

POSUDEK OPONENTA DISERTAČNÍ PRÁCE

<i>Autor práce</i>	Ing. et Ing. Kristýna Havlíková
<i>Téma DisP</i>	Metodika pro podporu kontroly kvality svařence s využitím rozšířené reality
<i>Školitel</i>	doc. Ing. Pavel Kopeček, CSc..
<i>Studijní program</i>	P0715D270029 Průmyslové inženýrství a management

Oponent disertační práce:

prof. Ing. Martin Krajčovič, PhD.

Žilinská univerzita v Žiline

Oponentský posudok k dizertačnej práci bol spracovaný na základe žiadosti dekana FST, ZČU Plzeň č. ZCU 020730/2023/DFST-SO-Pok zo dňa 21.10.2023 v zmysle pokynov pre vypracovanie oponentského posudku a v súlade so zákonom č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a Studijním a zkušebním řádem ZČU.

Zhodnotenie významu práce pre odbor

Dizertačná práca sa zaoberá posúdením efektívnosti aplikácie rozšírenej reality v procesoch kontroly kvality. Rozšírená realita reprezentuje modernú technológiu, ktorá postupne nachádza uplatnenie v mnohých oblastiach priemyslu. Dizertačná práca sa teda zaoberá vysoko aktuálnou problematikou, ktorá úzko súvisí s implementáciou požiadaviek priemyslu 4.0 a 5.0 pri budovaní inteligentných výrobných závodov. Technológie rozšírenej, virtuálnej a zmiešanej reality sú veľmi významným prvkom budovania výroby orientovanej na človeka, kde nachádzajú uplatnenie nielen v oblasti vzdelávania a tréningu zamestnancov, ale aj pri priamej podpore výrobných, montážnych a pomocných procesov. Predložená dizertačná práca sa zaoberá práve oblasťou priamej podpory kontrolných procesov a činností vo výrobe. Z uvedených dôvodov považujem tému dizertačnej práce za vysoko aktuálnu a riešenie dizertačnej práce má významný prínos pre rozvoj predmetného odboru.

Postup riešenia, použité metódy, splnenie stanovených cieľov

Vlastná dizertačná práca pozostáva z 12 kapitol. V úvodnej časti práce sú definované ciele, výskumné otázky a vymedzená téma a rozsah realizovaného výskumu. Túto časť považujem za veľmi dobre spracovanú, ciele dizertačnej práce sú realistické a jasne definované. Zároveň konštatujem, že hlavný aj čiastkové ciele dizertačnej práce považujem za splnené.

Kapitoly 3 a 4 sa venujú rozboru súčasného stavu poznatkov v predmetnej oblasti. Dizertantka postupne a logicky spracováva jednotlivé témy z dvoch kľúčových oblastí: technológie AR a kontrola kvality vo výrobe. V 4. kapitole k uvedeným témam uvádza výsledky rešerše doteraz publikovaných vedeckých prác.

K tejto časti mám len jednu pripomienku. Kapitola 4.4 venovaná plne automatizovanej kontrole zvarov je z pohľadu zamerania predmetného výskumu irelevantná. Téma dizertačnej práce sa orientuje na využitie AR pri kontrole zvarov. AR reprezentuje technológiu, ktorá slúži k zlepšeniu interakcie pracovníka s výrobným zariadením resp. pracovným prostredím. Prítomnosť človeka na pracovisku kontroly je nevyhnutným predpokladom použitia technológie AR a teda nie je možné uvažovať v tomto prípade s plne automatizovanou kontrolou.

Ťažiskové kapitoly dizertačnej práce sú kapitoly 6 až 10, ktoré popisujú hlavné časti vlastného výskumu dizertantky. V kapitole 6 dizertantka predstavuje vlastný návrh všeobecnej metodiky kontrolného procesu, ktorý v kapitole 7 aplikuje do návrhu pilotnej aplikácie AR pre kontrolu zvarov. V kapitole 8 predstavuje metodiku testovania pilotnej aplikácie v reálnych podmienkach kontroly zvarov.

Trochu nelogické sa mi zdá zaradenie prehľadu použitých vedeckých metód do kapitoly 9. Mnohé z prezentovaných metód dizertantka využila už v predchádzajúcich častiach dizertačnej práce popisujúcich návrh metodiky a pilotnej aplikácie AR. Z uvedeného dôvodu by mala byť táto kapitola v práci umiestnená ešte pred kapitolou 6.

Štruktúra návrhovej časti dizertačnej práce je nevyvážená. Kapitoly 6 a 7, ktoré sa venujú návrhu implementácie AR do procesu kontroly kvality, sú príliš stručné (13 strán), v porovnaní s časťou práce venovanou popisu a štatistickému vyhodnoteniu experimentálnej štúdie (63 strán).

Popis pilotnej aplikácie AR v kapitole 6 je prezentovaný prostredníctvom softvérových nástrojov použitých pri vývoji tejto aplikácie. Za vhodnejší v tejto kapitole by som považoval popis štruktúry a jednotlivých modulov navrhovanej AR aplikácie a popis základných funkcionalít aplikácie, rovnako ako postup tvorby AR aplikácie, popísaný v kontexte jednotlivých krokov obcej metodiky. Tu mohli byť v jednotlivých krokoch postupu spomenuté aj jednotlivé SW nástroje použité pri tvorbe AR aplikácie.

Dominantnú časť návrhu v dizertačnej práci tvorí popis experimentálnej štúdie a štatistické vyhodnotenie výsledkov experimentov (kapitoly 8 a 10). Túto časť práce považujem za veľmi významnú hlavne v kontexte potvrdenia/vyvrátenia hypotéz, ktoré si dizertantka stanovila na začiatku výskumu. Experimentálna štúdia je zameraná na vyhodnotenie základných faktorov a ich porovnanie pri kontrole kvality klasickou formou (s využitím papierovej dokumentácie) a kontrole kvality s využitím technológie AR. Hodnotené faktory v experimentálnej štúdii sú:

- rýchlosť kontroly (celkový čas na dokončenie kontroly),
- presnosť kontroly (miera chybovosti),
- mentálna záťaž pracovníkov (meraná pomocou metódy NASA Task Load Index).

Okrem týchto faktorov účastníci experimentu vyhodnotili aj použiteľnosť navrhnutej AR aplikácie pomocou štandardného dotazníka SUS (System Usability Scale). Experimentálna časť bola realizovaná na dvoch skupinách účastníkov (S1 - kontrolóri kvality so skúsenosťou s kontrolou zvarov, S2 – kontrolóri, ktorí nemajú skúsenosti s kontrolou zvarov).

Popis experimentálnej štúdie a metodiky testovania je jasný, logický a zrozumiteľný. Štatistické vyhodnotenie výsledkov experimentov je podrobné, každej použitej metóde predchádza jej krátky popis. V závere každej analýzy dizertantka uvádza interpretáciu výsledkov. Táto štruktúra výrazne zjednodušuje čitateľovi orientáciu v inak veľmi rozsiahlej kapitole.

Ako drobný nedostatok tejto kapitoly považujem v niektorých prípadoch repetitívny popis štatistických metód a výsledkov ich aplikácie. Napr. pri testovaní normálneho rozdelenia celkového času kontroly TCT dizertantka opakovane popisuje použitie a výsledky všetkých použitých metód (Shapiro-Wilkov test, graf Quantile – Quantile, krivka normálneho rozdelenia) na všetkých 6 variantoch súborov štatistických dát (S1+S2 – AR, S1+S2 – PAP, S1 – AR, S1 – PAP, S2 – AR, S2 – PAP). Tento pomerne rozsiahly popis mohol byť nahradený sumárnou tabuľkou jednotlivých výsledkov a podrobný popis sa mohol presunúť do prílohy dizertačnej práce. Rovnaký scenár sa opakuje aj pri štatistickom hodnotení ostatných faktorov. Aj z uvedeného dôvodu je potom popis výsledkov štatistického hodnotenia experimentov príliš rozsiahly (63 strán).

