

I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

Název práce:	Termomechanická analýza 3D – výtisků s využitím metody konečných prvků
Jméno autora:	Jakub Jirmann
Typ práce:	bakalářská
Fakulta/ústav:	Fakulta elektrotechnická (FEL)
Katedra/ústav:	Katedra elektrotechnologie
Vedoucí práce:	Jan Zemen
Pracoviště vedoucího práce:	Katedra elektrotechnologie

II. HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ

Zadání	náročnější
<i>Hodnocení náročnosti zadání závěrečné práce.</i>	
Zadání bylo spíše náročnější. Student se musel seznámit s oborem polymerů používaných při 3D tisku, s modelováním přenosu tepla a tepelné roztažnosti i s metodou konečných prvků. Dále musel provést vlastní numerické simulace, analyzovat výsledky a vyvodit závěry.	

Splnění zadání	splněno
<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>	
Student splnil zadání ve všech bodech.	

Aktivita a samostatnost při zpracování práce	B - velmi dobře
<i>Posuďte, zda byl student během řešení aktivní, zda dodržoval dohodnuté termíny, jestli své řešení průběžně konzultoval a zda byl na konzultace dostatečně připraven. Posuďte schopnost studenta samostatné tvůrčí práce.</i>	
Student byl aktivní a samostatný při sestavení modelu, výběru geometrie a provádění simulací. Svůj postup se školitelem průběžně konzultoval s výjimkou konečné verze práce. Na konzultace byl dostatečně připraven. Bohužel konzultace finálních výsledků proběhla jen částečně, takže práce neobsahuje přehledné porovnání tří zkoumaných materiálů.	

Odborná úroveň	C - dobře
<i>Posuďte úroveň odbornosti závěrečné práce, využití znalostí získaných studiem a z odborné literatury, využití podkladů a dat získaných z praxe.</i>	
Práce je na uspokojivé odborné úrovni. Opírá se o původní data získaná studentem pomocí simulací. Student získal množství nových znalostí i simulačních dovedností v oblasti 3D tisku. Během modelování warpingu využil odbornou literaturu i technická data o použitých materiálech. Práci lze vytknout mírné nepřesnosti v popisu metody konečných prvků a v matematickém popisu vedení tepla v části 3.5. (Např. věta: „Tepelný tok, který se pohybuje vně objektu, daný objekt deformuje.“ je dle mého soudu nejasná a neplyne z uvedených rovnic.) Zároveň není z popisu zcela jasné, jak student porovnával kvalitu použité prostorové sítě (konvergence meshu) v sekci 4.5. Věta: „Elementy tvoří trojúhelníky, které představují různé velikosti a uspořádání dle výskytu v objektu.“ není příliš srozumitelná. Sít ve 3D objektu se skládá z tetraedrů, kde trojúhelníky jsou jen stěny elementů viditelné na povrchu simulovaného objektu. Tyto nepřesnosti ale nemají vliv na validitu prezentovaných výsledků. Student prokázal, že chápe vliv volby numerických parametrů simulace na kvalitu konečného výsledku. Práce bohužel neporovnává výsledky (deformaci) pro různé tvary tištěného objektu.	

Formální a jazyková úroveň, rozsah práce	B - velmi dobře
<i>Posuďte správnost používání formálních zápisů obsažených v práci. Posuďte typografickou a jazykovou stránku.</i>	
Po formální stránce je práce dobré úrovně. Text je důsledně členěn na sekce a podsekce. Matematický zápis je přehledný s výjimkou patrně chybného odkazu na rovnice 3 a 4 v nadpisu tabulky 1 (asi mělo jít o rovnice 4 a 5). Obrázky mají velmi dobrou kvalitu. Použitý jazyk místy není dostatečně odborný a věty uvedené výše jsou hůře srozumitelné, ale celkově se studentovi podařilo popsat svou problematiku srozumitelně.	

Výběr zdrojů, korektnost citací

A - výborně

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.

Práce obsahuje celkem 28 citací odborné literatury a dalších zdrojů. Student využil doporučenou literaturu a zároveň dohledal další relevantní zdroje. Pro získání materiálových parametrů bylo potřeba citovat větší množství internetových zdrojů, které neprocházejí oponentních řízením, ale obsahují spolehlivá data. Vlastní výsledky jsou zřetelně odlišeny od převzatých informací. K porušení citační etiky nedošlo.

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.

Práce pojednává pouze deformaci tištěného objektu během tisku při zvýšené teplotě. Tepelnou roztažnost uvažuje jako lineárně závislou na rozdílu teplot a materiál aproximuje jako lineární elastický. Proto deformace po úplném vychladnutí mizí. Pro simulaci trvalé deformace objektu by bylo třeba využít nelineární strukturní mechaniku, která v Comsol Multiphysics spadá do separátního modulu (rozšířená licence), a metodu pohyblivé sítě (moving mesh domain), což je pro bakalářský projekt příliš náročné. Získané výsledky postačují pro porovnání polymerních materiálů z hlediska warpingu a pro odhad tvaru tištěného materiálu, který bude více náchylný na warping. Studentovi se podařilo nasimulovat pohyb tiskové hlavy jako časově a prostorově závislý zdroj tepla na povrchu simulované domény. Tento postup hodnotím jako velmi inovativní – umožnil výrazné ušetření simulačního času a budeme ho do budoucna používat.

III. CELKOVÉ HODNOCENÍ A NÁVRH KLASIFIKACE

Shrňte aspekty závěrečné práce, které nejvíce ovlivnily Vaše celkové hodnocení.

Student splnil náročné zadání, seznámil se s problematikou 3D tisku i simulačními metodami a získal vlastní výsledky, které analyzoval a vyvodil užitečné závěry. Zároveň prokázal samostatnost při tvůrčí práci a schopnost řešit nastalé obtíže. Bohužel se mu do práce nepodařilo vtělit všechny získané výsledky. Například chybí porovnání deformací v objektech různého tvaru, které zvolená simulační metoda umožňuje a mělo by význam pro praxi. Dále by bylo vhodné prezentovat porovnání tří studovaných materiálů v grafické podobě – například jako sloupcový graf. (Doporučuji doplnit při obhajobě.)

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

Datum: 31.1.2024

Podpis: