POSUDEK OPONENTA ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

Název práce:	Elektrické parametry kompozitních materiálů pro 3D tisk metodou FDM / Dielectric propertiesof composite materials for FDM 3D printing
Jméno autora:	Kristián Solar
Typ práce:	bakalářská
Fakulta/ústav:	Fakulta elektrotechnická (FEL)
Katedra/ústav:	Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd
Oponent práce:	Ing. Jan Mikeš, Ph.D.
Pracoviště oponenta práce:	Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd

II. HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ

Zadání **průměrně náročné**

Hodnocení náročnosti zadání závěrečné práce.

Stanoveno ve čtyřech formulovaných pokynech, doprovozených soupisem tří hlavních zdrojů pro zpracování bakalářské práce. Zadání práce je jednoznačné, avšak v mnohých ohledech již dnes není zcela inovativní.

Splnění zadání **splněno**

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.

Předložená bakalářská práce se cíleně zabývá porovnáním elektrických parametrů různých materiálů, zejména pak kompozitních, které jsou vhodné pro 3D tiskovou metodu FDM. Dalším cílem BP bylo ekonomické zhodnocení implementace vybraných materiálů do inženýrské praxe. Z popisného pohledu bylo zadání splněno.

Zvolený postup řešení **správný**

Posuďte, zda student zvolil správný postup nebo metody řešení.

Student popsal hlavní kategorie 3D tisku s bližším zaměřením na FDM technologii. Seznámil s materiály pro 3D tisk, které rozdělil do skupin podle jejich složení a využití. Z těchto materiálů provedl výběr pro laboratorní zkoušení elektrické pevnosti, a tu také pro každý materiál stanovil. Pro zpracované materiály v ekonomické části bakalářské práce provedl kalkulaci nákladů na jeden kus výrobku v závislosti na změřené elektrické pevnosti a aplikované citlivostní analýze. Cílem bakalářské práce tedy bylo po technicko-ekonomické stránce zhodnotit vyselektovaný materiál a zjistit výslednou cenu za určitý výrobek o předem zvolené elektrické pevnosti. Z popisného hlediska byl navržený postup správný, avšak z hlediska bohaté báze zahraničních publikací k tématu (které autor necituje) by bylo vhodné více pracovat a komparovat výsledky s již publikovanými a vyzdvihnout tak vlastní inovační přístup. Bylo by zároveň vhodné více a lépe komentovat jednotlivé zvolené postupy.

Odborná úroveň **B - velmi dobře**

Posuďte úroveň odbornosti závěrečné práce, využití znalostí získaných studiem a z odborné literatury, využití podkladů a dat získaných z praxe.

Forma 3D tisku – aditivního automatizovaného procesu – je známa od 80. let 20. století z USA a v současnosti dosáhla velmi vysoké úrovně preciznosti, a tím vhodné prototypové použitelnosti. Lze tisknout z mnoha materiálů, např. z plastu, kovu (hliníku, mědi, oceli, titanu), betonu, skla nebo z kompozitů, tj. materiálů vznikajících sloučením dvou či více složek do sebe v určitém poměru, kdy např. jeden z materiálů vytváří výrobku pevnost a druhý slouží jako pojivo. Autor BP popisuje tyto technologie a zabýval se testováním kompozitního materiálu PET/ABS v poměru 2:1, který byl tištěn při dvou teplotách, a návazně ověřil vysokonapěťovou zkouškou elektrickou pevnost uvedeného kompozitu. Pevnost porovnal s výtisky z obou samostatných použitých materiálů, PET a ABS. Ekonomické zhodnocení provedl citlivostní analýzou pro nákladovou funkci výroby pro jeden kus a implementoval ho pro velkovýrobu. Autor postupoval standardně pro práce bakalářského typu. BP by v pochopení záměru

autora pomohlo větší strukturování textu a oproštění od výplňkových informací, které odvádějí pozornost od podstatných.

Formální a jazyková úroveň, rozsah práce **C - dobře**

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

BP je rozčleněna na úvod, 4 kapitoly (Technologie 3D tisku, Materiály pro FDM 3D tisk, Vysokonapěťové experimenty, Ekonomické zhodnocení kompozitních strun pro 3D tisk), závěr a na seznam grafů, tabulek, obrázků a rovnic, seznam příloh a na soupis v práci využitých zdrojů. BP má celkem 66 stran, což odpovídá standardní BP na FEL ČVUT v Praze. Kvalita obrázků, grafů i rovnic je vhodná, i když často přebíraná z citovaných zdrojů. U některých zdrojů autor uvádí, kdy zvolenou práci citoval, jinde tento podstatný údaj chybí, nerozlišuje v soupisu zdroje internetové a zdroje klasické, tyto informace splývají a pro čtenáře jsou tak nepřehledně zpracovány. Jazyková stránka práce vykazuje značné množství gramatických a stylistických chyb.

Výběr zdrojů, korektnost citací **B - velmi dobře**

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.

Výběr zdrojů odpovídá zadání BP, zápisy jsou provedeny korektně. Jak už bylo uvedeno výše: u některých zdrojů autor uvádí, kdy zvolenou práci citoval, jinde tento podstatný údaj chybí, nerozlišuje v soupisu zdroje internetové a zdroje klasické, tyto informace splývají a pro čtenáře jsou tak nepřehledně zpracovány. V rámci heuristické rešeršní přípravy by bylo vhodné zaměřit se také na světovou odbornou literaturu, která se zabývá vlastním meritem výzkumu (elektrickou pevností, technickými vlastnostmi materiálů) a nejenom informacemi o samotném 3D tisku a ekonomickými pravidly. Lépe by tak vynikl inovativní autorův přístup k řešení problému BP.

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.

Přestože práce odpovídá zpracováním standardům kladeným na bakalářské práce realizované na technické vysoké škole, trpí značným množstvím jazykových a stylistických chyb. Časté střídání postoje autora, času a využívání hovorové až obecné češtiny snižuje odbornost předložené práce. Věty, které na sebe nenavazují, tak odvádějí pozornost čtenáře od důležitých pasáží sdělení. Práci by významně prospěla redukce nadbytečných textů.

Příkladem uvádím ukázku několika z množství vět, které by bylo vhodnější přeformulovat a dodržet v nich korektnost pravidel českého jazyka:

Prvním problémem při samotném tisknutí vzorků byl chtíč vytisknout jich co nejvíce, což se nejevilo jako ideální, jelikož se spodní materiál, kterým bylo ABS, odlepoval od podložky.

Zpočátku se používali pouze dostupné a ozkoušené materiály. S postupem času se ale rozvíjeli a dnes se dá tisknou mnoha materiálů například z plastu, kovu (hliník, měď, ocel, titan), betonu, skla nebo jak již bylo zmíněno z kompozitů.

Vytištěné vzorky z různých materiálů o zvolených parametrech se vkládali do kádinky s elektrodami, na vzorky bylo poté přivedeno napětí a byla zjištěna elektrická pevnost pro každý materiál zvláště.

Co se týče…, Jak již víme…,

Neopatrným zacházením při sundávání vytištěného materiálu se může časem poškodit, a to může mít vliv na zhoršení tiskových vlastností. Dále sada krokových motorků, která se neřadí k běžně vyměňovaným

částem, jelikož zde nedochází k tak velkému opotřebení. Může dojít pouze ke zhoršení jejich vlastností, které by mohli mít vliv na kvalitu tisku.

III. CELKOVÉ HODNOCENÍ, OTÁZKY K OBHAJOBĚ, NÁVRH KLASIFIKACE

V úvodní – teoretické – části autor BP vysvětlil tři hlavní kategorie 3D tisku a podrobně se zaměřil na užití FDM technologie, která byla použita v praktické části pro tisk vzorků. V další části BP popsal různé druhy materiálů, jak základních, tak kompozitních a rozdělil je do skupin podle jejich složení a funkce při 3D tisku. Z těchto materiálů provedl výběr pro vysokonapěťové experimenty. Vytištěné vzorky z materiálů o zvolených parametrech vkládal do kádinek s elektrodami, na vzorky přivedl napětí, a tak zjistil elektrickou pevnost pro každý zvolený materiál PET a ABS zvlášť. Po vyhodnocení elektrických pevností autor BP doporučil navrstvení dvou klasických materiálů na sebe, konkrétně PET+ABS pro zajištění největší elektrické pevnosti. Kompozitní materiál PET/ABS (polykarbonát s příměsí) autor BP nedoporučil pro výrazně nižší elektrickou pevnosti oproti klasickým materiálům. Z těchto experimentů vycházelo také jeho ekonomické zhodnocení v závislosti na změřené elektrické pevnosti vzorků. Nejlevnější výsledná cena byla zjištěna pro materiál ABS, poté pro navrstvený ze dvou materiálů, nejhůře byl vyhodnocen polykarbonát s příměsí uhlíku, kde cena za kus výrazně převyšovala všechny ostatní. Uvedená fakta ukazují, že navrstvení materiálů je ekonomicky efektivnější, než použití kompozitního materiálu. Přestože práce odpovídá zpracováním standardům kladeným na bakalářské práce realizované na technické vysoké škole, trpí značným množstvím jazykových a stylistických chyb.

Námět k diskuzi:

Autor v BP neuvádí, za jakých atmosférických (environmentálních) podmínek byly experimenty provedeny a jaký byl stav samotných filamentů před jejich aplikací (nové/staré, bez/s ochranným obalem). Zahraniční publikace zcela jednoznačně popisují samotný proces degradace filamentu v čase. Domnívám se tedy, že počáteční charakter vlákna může mít nezanedbatelný vliv na posuzovanou pevnost. Dále by bylo vhodné specifikovat vlastnosti použitého oleje, dobu, po kterou byly vzorky ponořeny a jeho vliv na vytisknuté vzorky.

Práci doporučuji k obhajobě.

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

Datum: 24.1.2021

Podpis: Ing. Jan Mikeš, Ph.D., K13116 FEL ČVUT v Praze