V závere práce dizertantka uvádza diskusiu výsledkov vlastného výskumu a prínosy dizertačnej práce. Tu by som privítal súhrnné vyhodnotenie výsledkov overovania jednotlivých hypotéz, ktoré si dizertantka stanovila v úvode výskumu.

Výsledky dizertačnej práce, prínos dizertantky

Výsledky dizertačnej práce vyhovujú požiadavkám na kvalifikačné práce tretieho stupňa vysokoškolského štúdia, jadro dizertačnej práce považujem za originálne a prínosné pre ďalší rozvoj študijného programu Průmyslové inženýrství a management. Za hlavné prínosy dizertačnej práce považujem návrh všeobecnej metodiky pre aplikáciu AR do procesov kontroly kvality, vývoj pilotnej AR aplikácie pre kontrolu kvality zvarov a experimentálne potvrdenie pozitívneho vplyvu aplikácie AR technológií do procesu kontroly kvality z pohľadu nárastu produktivity, kvality a humanizácie procesov kontroly kvality vo výrobe.

Systematickosť, prehľadnosť, formálna a jazyková úroveň

Práca je spracovaná systematicky, po formálnej stránke spĺňa kritériá pre záverečné práce v doktorandskom stupni štúdia. Drobné pripomienky mám k niektorým obrázkom v práci, ktoré majú buď nižšiu grafickú kvalitu, alebo popisy v obrázkoch nie sú preložené do českého jazyka. Jazykovú úroveň si nedovoliť posudzovať.

Publikačná činnosť dizertantky

Dizertantka uvádza v prehľade publikačnej činnosti 5 publikačných výstupov z toho 1 je výstup v karentovanom časopise, 1 výstup evidovaný v databáze Scopus a 3 výstupy reprezentujúce vedecké články z medzinárodných konferencií. Publikačnú činnosť doktorandky považujem za dostatočnú pre udelenie vysokoškolského titulu v 3. stupni VŠ štúdia.

Otázky k dizertačnej práci

1. Dizertantka navrhuje v dizertačnej práci v rámci kontroly kvality aplikáciu HHD AR (rozšírená realita s využitím hand-held zariadení). Aké výhody by mohla v porovnaní s navrhovaným spôsobom priniesť aplikácia HMD AR (rozšírená realita s využitím náhlavných zariadení)? Aké sú prípadné prekážky a obmedzenia aplikácie HMD AR v oblasti kontroly kvality?
2. Dizertantka v práci uvádza, že každých niekoľko mesiacov dochádza k technickým zmenám výrobkov, ktoré znamenajú aj zmeny v kontrole kvality zvarov. Aká je flexibilita AR aplikácie na technické zmeny výrobkov? Aká je náročnosť implementácie týchto technických zmien do systému kontroly kvality s podporou AR v porovnaní s kontrolou s využitím papierovej dokumentácie?
3. Na str. 110 dizertantka uvádza výsledky testovania normálneho rozdelenia dát pri hodnotení mentálnej záťaže pracovníkov. Ako výsledok výpočtu Shapiro-Wilkovho testu uvádza hodnotu $W = 0,853$, pričom kritická hodnota je $W_{krit} = 0,940$. Konštatuje, že výsledky testu ($W > W_{krit}$ a $p > 0.05$) potvrdili normálne rozdelenie dát. Prosím vysvetliť nesúlad medzi výsledkami testu a ich interpretáciou.

Záverečné zhodnotenie

Na záver konštatujem, že dizertačná práca spĺňa všetky predpísané požiadavky. Preto odporúčam dizertačnú prácu Ing. Kristíny Havlíkovej k obhajobe a po jej úspešnom absolvovaní navrhujem udeliť uchádzačke akademický titul „philosophiae doctor“ - Ph.D.”

Jednoznačné vyjádření oponenta dle zákona č 111/1998 Sb. paragraf 47:

disertační práci **doporučuji** x ~~nedoporučuji~~ k obhajobě (nehodící se škrtněte)

V Žiline, 9.11.2023

prof. Ing. Martin Krajčovič, PhD.
oponent