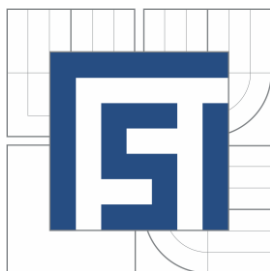




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY
KONSTRUKČNÍ A PROCESNÍ INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS
DESIGN AND PROCESS ENGINEERING

VYUŽITÍ TECHNOLOGIE VIRTUÁLNÍ REALITY V ANALÝZE RIZIK A BEZPEČNOSTI VÝROBNÍCH STROJŮ

UTILIZATION OF VIRTUAL REALITY TECHNOLOGY
IN RISK ANALYSIS AND SAFETY
OF PRODUCTION MACHINES

Zkrácená verze PhD Thesis

AUTOR PRÁCE

Ing. TOMÁŠ NOVOTNÝ

ŠKOLITEL

doc. Dr. Ing. RADEK KNOFLÍČEK

OPONENTI

prof. Ing. MIKULÁŠ HAJDUK, Ph.D.
Ing. VLADIMÍR KRUTIŠ, Ph.D.

DATUM OBHAJOBY

__. __. 2013

Klíčová slova:

virtuální realita
management rizika
bezpečnost
výrobní stroj
virtuální prototyp

Key words:

virtual reality
risk management
safety
production machine
virtual prototype

MÍSTO ULOŽENÍ RUKOPISU

Dizertační práce je uložena na Oddělení vědy a výzkumu Fakulty strojního inženýrství VUT v Brně, Technická 2896/2, 616 69 Brno.

© Tomáš Novotný, 2013

Tato práce vznikla jako školní dílo na Vysokém učení technickém v Brně, Fakultě strojního inženýrství. Práce je chráněna autorským zákonem a její užití bez udělení oprávnění autorem je nezákonné, s výjimkou zákonem definovaných případů.

ISBN 80-214-
ISSN 1213-4198

OBSAH

1 ÚVOD.....	5
2 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY	6
2.1 Virtuální realita	6
2.2 Management rizik	7
2.2.1 Všeobecné základy managementu rizik.....	7
2.2.2 Management technických rizik u výrobních strojů	8
3 CÍLE DIZERTAČNÍ PRÁCE	9
3.1 Definice problému.....	9
3.2 Cíle řešení dizertační práce	9
3.3 Očekávaný přínos dizertační práce	10
4 ZVOLENÉ METODY ZPRACOVÁNÍ DIZERTAČNÍ PRÁCE.....	10
4.1 Etapy řešení dizertační práce	11
5 SHRUTÍ DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ	11
5.1 Teoretický přínos práce.....	12
5.2 Praktický přínos práce.....	13
5.3 Pedagogický přínos práce	15
6 ZÁVĚR.....	16
6.1 Náměty k dalšímu řešení.....	16
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	17
ŽIVOTOPIS.....	18
ABSTRAKT	19

1 ÚVOD

Stoupající nároky na ochranu veřejného zájmu, respektive bezpečnosti, postihují bez ohledu na jejich specifika všechny oblasti společenského dění a oblast vývoje, konstrukce a výroby strojních zařízení není v tomto ohledu přirozeně žádnou výjimkou. Proces vývoje nového výrobního stroje však není jednoduchý a vyžaduje mnoho času i finančních zdrojů. Proto se jeví jako výhodné využívat virtuální prototypy ve všech fázích vývoje, kde je to možné. V ideálním případě by výsledkem vývoje byl první fyzický prototyp stroje již splňující všechny požadavky a nevyžadující žádné další úpravy.

