

I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

Název práce:	Ekologická výroba desek plošných spojů
Jméno autora:	Jakub Zdráhal
Typ práce:	bakalářská
Fakulta/ústav:	Fakulta elektrotechnická (FEL)
Katedra/ústav:	Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd
Vedoucí práce:	Ing. Petr Veselý, Ph.D.
Pracoviště vedoucího práce:	Katedra elektrotechnologie

II. HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ

Zadání	náročnější
<i>Hodnocení náročnosti zadání závěrečné práce.</i>	
Zadání bakalářské práce hodnotím jako náročnější vzhledem k tématice, která nebyla předtím řešena a vyžadovala komplexní vývoj vč. návrhu vstupních materiálů, návrhu vodivých motivů a 3D modelů substrátů, optimalizace výrobních parametrů a následně komplexní testování. Vedle samotného technického řešení byla navíc zpracována technicko-ekonomická analýza navrženého postupu pro lepší přiblížení do praxe.	

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 všechny body zadání, naopak jeho práci a přístup hodnotím jako nadprůměrné, především co se týká bodů 2 a 3.	

Aktivita a samostatnost při zpracování práce	A - výborně
<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 během práce nadprůměrně aktivní, což dokazuje nejen obsahový rozsah výsledné práce, ale i jeho aktivity během zpracování – na práci začal pracovat již během léta 2022 na vlastní 3D tiskárně a první prototypy měl hotové i základně otestované již během podzimu. Na jaře pak navrženou metodou vyrobil více než 20 prototypových demonstračních DPS. Dále spolupracoval i na příspěvku na mezinárodní odbornou konferenci. Svoji práci pravidelně konzultoval, nicméně drtivou většinu návrhových a výrobních problémů při vývoji byl schopen řešit zcela samostatně.	

Odborná úroveň	A - výborně
<i>Posuďte úroveň odbornosti závěrečné práce, využití znalostí získaných studiem a z odborné literatury, využití podkladů a dat získaných z praxe.</i>	
Práce je zpracovaná na velmi dobré úrovni. Při čtení nabývá člověk dojmu, že autor problematice skutečně rozumí, především pak technologiím 3D tisku. To je také má drobná výtka, kdy v rešeršní části jsou probírány některé technologie až moc do velkého detailu, přitom s následnou praktickou částí až tolik nesouvisí. Naopak se mohl autor více věnovat výrobě desek plošných spojů, respektive ekologickým alternativám ke konvenční výrobě. I tato tematika je však v rámci bakalářské práce popsána v dostatečném rozsahu. Student zde navíc využívá aktuální odborné články a skutečně se tak jedná o plnohodnotné State of the Art v této oblasti. Zpracování dat z praktické části práce na dobré odborné úrovni, vše je do detailu popsáno, chválím využití box-plotových grafů a poměrně bohatou diskusi nad výsledky práce, které otevírají možnosti dalšího pokračování v tomto tématu nejen v rámci navazující práce diplomové. Ekonomická část práce (i přes značné, ale celkem logické zjednodušení v mnoha aspektech) pak dostatečným způsobem ilustruje využití výsledku práce v praxi a ekonomický dopad v rámci modelového příkladu malé firmy. Zde oceňuji zahrnutí nákladů na zmetkovitost výroby, což dále přibližuje ekonomický model skutečné realitě.	

Formální a jazyková úroveň, rozsah práce	A - výborně
<i>Posuďte správnost používání formálních zápisů obsažených v práci. Posuďte typografickou a jazykovou stránku.</i>	

I přes jazykovou korekturu textu má autor občas mírně zvláštní slovosled či volbu technických výrazů. Takových míst je nicméně v textu minimum a celkově se text poměrně dobře čte. Trochu bych vytkl členění textu, které zde není (jak je ve vědeckých pracích zvykem) striktně Materiály a metody – Výsledky – Diskuze, ale výsledky jsou zde vloženy hned za popis dané metodiky. Čitelnost a souvislost textu tím ale naštěstí nijak výrazně netrpí. Formátování práce je velmi úhledné a celkově je dokument prakticky bez typografických chyb, další drobná výtka směřuje pouze k nadměrnému používání dvojteček v textu.

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.

Student v práci využil 43 informačních zdrojů, což je přiměřený počet pro bakalářskou práci tohoto charakteru. Značná část jsou navíc zahraniční odborné publikace a články, v menší míře české zdroje (především ale co se týká různých datasheetů apod.) a univerzitní závěrečné práce. V textu jsou citace správně uvedeny, nenalézám nikde porušení citační etiky.

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 prokázal v rámci zpracování práce schopnost samostatné výzkumně-vývojové činnosti a nad rámec práce se podílel i na publikaci vybraných výsledků této práce v rámci mezinárodní vědecké konference. Výsledek práce – ekologicky šetrná výroba funkčních desek plošných spojů – má do budoucna velký potenciál nejen v rámci navazujícího výzkumu, ale díky ekologickému aspektu, kdy ochrana životního prostředí rezonuje společností ve velmi značné míře, i v praxi. Bude snaha výsledky práce využít jako základ pro větší výzkumný projekt.

III. CELKOVÉ HODNOCENÍ A NÁVRH KLASIFIKACE

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

Student se v práci věnoval velmi aktuálnímu a rezonujícímu tématu ekologické náhrady materiálů a procesů pro výrobu elektroniky. Výsledkem práce je poměrně originální přístup využívající recyklované polymery a technologii 3D tisku pro výrobu izolačního substrátu a depozici tlustých stříbrných vrstev pro vytvoření vodivého motivu. Především bych chtěl ocenit studentův nadprůměrně aktivní přístup a celkové nadšení pro věc, ale samozřejmě i technickou a odbornou úroveň navrženého řešení. Z práce je patrné, že se student problematice věnoval velmi podrobně a dobře jí rozumí. Nad rámec práce se podílel na publikaci vybraných výsledků této práce na mezinárodní vědecké konferenci. Výsledky práce jsou velmi zajímavé a otevírají možnost nejen dalšího výzkumu v rámci navazující diplomové práce, ale například v rámci většího projektu. Ekonomická část práce pak na modelovém příkladu dostatečným způsobem ilustruje využití výsledků práce v praxi a ekonomický dopad v rámci malé firmy; zde oceňuji zahrnutí nákladů na zmetkovitost výroby, což dále přibližuje model realitě. K textovému zpracování práce mám pár drobných poznámek, ale celkově se jedná o velmi dobře i čtivě napsaný text s minimem chyb.

Předloženou závěrečnou práci hodnotím klasifikačním stupněm **A - výborně**.

K obhajobě mám následující doplňující dotazy:

1. Šel by jako vstupní materiál pro výrobu substrátu použit i jiný polymer, než které jste použil ve svojí práci, který by splňoval podmínku recyklovatelnosti?
2. LCA (Life Cycle Assessment) je sice nad rámec této práce, ale zkuste s využitím literatury alespoň přibližně odhadnout a kvantifikovat snížení dopadu na životní prostředí (např. pomocí emisí skleníkových plynů nebo ekologické stopy).

Datum: 30.5.2023

Podpis: