

**I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE**

<b>Název práce:</b>	<b>Analýza mechanických vlastností živých buněk</b>
<b>Jméno autora:</b>	<b>Martin Herda</b>
<b>Typ práce:</b>	diplomová
<b>Fakulta/ústav:</b>	Fakulta strojní (FS)
<b>Katedra/ústav:</b>	Ústav mechaniky, biomechaniky a mechatroniky
<b>Oponent práce:</b>	Ing. Martin Otáhal, Ph.D.
<b>Pracoviště oponenta práce:</b>	Katedra přírodovědných oborů, FBMI, ČVUT v Praze

**II. HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ**

<b>Zadání</b>	<b>mimořádně náročné</b>
<i>Hodnocení náročnosti zadání závěrečné práce.</i>	
Všeobecně, měření mechanických vlastností biologických vzorků, a zejména na buněčné úrovni je značně náročné. Náročnost realizace takového zadání plyne jak z časového aspektu, tak i z hluboké teoretické přípravy pro následné zpracování, vyhodnocení a interpretaci naměřených dat. Samotné nalezení, pochopení a aplikace vhodného matematického modelu pro vyhodnocení mechanických vlastností buněk, je pro studenta, který se s danou problematikou dostává do kontaktu poprvé, velice problematické a náročné.	

<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>	
Ačkoliv je zadání diplomové práce značně náročné, student se tohoto tématu zhostil velice dobře. Diplomant vypracoval práci nad rámec zadání, což se projevuje zejména u bodu 3 zadání (Aplikace vhodného matematického modelu na naměřená data), kdy se student nespokojil s jednoduchým řešením a modifikoval Overbeckův matematický model tak, aby vhodněji respektoval nastavení experimentu.	

<b>Zvolený postup řešení</b>	<b>správný</b>
<i>Posuďte, zda student zvolil správný postup nebo metody řešení.</i>	
Student zvolil správný postup pro řešení tématu diplomové práce. Nicméně některé dílčí postupy a metody, vyvinuté pro potřeby této práce by bylo vhodné ověřit. Konkrétně bych doporučil verifikovat způsob odfiltrování „nežádoucího přírůstku sil“ působících na hrot, tak aby bylo jisté, že tímto způsobem nebyl negativně ovlivněn záznam závislosti síly na deformaci v průběhu samotné indentace, stejně jako určení „přesné“ hodnoty posuvu, při které je započata indentace, a správné vyhodnocení hodnoty modulu pružnosti. Dále by bylo vhodnými metodami vhodné ověřit právě stanovení tohoto počátečního bodu indentace. Do té doby bych byl studentem raději nemluvil o přesném určení kontaktního bodu, ale spíše o jeho odhadu. Nehledě na více popsané bych zde rád vyzdvihl, že se student problematikou úpravy dat zabýval poměrně detailně, stejně jako úpravou Overbeckova matematického modelu.	

<b>Odborná úroveň</b>	<b>B - velmi dobře</b>
<i>Posuďte úroveň odbornosti závěrečné práce, využití znalostí získaných studiem a z odborné literatury, využití podkladů a dat získaných z praxe.</i>	
Student v předkládané práci ukazuje, že dovede využít znalostí získaných v průběhu studia. Navíc student ukazuje, že, pokud znalosti získané studiem nedostačují, je schopen si je obstarat z dostupné literatury. Problém ovšem nastává v jisté preciznosti použití těchto znalostí v práci, zde se totiž nalézá řada nepřesných překladů. Například Optical tweezers je zde přeloženo jako optické nůžky (na rozdíl od správného optická pinzeta) apod. Dále bych studentu doporučil, aby se vyvaroval tvrzením, jako například, že pomocí AFM se měří pouze lokální mechanické vlastnosti buněk. To je zavádějící tvrzení, neboť to nezáleží ani tak na použité metodě, jako na použitém nástroji, v našem případě hrotu. AFM totiž může využívat i hrotů s rádiem v řádu mikrometrů až desítek mikrometrů (což je dostatečný rozměr pro měření globálních mechanických vlastností buněk).	

Vzhledem k tomu, že se student v práci mimo jiné zabývá komparací metod AFM a nanoindentace, ve vztahu k naměřeným datům, bych důrazně studentu doporučil, aby u citovaných studií (AFM) uváděl i typy respektive rozměry použitých hrotů, díky čemuž by mohl lépe prokazovat důvody v rozdílnosti naměřených hodnot. V neposlední řadě bych pak diplomantovi doporučil, aby se vyvaroval chyb v jednotkách, jako na stránce 47, kde se objevuje jednotka kPa u délkového rozměru (i když je to překlep způsobený kombinací kláves Ctrl+C a Ctrl+V). V neposlední řadě bych studentu doporučil, aby se snažil signifikantnost rozdílů či trendů prokazovat pomocí statistických testů. Podíváme-li se totiž na výsledky jednotlivých měřených skupin, lze s tvrzením diplomanta souhlasit, avšak přihlédneme-li i k odchylkám, zjistíme, že se často naměřené hodnoty jednotlivých skupin překrývají. Dále, vzhledem k tomu, že se diplomant poměrně detailně zabývá porovnáváním výsledků jednotlivých měřených skupin (kapitoly výsledky a diskuse), postrádám v práci více komparativních grafů, které by zjednodušili čtenáři sledování myšlenek autora.