Dle celé řady zákonných předpisů a technických norem, ať už na úrovni národní, evropské či světové, musí výrobce stroje zajistit posouzení rizik s cílem určit požadavky na ochranu zdraví a bezpečnost, které se týkají vyvíjeného stroje. Ten pak musí být navržen a konstruován s přihlédnutím k výsledkům posouzení rizik, to znamená, že je potřeba při jeho konstrukci dodržet základní požadavky na ochranu zdraví a bezpečnost, přičemž tyto požadavky by měly být uplatňovány rozumně a s ohledem na stav techniky v době konstrukce a s ohledem na technické a ekonomické požadavky. Za tímto účelem byly vyvinuty různé metodické postupy spadající do široké oblasti souhrnně nazývané jako management rizik. Tyto metodické postupy přispívají k rozvoji poznání a jsou velmi důležité pro přípravu podkladů pro rozhodovací procesy v řízení podniku.

Motivací předkládané dizertační práce je zjistit možnosti využití moderních technologií virtuální reality a možnosti jejich aplikace právě v metodických postupech managementu rizik. Možnost provádět rozsáhlá testování a analýzu rizik na virtuálním prototypu celého stroje již v jeho rané vývojové fázi, tak může celý vývojový proces značně urychlit, zefektivnit a především zlevnit. Hledání aplikací realizace těchto složitých systémů zaměřených na pokročilé virtuální prototypování má velký potenciál využitelnosti i v mnoha dalších oborech inženýrské činnosti. Na virtuálním modelu stroje, který je již i fyzicky vyroben, lze totiž například provádět zaškolení a trénování operátorů, bez nutnosti přístupu ke skutečnému stroji.

Problematika aplikace technologií virtuální reality je, z pohledu vědeckého výzkumu, tématem novým a v současné době vysoce aktuálním, stojícím v popředí zájmu vědecko-výzkumných pracovníků. Z důvodu absence metodického rozpracování jejich teoretického nasazení však zatím nabyly tyto technologie v oblasti konstrukce výrobních strojů výrazněji a komplexněji uplatněny. Právě absence takového metodického rozboru je i terčem kritiky z průmyslové praxe, která jinak vnímá potenciál nasazení pokročilých technologií virtuální reality do konstrukčního procesu jako příspěvek k povýšení technické úrovně samotných výrobních strojů.

Snahou autora je na základě vědeckých přístupů vypracovat analýzu pro potenciální uplatnění technologie virtuální reality v oblastech analýzy rizik a bezpečnosti výrobních strojů. Poté bude s využitím systémového a procesního

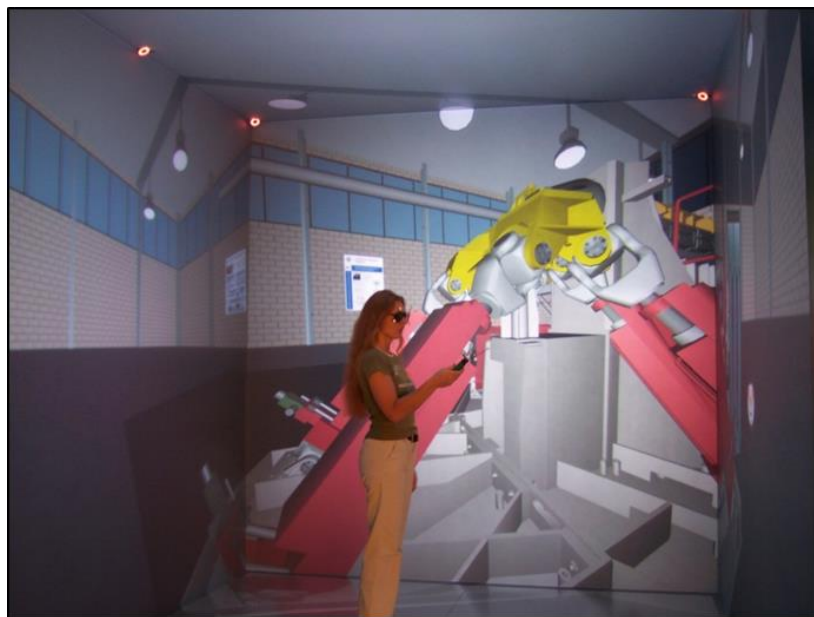
přístupu toto uplatnění ověřeno na praktických případech a vyslovena doporučení pro její úspěšnou aplikaci. Cílem bude dosáhnout pokud možno bezchybného vývoje prostřednictvím předchozího promyšlení a plánování, neboť zabránit chybě je vždy lepší, než chybu odstraňovat. Je-li potenciální chyba odhalena již během vývoje stroje, je její odstranění relativně jednoduché, a tudíž spojené s menšími náklady.

2 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

Dizertační práce se zabývá dvěma specifickými oblastmi – technologiemi imerzní virtuální reality (dále též IVR) a problematikou managementu rizik při konstrukci výrobních strojů. Pro každou část bude nyní uveden stručný přehled současného stavu vědecko-technického poznání v dané oblasti.

2.1 VIRTUÁLNÍ REALITA

Cílem systémů pro virtuální realitu (VR, Virtual Reality) je poskytnout uživateli či skupině spolupracujících uživatelů iluzi, že se nacházejí v umělém prostředí, nazývaném virtuální svět, virtuální scéna či virtuální prostředí. V dalším textu budu pro virtuální realitu používat obecnou zkratku VR. Prostor VR je nejčastěji vytvořeno v paměti počítače, může však existovat i jako kombinace skutečného světa a počítačem doplněných objektů. Dosažení pocitu přítomnosti uživatele ve virtuálním světě se docíluje ovlivněním lidských smyslů, nejčastěji zraku a sluchu, vzácněji pak hmatu a v simulátorech i rovnováhy. Chování jednotlivých součástí virtuálního prostředí by zejména v technických aplikacích mělo být plně v souladu s fyzikálními zákony. [13]



Obr. 1: Pětistěnná CAVE jako prostředek pohlcující virtuální reality (zdroj VRCP)

Z hlediska počítačové grafiky jsou základem virtuální reality postupy tvorby prostorových modelů a scén, manipulace s nimi, pohyb v trojrozměrném prostoru, detekce kolizí a zobrazování v reálném čase. [13] Tyto metody jsou umocněny použitím periferií, které zajišťují obrazovou, zvukovou a hmatovou interakci. Jde zejména o helmy se zabudovanými displeji, stereoskopické plochy (typu Powerwall, L-Bench nebo vícečetné CAVE – viz obr. 1), snímače polohy v prostoru, hmatová zařízení, simulační kabiny, apod.

2.2 MANAGEMENT RIZIK

Základní filozofie managementu rizika vychází z konstatování, že u žádného reálného procesu nelze dosáhnout absolutní bezpečnosti, a je-li průběh jakéhokoli procesu zatížen rizikem, které je vyšší než mezní riziko, musí se předpokládat, že dříve či později dojde k výskytu nebezpečné události a vzniku škody, pokud nebudou realizována žádná bezpečnostní a ochranná opatření. [4]

2.2.1 Všeobecné základy managementu rizik

Riziko vyjadřuje míru ohrožení a je vždy dáno dvěma základními prvky, kterými jsou jednak závažnost škody, která může vzniknout v důsledku výskytu nebezpečné události při nezvládnutí specifikované nebezpečné situace v rámci konkrétního procesu, jednak pravděpodobnost vzniku této škody.

Jako management rizik nazýváme systematický proces, při kterém se riziko identifikuje, analyzuje, odhaduje, posuzuje a minimalizuje během celého životního cyklu zařízení při současném respektování systémových cílů podniku.

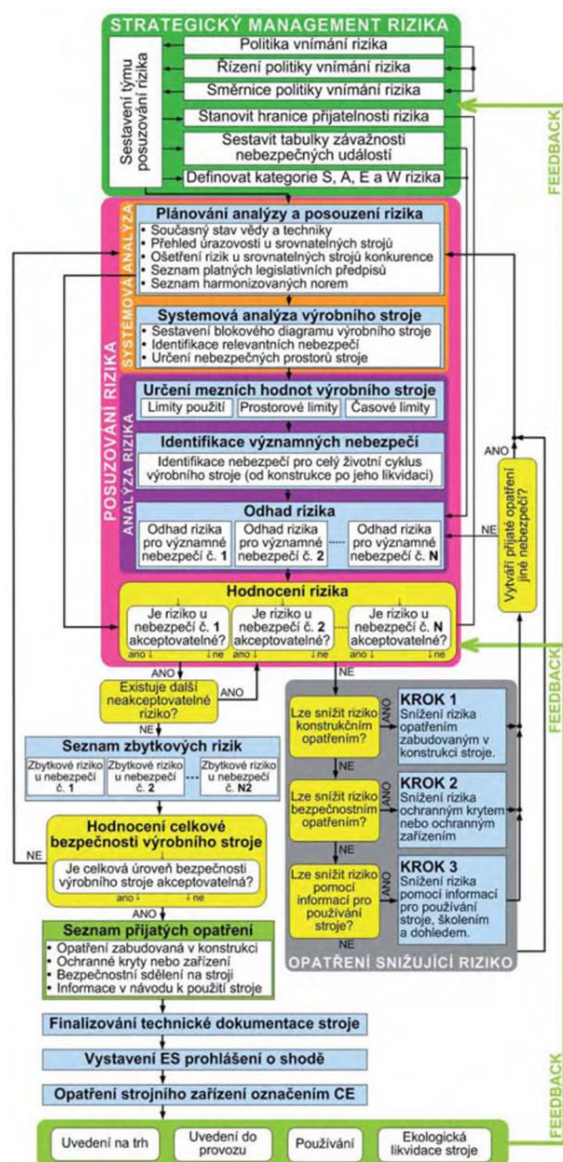
Management rizik je součástí strategického managementu podniku a lze jej rovněž dělit na strategický a operativní (obr. 2).



Obr. 2: Management rizik [4]

2.2.2 Management technických rizik u výrobních strojů

Obrázek 3 popisuje formou postupového diagramu systémový přístup pro posouzení rizik a stanovení preventivních opatření k předcházení poruch a snižování rizik s využitím standardních metod a nástrojů pro řízení jakosti v konstrukci, výrobě, montáži a provozu výrobních strojů. Tato metodika byla v rámci výzkumného projektu číslo 2.4.1 – Analýza rizik a bezpečnost strojů vyvinuta na brněnském pracovišti Výzkumného centra pro strojírenskou výrobní techniku a technologii (VCSVTT). Jak je z obrázku patrné, jedná se o komplexní iterativní (opakovací) proces tvořený řadou na sebe navazujících kroků, umožňujících systematicky identifikovat, analyzovat a odhadnout riziko pro specifickou nebezpečnou situaci, vyhodnotit odhadnuté riziko, rozhodnout o nutnosti jeho ošetření, a v případě, že je to zapotřebí, vybrat a realizovat vhodné bezpečnostní a ochranné opatření ke snížení rizika.



Obr. 3: Postupový diagram managementu technických rizik [2]

3 CÍLE DIZERTAČNÍ PRÁCE

3.1 DEFINICE PROBLÉMU

Jak z předchozí kapitoly, zabývající se analýzou současného stavu řešené problematiky, vyplývá, systém managementu rizika zahrnuje početnou skupinu různých činností, od počáteční identifikace a analýzy rizika přes odhad rizika a jeho hodnocení, tj. rozhodování o nutnosti ošetření rizika, až po výběr a realizaci vhodných bezpečnostních a ochranných opatření k odstranění nebo snížení rizika, včetně kontroly účinnosti realizovaných opatření (pokud jsou nutná) a učení se z chyb po výskytu nebezpečné události. Jde o natolik složitou problematiku, že pro ošetřování procesů orientovaných na vývoj výrobních strojů je nezbytná vysoce kvalifikovaná tvůrčí spolupráce početnějších týmů s multiprofesním složením.

