

## I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

<b>Název práce:</b>	Počítačové modelování fyzikálních procesů při nanoindentaci tenkých vrstev
<b>Jméno autora:</b>	Daria SHUTOVA
<b>Typ práce:</b>	bakalářská práce
<b>Fakulta:</b>	Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská (FJFI)
<b>Katedra:</b>	Katedra materiálů
<b>Oponent práce:</b>	Ing. Jaroslav Čech, Ph.D.
<b>Pracoviště oponenta práce:</b>	Katedra materiálů FJFI ČVUT

## II. HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ

<b>Zadání</b>	<b>průměrně náročné</b>
<i>Hodnocení náročnosti zadání závěrečné práce.</i>	
Zadání práce je průměrně náročné. Skládá se z literární rešerše, práce s MKP programem, tvorby modelu a interpretace výsledků simulací indentačních zkoušek.	

<b>Splnění zadání</b>	<b>splněno</b>
<i>Posuďte, zda předložená závěrečná práce splňuje zadání. V komentáři případně uveďte body zadání, které nebyly zcela splněny, nebo zda je práce oproti zadání rozšířena. Nebylo-li zadání zcela splněno, pokuste se posoudit závažnost, dopady a případně i příčiny jednotlivých nedostatků.</i>	
Zadání práce bylo splněno.	

<b>Zvolený postup řešení</b>	<b>vhodný</b>
<i>Posuďte, zda student zvolil správný postup nebo metody řešení.</i>	
Zvolený postup řešení a použité metody jsou vhodné. Na rešeršní část navazuje tvorba 2D modelu, který umožňuje posouzení vlivu různých parametrů (jak numerických, tak materiálových) na výsledky simulací indentační zkoušky.	

<b>Odborná úroveň</b>	<b>průměrná</b>
<i>Posuďte úroveň odbornosti závěrečné práce, využití znalostí získaných studiem a z odborné literatury, využití podkladů a dat získaných z praxe.</i>	
Odborná stránka práce je na průměrné úrovni. Rešeršní část je poměrně stručná. Experimenty vycházejí ze studia literatury. Provedené simulace patří mezi standardně používané metody v oboru.	

<b>Formální a jazyková úroveň</b>	<b>podprůměrná</b>
<i>Posuďte správnost používání formálních zápisů obsažených v práci. Posuďte typografickou a jazykovou stránku.</i>	
Formálně je práce logicky členěna a graficky dobře a přehledně zpracována. Jazyková úroveň je problematická, vzhledem k tomu, že čeština není studentčin mateřský jazyk. Pro některé pasáže by byla vhodná jazyková korektura. Některé termíny nejsou zcela korektně použité – např. v rámci celé práce je často používán termín odchylka ve významu rozdíl (navíc často není uvedeno odchylka/rozdíl „od čeho“).	

<b>Výběr zdrojů, korektnost citací</b>	<b>průměrné</b>
<i>Vyjádřete se k aktivitě studenta při získávání a využívání studijních materiálů k řešení závěrečné práce. Charakterizujte výběr pramenů. Posuďte, zda student využil všechny relevantní zdroje. Ověřte, zda jsou všechny převzaté prvky řádně odlišeny od vlastních výsledků a úvah, zda nedošlo k porušení citační etiky a zda jsou bibliografické citace úplné a v souladu s citačními zvyklostmi a normami.</i>	
Práce obsahuje 21 citací na odborné články, knihy a internetové zdroje. Jejich volba je vhodná, pro bakalářskou práci by mohlo být referencí více. Až na výjimky jsou citace používány korektně. Ve dvou případech (citace [6]	

na str. 7 a citace [9] na str. 9) je nesprávně odkazováno na sekundární zdroj (v práci je jmenovitě napsán autor původního článku, ale citace je na článek, který primárního autora cituje).

#### **Další komentáře a hodnocení**

*Vyjádřete se k úrovni dosažených hlavních výsledků závěrečné práce, např. k úrovni teoretických výsledků, nebo k úrovni a funkčnosti technického nebo programového vytvořeného řešení, publikačním výstupům, experimentální zručnosti apod.*

Výsledky praktické části odpovídají aktuálnímu stavu poznání. V první podkapitole praktické části je studován vliv parametrů (např. geometrie a velikost modelu, velikost prvků,...) modelu na výsledky simulací, v druhé části je na optimalizovaném modelu provedena analýza různých kombinací materiálů. Rozsah a vyhodnocení výsledků simulací je pro bakalářskou práci adekvátní.

### **III. CELKOVÉ HODNOCENÍ, OTÁZKY K OBHAJOBĚ, NÁVRH KLASIFIKACE**

*Shrňte aspekty závěrečné práce, které nejvíce ovlivnily Vaše celkové hodnocení. Uveďte případné otázky, které by měl student zodpovědět při obhajobě závěrečné práce před komisí.*

Bakalářská práce se zabývá modelováním nanoindentačních procesů s důrazem na indentaci tenkých vrstev. Rešeršní část je poměrně stručná, ale shrnuje základní poznatky z oblasti řešených v rámci bakalářské práce. Z jazykového hlediska je znát, že čeština není studentčin mateřský jazyk. V praktické části je vytvořen 2D MKP model indentace. V její první části je model optimalizován (studium vlivu geometrie a velikosti modelu, velikosti prvků, tření a poddajnosti indentoru). Hodnoty některých parametrů modelu (např. tloušťka vrstvy  $t$ ) jsou uvedeny až v další části práce, což vidím jako značně problematické a komplikující pochopení textu. V druhé části je simulována indentace do homogenních materiálů a do tenkých vrstev (měkká vrstva na tvrdém substrátu a tvrdá vrstva na měkkém substrátu). Je studován vliv hloubky vtisku na výsledný modul pružnosti a skutečnou kontaktní plochu (jevy pile-up a sink-in). Na závěr jsou výsledky přehledně shrnuty a diskutovány. Porovnání s výsledky z odborné literatury ale chybí (kromě krátké pasáže v rešeršní části).

Otázky do diskuze:

1) Pro korekci jevů pile-up/sink-in je použit faktor  $\beta$ . Jeho určení je provedeno až v kapitole 2.2.4. Byl používán i při výpočtu modulu pružnosti v kapitole 2.1 (např. na data v obrázcích 2.6, 2.7,...)?

2) Byl stanoven rozdíl mezi kontaktní plochou určenou metodou Oliver-Pharr a přímo z MKP modelu pro homogenní materiály? Pokud ano, byl konstantní pro různé hloubky vtisku (nezávislost jevu pile-up/sink-in na hloubce vtisku pro homogenní materiál)?

3) Porovnání velikostí deformace na obr. 2.26 neodpovídá vysvětlení v textu (viz rozdílné škály u obrázku a-b a c-d). Můžete to objasnit?

Předloženou závěrečnou práci hodnotím klasifikačním stupněm **C - dobře**.

Datum: 28.8.2023

Podpis: