

## **OPONENTNÍ POSUDEK DISERTAČNÍ PRÁCE k získání akademického titulu doktor (Ph.D.)**

<b>Autor práce:</b>	Ing. Tomáš Novotný, ING-PAED IGIP
<b>Vysoká škola:</b>	Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
<b>Název práce:</b>	Využití technologie virtuální reality v analýze rizik a bezpečnosti výrobních strojů
<b>Studijní obor:</b>	Konstrukční a procesní inženýrství
<b>Školitel:</b>	doc. Dr. Ing. Radek Knoflíček VUT v Brně, FSI, ÚVSSaR
<b>Rozsah práce:</b>	107 stran, 9 stran tištěných příloh, elektronická příloha disertační práce v podobě CD byla přiložena a byla rovněž oponentem zkoumána

---

### **Rekapitulace cílů práce:**

Předložená a oponentem posuzovaná disertační práce shrnuje výsledky, dosažené disertantem při teoretickém a experimentálním zkoumání možností využití technologie virtuální reality v analýze rizik a bezpečnosti výrobních strojů. Konkrétně se pak práce zabývá metodickým rozpracováním teoretického a praktického nasazení technologie imerzní virtuální reality v oblastech určení nebezpečných prostorů stroje, při identifikaci zdrojů možných nebezpečí a při ověřování aplikovaných opatření zabudovaných v konstrukci stroje. Uvedená problematika je v současné době předmětem intenzivního výzkumu a je proto nepochybné, že výše uvedené téma práce je disertabilní.

Disertační práce má 107 stran včetně titulního listu a je členěna do šesti kapitol, přičemž kapitoly 1 a 6 jsou úvod a závěr. Kromě toho práce ještě zahrnuje abstrakt v českém a anglickém jazyce, klíčová slova v českém a anglickém jazyce, bibliografickou citaci, čestné prohlášení, poděkování, obsah (dvě strany), seznam použité literatury, seznam obrázků, seznam tabulek a grafů. Na stranách 102 až 106 lze nalézt bohaté seznamy publikací a tvůrčích produktů autora, stejně jako jeho rozsáhlé zapojení do projektů a dalších aktivit řešených na jeho univerzitním pracovišti. Z uvedených seznamů je patrné, že doktorand má nejen výborný přehled o řešené problematice, ale současně i schopnost řešit dílčí vědecko-výzkumné úkoly a také dokáže účinně spolupracovat v týmu řešitelů svého mateřského pracoviště.

V úvodu (kapitola 1) je prezentována motivace autora k hledání možností nasazení moderních technologií virtuální reality do oblastí konstrukční inženýrské činnosti. Dále jsou zde poměrně stručně, ale výstižně shrnuty požadavky a nároky na ochranu zdraví a bezpečnost, které se týkají nově vyvíjených strojů a přístup k jejich zabezpečování.

Obsah kapitoly 2 (Přehled současného stavu řešené problematiky – 6 stran) přesně odpovídá jejímu názvu. První část se zabývá definicí virtuální reality, popisuje druhy technologií virtuální reality a věnuje se jejím základním charakteristikám. Druhá část se zabývá definicí základních pojmů a filozofie managementu rizik. Dále je zde představena metodika

managementu technických rizik, která byla vyvinuta na mateřském pracovišti doktoranda a která tvoří jeden ze základních vstupů pro řešení předložené disertační práce. Vzhledem k tomu, že oblast technologií virtuální reality je tématem novým a doposud velmi málo probádaným, považuji tuto kapitolu za velmi kvalitně zpracovanou.

V kapitole třetí (4 strany) je definován problém a cíle řešení disertační práce. Je zde uveden koncepční teoretický cíl práce – analyzovat a prověřit možné způsoby pro integraci vizualizačních a interakčních technik virtuální reality do oblasti identifikace rizik v životním cyklu výrobních strojů. Těžiště práce spočívá v tvorbě virtuální realitou podporované identifikace rizika v časných vývojových etapách. Dále jsou zde definovány i dva praktické cíle disertační práce, které vyplývají z potřeb průmyslové sféry. Prvním je provedení zevrubné analýzy požadavků a návrhu metodického postupu pro převod konstrukčního 3D CAD modelu do prostředí imerzní virtuální reality. Druhým je návrh metodického postupu pro integraci reálných nástrojů a reálného nářadí do virtuální scény v prostředí imerzní virtuální reality. Pro řešení úlohy je zvolen systémový přístup založený na rozboru a dekompozici stávajících metod managementu technických rizik, formulaci nových teoretických konceptů řešení a jejich experimentální verifikaci na praktických příkladech v prostředí imerzní virtuální reality. Zvolený přístup považuji za správný a následný obsah disertační práce přesvědčivě dokumentuje splnění všech stanovených cílů.

Kapitola 4 (Teoretický rozbor řešené problematiky – 13 stran) zahrnuje stručný popis systémového přístupu jako nástroje pro efektivní realizaci poznávacích procesů u technických objektů (v konkrétním případě výrobních strojů). Dále je zde diskutována otázka přínosů a překážek pro průmyslové nasazení technologií virtuální reality. Další část kapitoly je věnována analýze možností aplikace virtuální reality při identifikaci rizik a začlenění navržené metody do podpory vývoje způsobilých strojů. Za vlastní teoretický přínos disertanta k rozvoji daného vědního oboru lze považovat zejména stanovení čtyř konkrétních oblastí analýzy rizik výrobních strojů, kam je začlenění technik virtuální reality účelné. Jsou to: transparentní systémová analýza stroje, určování nebezpečných prostorů stroje, určování mezních hodnot stroje a provádění analýz na rozhraní člověk-stroj.

Teoretické závěry z předchozí kapitoly jsou rozvinuty a na řešený problém konkretizovány v kapitole 5 (Praktická část řešení – 50 stran). Po úvodu zaměřeném na představení použitého hardwarového a softwarového vybavení je značná pozornost věnována shrnutí autorových praktických zkušeností s implementací konstrukčních 3D CAD modelů do prostředí imerzní virtuální reality a požadavkům na tyto modely. V rámci této výzkumné části Ing. Novotný navrhl novou metodiku pro převod konstrukčních CAD dat do prostředí virtuální reality. Navržená metodika byla následně úspěšně prakticky experimentálně ověřena. V další části (podkapitola 5.5) jsou rozvinuty teoretické závěry z podkapitoly 4.3 a představeny praktické aplikace virtuální reality při analýze rizik u obráběcích strojů. Dále se autor zaměřuje na řešení problému definovaného na základě požadavků z průmyslové praxe – na snižování rizika při montážních operacích. Zde disertant navrhl unikátní metodický postup implementace reálných nástrojů a nářadí do virtuální scény s možností vyšetřovat kolize mezi reálným nástrojem a virtuálním strojem. I tato navržená metodika byla prakticky úspěšně ověřena. Podkapitola 5.7 uvádí přehled metod navržených k dokumentaci postupů analýzy rizik na virtuálních prototypch výrobních strojů a podkapitola 5.8 popisuje průběh a výsledky autorem provedených pilotních analýz identifikace možných nebezpečí, identifikace zdrojů těchto možných nebezpečí a aplikovaných opatření zabudovaných do konstrukce na praktických příkladech z průmyslové praxe. Kapitoly 4 a 5 představují jádro disertační práce a jsou v nich shrnuty výsledky vlastní tvůrčí vědecké práce doktoranda.

V šesté kapitole (Závěr – 7 stran) jsou přehledně a kriticky shrnuty dosažené výsledky. Poté jsou jednoznačně a podrobně formulovány teoretické, praktické a pedagogické přínosy

předložené práce, se kterými lze souhlasit. Kapitulu a tím i celou práci uzavírají explicitně formulované návrhy pro další postup prací na daném problému.