### Formální a jazyková úroveň, rozsah práce

**C - dobře**

*Posudte správnost používání formálních zápisů obsažených v práci. Posudte typografickou a jazykovou stránku.*

Práce je z pohledu rozsahu naprosto dostačující a odpovídá požadavkům na kvalifikační práci. Nicméně je v práci řada překlepů a lehkých formálních nedostatků. Co se týče struktury diplomové práce, zde bych ocenil, kdyby kapitola teoretická část předcházela kapitole cíle, neboť cíle práce vychází právě z teoretických předpokladů a východisek. Kapitola cíle je v práci velice stručná a výhradně opakuje text zadání. Oproti tomu by kapitola cíle měla obsahovat i definici dílčích cílů a jejich popis. Takto popsané cíle jsou totiž plytké a kapitola jako taková je ztrácí smysl.

Dále mi v práci chybí kapitola Hypotézy (standardně za kapitolou cíle), ve které si student definuje hypotézy, které následně v diskuzi vyvrací, či potvrzuje.

Dále bych doporučoval v budoucích pracích zařadit kapitolu přílohy, ve které by mohly být uveřejněny další grafy, pro které není prostor v hlavním textu práce, či dílčí výpisy ze skriptů. Je škoda, že skripty a rutiny neměl oponent k nahlédnutí. Nicméně výše popsané výtky nejsou zas tolik závažné, aby významně snížili hodnotu předložené práce jako celku.

### Výběr zdrojů, korektnost citací

**A - výborně**

*Vyjádřete se k aktivitě studenta při získávání a využívání studijních materiálů k řešení závěrečné práce. Charakterizujte výběr pramenů. Posudte, 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.*

Práce je velice dobře citována, s použitím dostateku relevantních zdrojů. Celkově lze říci, že nedošlo k porušení citační etiky a bibliografické citace jsou úplné a v souladu s citačními zvyklostmi a normami.

### 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.*

Student si vybral velice složité a náročné téma, které kombinuje potřebu teoretických znalostí, s potřebou znalostí programování a experimentální práce. Velice oceňuji, že ačkoliv student mohl využít zavedených postupů (které však nejsou zcela vhodné), postupoval v práci inovativně a vytvořil nové funkční postupy. Tyto postupy však nejsou zcela verifikovány a student, či jeho nástupce, by se touto problematikou měl nadále zabývat a postupy ověřit. Za velice přínosné pak považuji, že student rozvinul možnosti experimentálního měření mechanických vlastností buněk za pomoci nanoindentace. To rozvíjí možnosti verifikace měření prováděných jinými metodami, jako je například AFM apod.

## 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.*

Předložená práce je velice zajímavá a vzhledem k tomu, že se jedná o měření mechanických vlastností buněk je i velice náročná. Student se tématu zhostil s iniciativou a inovací. Upravil Overbeckův matematický model buňky pro vyhodnocení mechanických vlastností buněk, vytvořil postup pro určení výšky buňky a odfiltrování nežádoucích sil při měření v kapalině. Bohužel se dopustil několika chyb v textové části práce, které činí práci těžko čitelnou a srozumitelnou, což bohužel sráží práci jako celek, ačkoliv rozsah a obsah diplomové práce je výjimečný. Podrobně se k těmto aspektům vyjadřuji již výše.

K práci mám následující tři otázky:

- 1) Při odvození tvaru toroidu vycházíte z předpokladu rovnosti objemů toroidu a elipsoidu (viz rovnice 9). Proč uvažujete rovnost objemů, nebylo by vhodnější vycházet z plochy pláště?
- 2) V rámci měření jste indentoval buňky až do hloubky 1000nm nicméně z grafů 6.2 a 6.3 plyne, že výška některých buněk byla na hranici 1100nm (1100 nm pro buňku č. 6 v sadě WM35\_Coll, či 1200nm pro buňku č. 8 v sadě A375\_Glass). Jak tato skutečnost ovlivnila měření? A je tedy vaše hodnocení vlivu výšky buňky na modulu pružnosti správné?
- 3) Jak byste ověřil stanovení nežádoucího přírůstku sil působící na hrot v kapalině? Jak byste ověřil, zda a jaké nežádoucí silové účinky působí na hrot po kontaktu hrotu s buňkou?

Předloženou závěrečnou práci hodnotím klasifikačním stupněm **B - velmi dobře**.

Datum: 25.8.2019

Podpis: