analyzuje možnost aplikace postupů tohoto předpisu z pohledu vlivu seismické události na redefinici havárie se ztrátou chladiva v aplikaci na reaktory typu VVER 1000/320.

V kapitole 2 je podán přehled interních a externích vlivů, které mohou ovlivnit bezpečnost provozu jaderných elektráren. Problematice zemětřesení je věnována 3. kapitola. V další kapitole 4 jsou popsány hlavní komponenty primárního okruhu jaderné elektrárny Temelín. Přehled zatížení potrubí primárního okruhu jaderné elektrárny Temelín včetně jeho seismického buzení je specifikován v 5. kapitole.

Problematika havárie se ztrátou chladiva LOCA je popsána v kapitole 6, na kterou navazuje kapitola 7 pojednávající o redefinici havárie se ztrátou chladiva.

Vstupní data pro stanovení seismického ohrožení lokality JE Temelín jsou popsány v kapitole 8. Vstupní data jsou využita metodami pro stanovení seismického ohrožení lokality pro jaderná zařízení, popsány v kapitole 9.

Výsledky z provedených analýz, které dokumentují dosažení cílů disertační práce Ing. Kateřiny Demjančukové, obsahuje kapitola 10. Diskuse výsledků a návrh opatření lze nalézt v kapitole 11. Přínos disertační práce je podán v kapitole 12.

**Cíle doktorské disertační práce**

Cíle disertační práce Ing. Kateřiny Demjančukové spadají do oblasti seismického inženýrství. Jedná se o:

- 1) Vybrat metody vhodné pro stanovení seismického ohrožení vybrané lokality;
- 2) Stanovit křivky seismického ohrožení pro lokalitu jaderné elektrárny Temelín;
- 3) Stanovit doby návratu a roční pravděpodobnost překročení jednotlivých intenzit zemětřesení pro lokalitu jaderné elektrárny Temelín;

- 4) Porovnat hodnoty intenzit zemětřesení aplikované v jaderné elektrárně Temelín a kriticky posoudit stav před havárií v jaderné elektrárně Fukušima a po následných stress-testech.

**a) Zhodnocení významu pro obor**

Téma předložené disertační práce vypracované Ing. Kateřinou Demjančukovou je velice aktuální, věnuje se závažnému problému v oblasti bezpečnosti provozu jaderných elektráren, a to vlivu seismické události na redefinici havárie se ztrátou chladiva. Disertantka ve své práci analyzuje možnost aplikace amerického US NRC přístupu na snižování přísných požadavků na SAOZ (pozastaveného pro uplatnění) z pohledu vlivu seismické události na redefinici havárie se ztrátou chladiva.

**b) Vyjádření k postupu řešení problému, k použitým metodám, ke splnění stanoveného cíle**

Rozborem současného stavu se doktorandka ve své disertační práci podrobně zabývá ve 2. a 3. kapitole. Výsledky rozboru plně využila ve své disertační práci ve shodě s jejími cíli.

Přístup disertantky k řešené problematice je správný. Jejím záměrem bylo teoreticky a numericky doložit možnost redefinice havárie se ztrátou chladiva při uvažování vlivu seismické události.

Všechny čtyři cíle disertační práce byly Ing. Kateřinou Demjančukovou splněny.

**c) Stanovisko k výsledkům disertační práce a původního konkrétního přínosu předkladatele disertační práce**

Disertantka Ing. Kateřina Demjančuková ve své práci doložila, že přes vznik nepříznivých události, jakými byla např. událost na elektrárně Fukušima, lze na základě využití pravděpodobnostního přístupu zdůvodnit možnost redefinice havárie se ztrátou chladiva také v případě vlivu seismické události. Prokázala, že je schopna ve své odborné práci využívat poznatků z literárních pramenů a má přehled o světových předpisech vztahujících se ke zkoumané problematice.

Výsledky zkoumání disertační práce Ing. Kateřiny Demjančukové jsou přínosné a lze je aplikovat na jadernou elektrárnu Temelín.

Disertantka Ing. Kateřina Demjančuková ve své disertační práci prokázala, že je schopna rozvíjet teoretické základy oboru, ve kterém pracuje a využívat odborných poznatku z další teoretických oborů. Výsledky disertační práce jsou její původní.

**d) Formální úprava disertační práce a její jazyková úroveň**

Formální a jazyková úroveň disertační práce je na dobré úrovni jak z hlediska grafického, tak stavby struktury odborného textu. Nenašel jsem žádné nesrozumitelnosti při vysvětlování problematiky, ani používání slangových výrazů. Je třeba ocenit, že doktorandka uvádí také prameny, ze kterých čerpała. K textu disertační práce nemám zásadních připomínek.

**e) Vyjádření k publikacím disertantky**

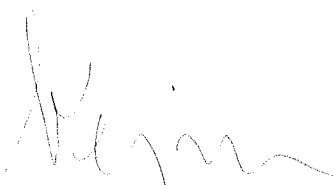
Rozsah publikací disertantky Ing. Kateřiny Demjančukové hodnotím velice pozitivně.

**f) Otázky na disertantku**

- 1) V kapitole 7 v souvislosti s pravděpodobnostním přístupem používáte pojem „riziko“. Můžete vysvětlit, co pod tímto pojmem chápete a jaký je vztah mezi pravděpodobnosti poškození či roztržení (např. potrubí) a rizikem?
- 2) V kapitole 9 je v souvislosti s pravděpodobnostním přístupem použit jak pojem „váhový součinitel“, tak také „součinitel bezpečnosti“. Součinitel bezpečnosti se spíše používá v deterministických přístupech posuzování tlakových nádob. Jaký je Váš názor na to, že by při použití pravděpodobnostního přístupu bylo vhodnější vyjádřit úroveň bezpečnosti zařízení „pravděpodobností poruchy“ než „součinitelem bezpečnosti“? Nakoľik je konzervativní získat výsledný součinitel vzájemným vynásobením dílčích součinitelů?
- 3) Jaký počet náhodných veličin v pravděpodobnostním přístupu používáte a zda také respektují úroveň poškození materiálu provozními podmínkami? Používáte citlivostní analýzu?

Předloženou disertační práci „Vliv seismické události na redefinici havárie se ztrátou chladiva“ Ing. Kateřiny Demjančukové doporučuji k obhajobě dle zákona č. 111/1998 Sb. §47. V případě úspěšné obhajoby doporučuji, aby Ing. Kateřině Demjančukové byl udělen titul Ph.D.

V Brně dne 27. května 2016



---

Prof. Ing. Stanislav Vejvoda, CSc.  
Díly 241, Rebešovice, 664 61 Rajhrad

# **OPONENTNÍ POSUDEK DIZERTAČNÍ PRÁCE: „Vliv seismické události na redefinici havárie se ztrátou chladiva“**

**Autor:** Ing. Kateřina Demjančuková, **Západočeská universita v Plzni,**  
**Katedra energetických strojů a zařízení**

**Oponent:** Ing. Karel Dach, CSc., **Na Dlážděnce 2096/17b, 182 00 Praha 8**

Dizertační práce Ing. Kateřiny Demjančukové se zabývá velmi aktuálním problémem, kterým je posouzení vlivu seismické události na redefinici havárie typu LB LOCA na JE Temelín. Dizertační práce je interdisciplinárním průnikem dvou vědeckých disciplín, seismického inženýrství a bezpečnosti jaderných elektráren. Rozvoj obou oborů má v České republice dlouholetou tradici, mezinárodní renomé i významný podíl na společenské důvěře v další orientaci země na jadernou energetiku. Hlavní význam této dizertační práce pro obor vidím v tom, že autorka jako prvá aplikuje metodiku US NRC v kombinaci s metodou SBRA (Simulation-Based Reliability Assessment) na řešení problematiky výskytu velké LOCA havárie na JE Temelín.

Autorka dizertační práce se zabývá problematikou vyšetřování seismické odolnosti JE reaktory VVER rod roku 2009, kdy úspěšně obhájila na ZČU diplomovou práci na toto téma. Její další práce jsou v následujících letech publikovány ve 247 vědeckotechnických konferencích, seminářích a časopisech. Dizertační práce je logickým vyvrcholením vědecké a publikační aktivity dizertantky. Cíle dizertace jsou velmi konkrétní, jak pro oblast seismického inženýrství tak pro oblast bezpečnosti jaderných elektráren. Ke splnění cílů postupuje autorka chronologicky od definice problému a volby koncepce řešení přes sběr dat, a jejich užití ve výpočtech k analýze výsledků návrhu jejich využití v praxi.

Dizertantka precizně popisuje současný stav řešené problematiky v kapitole 1.3. Kapitola 2 je úplným souhrnem externích událostí, které mohou ovlivnit bezpečnost JE ať již vlivem lidské činnosti, nebo přírodních vlivů, přičemž je uvažována i kumulace externích událostí. Stále aktuální je i rozbor havárie na JE Fukušima. Kapitola 3 je orientována na oblast zemětřesení s akcentem na možný výskyt v lokalitě Temelín. Seismicita je s JE Temelín nerozlučně spjata již od projektových příprav. Kdyby nebyly při volbě lokality odpovědně posuzovány otázky seismického ohrožení, byla by JE postavena v nepřilíživě vzdálené lokalitě Malenice. Popis primárního okruhu JE Temelín je pečlivě proveden, obrázky jsou velmi ilustrativní a dokonale využívají moderní počítačovou grafiku. Kapitola by mohla sloužit jako učebnice, nebo skripta, postrádám však v této kapitole alespoň stručný popis aktivní zóny JE VVER 100/320 a základy dynamiky jejího chování např. v režimu havarijního dochlazování. Pokud by se autorka v další pedagogické praxi věnovala této oblasti i nadále, pokládal bych doplnění učebních textů v tomto směru za žádoucí. Splnění cílů této dizertační práce však tato připomínka nebrání a výsledky výpočtů a následné analýzy nijak neovlivňuje.

Obsáhlá kapitola věnovaná zatížení primárního okruhu JE Temelín je zpracována metodicky. Seznam norem a předpisů je úplný. Seismické buzení v horizontálním i vertikálním směru je matematicky přesně popsáno hustotami spekter odezvy. Matematický aparát pro stanovení podlažních spekter odezvy pro potrubní systémy je úplný, přehledný a bezchybný. Diskuse dopadů na potrubní systémy je vyčerpávající a nemám k ní žádné doplňující poznámky. Rozbor havárie se ztrátou chladiva je středem zájmu českých odborníků pracujících pro provozovatele, státní dozor, dodavatele, výzkumné instituce a VŠ již od konce 70 let minulého století a lze souhlasit s autorkou, že při LB LOCA na JE Temelín nedojde k tavení palivových proutků, přestože se autorka odvolává na referenci z pedagogické sféry /68/, nikoli na závěry vědeckotechnických studií a experimentálních prací. Zde opět postrádám

fyzikální model chování aktivní zóny při LB LOCA, což však není z hlediska vytýčených cílů dizertace na závadu.

Dizertační práce ing. Kateřiny Demjančukové transponuje postup navržený US NRC v kombinaci s metodou SBRA pro hodnocení vlivu seizmické události na četnost výskytu LB LOCA a jako první aplikuje tuto metodu na primární okruh JE Temelín. Stanovená hodnota  $6,5^{\circ}\text{MSK-64}$  konzervativně navýšená dle požadavku MAAE na  $7^{\circ}\text{MSK-64}$  je v souladu s hodnotou určenou pro seizmickou odolnost JE Temelín před jejím uvedením do provozu. Stanovená hodnota seizmického ohrožení zrychlení podloží je 0,1 g. Tento výsledek práce potvrzuje, že stanovená seizmická odolnost JE Temelín je v souladu s projektovými hodnotami a potvrzuje, že seizmická událost má zanedbatelný vliv na LB LOCA na této elektrárně. Metodika US NRC, aplikovaná dizertantkou na případ seizmické události při havárii se ztrátou chladiva na JE Temelín umožňuje relativně rychle získat relevantní výsledky i při použití dat s relativně širokou mírou neurčitosti. Navržená metodika je použitelná na českých jaderných elektrárnách již v současné době při periodických revizích. Při licencování nových bloků bude jistě požadován deterministický přístup, ale i v těchto případech může být tato metodika použita pro kontrolní rozbor.

Návrhy na uplatnění pro praxi jsou reálné a potřebné. Doplnování katalogu o naměřená seizmická data je nezbytné, doplňování o historická data jistě cenné, ale o relevantnosti nově nasazených dat z historických pramenů mám jisté pochybnosti. V každém případě implantace postupu US NRC na hodnocení vlivu seizmické události na LB LOCA v kombinaci s metodou SBRA, vedoucí ke změkčení požadavků na systémy havarijního chlazení aktivních zón jaderných elektráren je velmi užitečné pro redefinice havárie se ztrátou chladiva na českých jaderných elektrárnách a tato dizertační práce by měla být základním stavebním kamenem pro rozvoj problematiky v ČR.

Dizertační práce je sepsána přehledně, řešení problematiky je systematické. Použitý matematický aparát je úplný, symbolika přehledná a bezchybná. Jazyková úroveň i grafické zpracování práce je výborné. Práce je vhodně doplněna dvěma přílohami, které spolu s textovou částí dizertace tvoří nedílný celek a podtrhují komplexnost řešení. Literární odkazy jsou bohaté, přesto doporučuji autorce v další vědecké práci v tomto oboru citovat některé původní práce ÚJV Řež, zaměřené na analýzy LB LOCA. Ještě jednou pochvalně hodnotím dosavadní publikační činnost ing. Demjančukové, kterou hodnotím jako velmi přínosnou pro českou jadernou energetiku.

Dizertační práce splnila ve všech bodech zadání. Aplikace postupu US NRC v kombinaci s metodou SBRA na JE Temelín je originální, výsledky řešení průkazné a využitelné v budoucí praxi. Proto **doporučuji dizertační práci dle zákona č. 111/1998 Sb. § 47k obhajobě** a po úspěšné obhajobě následné udělení vědecké hodnosti Ph.D..

V Praze 26.5.2016



Ing. Karel Dach, CSc.

## Oponentní posudek disertační doktorské práce

Ing. Kateřiny Demjančukové

### „Vliv seismické události na redefinici havárie se ztrátou chladiva“

Předložená práce, vypracovaná na školícím pracovišti – Katedře energetických strojů a zařízení Fakulty strojní Západočeské univerzity v Plzni pod vedením školitele Prof. Ing. Josefa Kotta, DrSc., je předkládaná k obhajobě ve studijním oboru Stavba energetických strojů a zařízení. Práce o celkovém rozsahu 116 stran (99 stran vlastní práce, 14 stran příloh a 3 strany vlastní publikační činnosti) svým zaměřením i náplní odpovídá plně tomuto zaměření. Posouzení bylo provedeno podle čl. 50 odst. 8 Studijního a zkušebního řádu ZČU.

A) Výběr tématu a jeho zaměření považuji za vysoce závažný, protože vychází z obecných požadavků na posouzení a zajištění bezpečnosti jaderně energetických zařízení při jejich dlouhodobém provozu s možností výskytu seismické události s havarijním dopadem na sledované zařízení. Aktuálnost problematiky je dána reálnými výskytů seismických událostí ve světě. I když území našeho státu, kde v současnosti pracují dvě vysokokapacitní jaderně energetická zařízení a kam v budoucnosti jistě přibude i další, patří po stránce seismických aktivit a projevů k oblastem vcelku stabilním. To ale nevylučuje jejich výskyt. Proto předložená práce může jistě sloužit i pro budoucího projektanta a výrobce pro náš region i při uvažování dodávky jako celku či subdodávky do zahraniční oblasti seismicky aktivní.

Stávající zahraniční předpisy, stejně jako naše, uvažují velice přísné následky uvažované poruchy - LB LOCA. A zde vyvstává otázka, zda by nebylo na místě jejich určité „změkčení“ s použitím pravděpodobnostních přístupů a při zachování nároků na bezpečnost zařízení.

Předložená práce proto slučuje problematiku jaderné bezpečnosti se zaměřením na potrubní systémy primárního okruhu s problematikou seismického inženýrství. A tak je i práce dělena. V obou oblastech může předložená práce sloužit i jako přímý návod pro praktické použití v obou sledovaných oborech. Navíc (např. kap. 7.2) zcela obecně i pro všeobecné použití.

b) Předložená práce shrnuje poměrně dlouhou etapu studia zahrnující jak rešeršní část (předpisy, popis událostí, studium měřících metod apod.), tak i vlastní ověření konkrétních i modelových případů. Cíl práce byl stanoven uvážlivě jak svým vědeckým přínosem, tak i časovými i kapacitními nároky.

Pozornost byla věnována primárnímu okruhu JE Temelín s jeho specifikami, provozním zatížením spolu s např. v práci sledovaným vlivem zemětřesení. Byly posuzovány tři alternativy ztráty chladiva a z toho plynoucí posouzení vlivu příslušných intenzit zemětřesení.

Sběru dat jeho intenzit a posouzení lokalit je věnována rozsáhlá kapitola 9. Na základě vyhodnocení vstupních údajů byly v kap. 11.2 podány návrhy opatření pro praxi.

Postup prací a dosažené výsledky odpovídají cílům podle kap. 1.1 předložené práce. Předložená disertační práce navazuje velice plyně na písemnou práci disertantky k její státní doktorské zkoušce a tvoří tak s ní, podle mého názoru, ucelenou jednotku.

c) Výsledky postupů a závěry předložené práce jsou v plném souladu s navrhovanými postupy amerického dozoru US NRC pro hodnocení vlivu seismických událostí na četnost výskytu havárie se ztrátou chladiva LB LOCA spolu s aplikací na primární okruh JE Temelín. Bylo porovnáno seismické ohrožení lokality JE Temelín podle deterministického a pravděpodobnostního přístupu. Dále byla posouzena vhodnost aplikace postupu navrhovaného US NRC pro zmírnění požadavků na systémy chlazení aktivní zóny

reaktoru. Byla provedena analýza spolehlivosti výpočtu podle postupů US NRC metodou SBRA.

Z toho pak vyplynula řada doporučení jak z hlediska seismicity (kap. 11.2) či bezpečnosti uzlu primárního potrubí JE Temelín (kap. 10.4).

Rozpracováním problematiky seismického zatížení komponent jaderně energetických zařízení přispívá k vyšší věrohodnosti údajů o jejich bezpečnosti a tím i ke zvyšování důvěry k jaderné energetice.

d) V předložené práci jsem neshledal žádné chyby. Na vlastní práci je zřejmý příkladný přístup školícího pracoviště a školitele samého i školitele specialisty. Práce je vypracována přehledně a s velikou pečlivostí a tak jak svoji formou tak hlavně obsahem splňuje nároky na tento druh prací.

Jedinou připomínku mám k Označení hlavních veličin – chybí rozměr veličin (str. vi, vii), což by technické zprávě, kterou disertační práce je, nemělo být.

e) Málomocný disertant se může pochlubit tak rozsáhlým seznamem publikační činnosti časopiseckou i konferenčními vystoupeními včetně vysokého renomé i publikačních míst. I po této stránce disertantka plně vyhovuje nárokům na disertabilitu své práce.

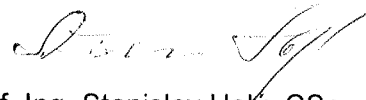
#### Závěr:

Disertační práce Ing. Kateřiny Demjančukové řeší vysoce aktuální problematiku, pro jejíž řešení autorka práce použila odpovídající moderní postupy a metody. Předložená práce dokumentuje vynikající připravenost disertantky v celé oblasti mechaniky. Ing. Demjančuková splnila stanovené cíle, vycházející z praktických, ale vysoce náročných podmínek zadání a tím přispěla k dalšímu rozvoji metody i celého oboru aplikované mechaniky. Výsledky předložené práce jsou přínosem pro příslušný vědní obor jak po stránce teoretické tak i praktické. Ing. Demjančuková plně prokázala svoje schopnosti samostatné vědecké práce.

Mohu proto předloženou disertační práci Ing. Kateřiny Demjančukové „Vliv seismické události na redefinici havárie se ztrátou chladiva“ **plně doporučit k obhajobě** před komisí pro státní doktorské zkoušky Fakulty strojní Západočeské univerzity v Plzni a po jejím úspěšném obhájení udělit disertantce akademický titul

**philosophie doktor (Ph.D.).**

V Praze dne 6. června 2016



Prof. Ing. Stanislav Holý, CSc.

ČVUT v Praze  
Fakulta strojní  
Ústav mechaniky, biomechaniky a mechatroniky  
Odbor pružnosti a pevnosti

Technická 4, 166 07 Praha 6