## **K požadovaným bodům posudku uvádím:**

*Aktuálnost tématu disertační práce* není třeba zdůrazňovat, protože řada výrobců výrobních strojů (a nejen těch) se potýká s problémem spočívajícím v tom, jak v předvýrobních etapách (zejména pak při konstruování stroje) efektivně provádět činnosti, jejichž smyslem je především identifikace a odstranění co největšího počtu zdrojů ohrožení. Je zřejmé, že účinným využíváním prostředků modelování 3D objektů s následným přenosem do prostředí VR lze v rámci výzkumu a vývoje celý tento proces značně urychlit, zefektivnit a také relativně zlevnit.

*Na základě výše uvedeného považuji téma disertační práce za velmi aktuální.*

*Cíle disertační práce* jsou uvedeny v kapitole 3 (str. 19). Stěžejním cílem je analyzovat a prověřit možné způsoby pro integraci vizualizačních a interakčních technik virtuální reality do oblasti identifikace rizik s důrazem na tvorbu virtuální realitou podporované identifikace rizika v časných vývojových etapách životního cyklu výrobních strojů. To samo o sobě představuje velmi komplexní a složitou problematiku. Neméně podstatným cílem je analýza požadavků a návrh metodického postupu pro převod konstrukčních 3D CAD modelů do prostředí imerzní virtuální reality. Třetím, pro praktické nasazení důležitým cílem, je návrh metodického postupu pro integraci reálných nástrojů a reálného nářadí do virtuální scény v prostředí IVR.

*Disertace ve všech podstatných aspektech splnila stanovené cíle. Disertant se dokázal úspěšně zhostit poměrně komplikovaného úkolu a při jeho řešení vytvořit původní přínos.*

*Postup řešení problému* je založen na tzv. systémovém přístupu, který autor vhodně rozpracoval a aplikoval na řešenou problematiku. Disertant postupoval v logicky na sebe navazujících krocích. Nejprve, na základě podrobné analýzy řešené problematiky, formuloval teoretické koncepty, které následně experimentálně ověřoval a konkrétní zkušenosti z aplikace v prostředí IVR poté převedl do obecně použitelných závěrů.

*Zvolený postup řešení problému považuji za správný a vedoucí k vytyčenému cíli.*

*Konkrétní přínos doktoranda* lze spatřovat v tom, že pomocí aplikace zobecněného systémového přístupu provedl konkretizaci jednotlivých atributů stávající metodiky managementu technických rizik a přesně tak stanovil oblasti systému analýzy rizik výrobních strojů, do kterých je začlenění technologie virtuální reality účelné.

*Konstatuji, že disertant dospěl k závěrům využitelným v technické i pedagogické praxi. Původní přínos spočívá zejména v návrhu nové metodiky pro převod konstrukčních CAD dat do prostředí virtuální reality a sestavení unikátního metodického postupu pro implementaci reálných pracovních nástrojů a nářadí do virtuální scény s možností vyšetřování kolizí mezi reálnými nástroji a virtuálními prototypy strojů.*

*Možnost praktického využití* disertant zcela jasně demonstroval na konkrétních příkladech a pilotních analýzách možných nebezpečí popsanych v kapitole 5. Dílčí závěry předložené práce její autor prakticky ověřoval na reálných konstrukčních datech tuzemských producentů výrobních strojů, konkrétně společností TOSHULIN, a. s., TAJMAC-ZPS, a. s., TOS VARNSDORF a. s., TOS KUŘIM – OS, a. s., STROJÍRNA TYC s. r. o. a Gifos s. r. o. Všechny uvedené praktické experimenty naznačují reálnost doktorandem zvoleného postupu.

*Výsledky práce tak považuji za prakticky využitelné.*

*Rozvoj vědního oboru „Konstrukční a procesní inženýrství“* lze na základě podrobného zkoumání předložené disertační práce spatřovat zejména ve vytvoření doposud chybějícího metodického rozpracování teoretického nasazení technologií imerzní virtuální reality do oblasti konstrukce výrobních strojů. Je zřejmé, že dosažené výsledky přispějí k dalším vědeckým pracím věnujícím se preventivnímu zvyšování bezpečnosti a zaměřeným na podporu vývoje způsobilých strojů (v oblasti požadavků kladených na jejich bezpečnost, spolehlivost a kvalitu).

*Disertační práce přispívá bezpochyby k rozvoji vědního oboru „Konstrukční a procesní inženýrství“.*

*Formální úprava disertační práce* je na vysoké úrovni. Je přehledná, má převážně řádně provedenou citaci a odkazy na použitou literaturu. Jazyk práce odpovídá povaze disertační práce. Drobné překlepy nesnižují vědeckou úroveň práce.

*Konstatuji, že formální úprava práce je na požadované úrovni a nemám k ní připomínek.*

### **Závěr oponentního posudku:**

Z obsahu disertační práce a jejích výsledků je zřejmé, že byly splněny cíle definované v kapitole 3. Disertant při jejím zpracování používal klasických i moderních postupů, z nichž některé nebyly dosud používány a vznikl tak původní přínos rozvíjející daný vědní obor. Teoreticky získané poznatky byly úspěšně experimentálně ověřeny a jsou prakticky využitelné.

Celá disertační práce svědčí o tom, že disertant ovládá metody vědecké práce, má hluboké teoretické a praktické dovednosti v oboru, je schopen přinášet nové teoretické poznatky a v technické praxi je aplikovat.

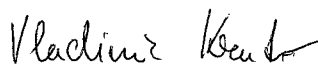
### **Doporučení oponenta:**

Pan Ing. Tomáš Novotný, ING-PAED IGIP prokázal schopnost a připravenost k samostatné činnosti v oblasti výzkumu a vývoje a tím splnil podmínky stanovené v § 47, odst. 4 Zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách. Proto doporučuji, aby mu byl po úspěšné obhajobě udělen akademický titul

**„doktor (Ph.D.)“.**

***Během rozpravy žádám o zodpovězení následujících otázek:***

1. V rozboru současného stavu není blíže rozebraný stav v zahraničí. Existuje obdobná metodika začlenění VR k detekci rizik někde v zahraničí?
2. Je Vámi navržená metodika posuzování rizik strojních zařízení modifikovaná o identifikaci rizik v prostředí virtuální reality použitelná pouze pro výrobní stroje (tzn. obráběcí, tvářecí a dřevozpracující)? Lze ji použít i na další stroje? Pokud ano, jsou nutné nějaké úpravy v prováděném postupu?
3. Ve Vámi vyvinuté metodice pro implementaci reálných nástrojů do prostředí imerzní virtuální reality využíváte pasivních značek pro optický tracking. Proč? Nebylo by vhodnější využít některé z metod přímého rozpoznávání tvaru reálných nástrojů bez nutnosti doplňkových markerů?



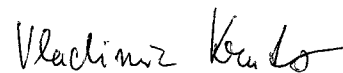
.....  
Ing. Vladimír Krutiš, Ph.D.  
MECAS ESI s.r.o.  
Brojova 2113/16  
326 00 Plzeň

V Plzni dne 10. května 2013

**Stručné vyjádření**

k předloženým tezím disertační práce Ing. Tomáše Novotného, ING-PAED IGIP

Předložené teze jsou stručnou a věrnou charakteristikou celého obsahu disertační práce a k jejich obsahu nemám žádné připomínky. Shledávám je jako použitelné pro publikaci autorem řešené problematiky v Edici PhD Thesis bez nutnosti dalších úprav.



.....  
Ing. Vladimír Krutiš, Ph.D.  
MECAS ESI s.r.o.  
Brojova 2113/16  
326 00 Plzeň

V Plzni dne 10. května 2013