A právě technologie virtuální reality, dle autorova názoru, nabízejí ideální vizualizační a komunikační nástroje pro odbornou diskuzi nad těmito oborově se prolínajícími problémy. Lze říci, že jde o jedinečnou platformu pro interdisciplinární kooperaci a pro zajištění transparentnosti již během počátečních fází vývoje průmyslových výrobků a výrobních procesů. Vzhledem k tomu, že se jedná o technologie moderní a nové, tak doposud schází metodické rozpracování jejich teoretického nasazení v této oblasti vývoje výrobních strojů.

3.2 CÍLE ŘEŠENÍ DIZERTAČNÍ PRÁCE

Koncepčním cílem dizertační práce s názvem Využití technologie virtuální reality v analýze rizik a bezpečnosti výrobních strojů je analyzovat a prověřit možné způsoby pro integraci vizualizačních a interakčních technik virtuální reality do oblasti identifikace rizik v životním cyklu výrobních strojů.

Zamýšlená integrace bude provedena do v praxi hojně a úspěšně využívaného metodického postupu posuzování rizik strojních zařízení, který byl v rámci vědecko-výzkumné činnosti brněnského pracoviště Výzkumného centra pro strojírenskou výrobní techniku a technologii (VCSVTT) vyvinut jako součást výzkumného projektu číslo 2.4.1 – Analýza rizik a bezpečnost strojů. Tato unikátní metodika bude tvořit jeden ze základních vstupů dizertační práce.

Těžiště práce bude spočívat v tvorbě virtuální realitou podporované identifikace rizika v časných vývojových etapách. To znamená identifikovat za pomoci imerzních technik virtuální reality potenciální nebezpečí na virtuálním prototypu ještě před stavbou prototypu reálného, což umožní přinést časové a finanční úspory.

Jedním z dílčích výstupů předkládané dizertační práce bude zevrubná analýza požadavků a návrh metodického postupu pro převod konstrukčního 3D CAD modelu do prostředí imerzní virtuální reality.

V praktické části dizertační práce budou navřené způsoby integrace technologie virtuální reality do oblasti identifikace rizik ověřeny na virtuálních modelech skutečných obráběcích strojů.

Důraz bude kladen především na problematiku:

- určování nebezpečných prostorů a mezních hodnot těchto strojů;
- analýzy nebezpečí na rozhraní člověk-stroj.

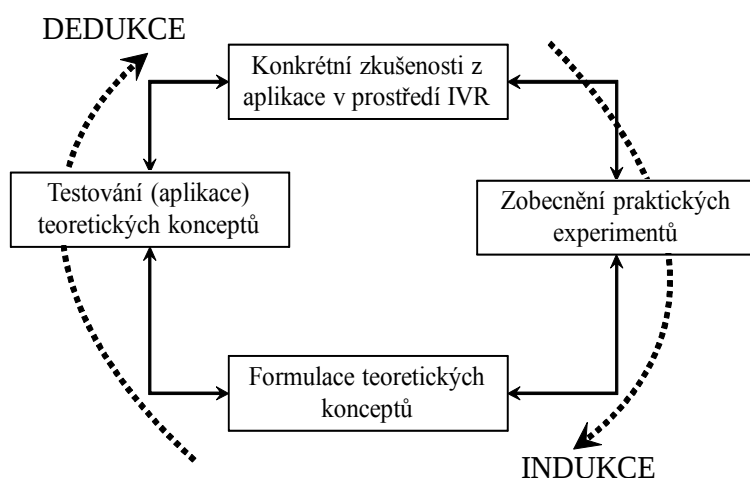
Jedním z podstatných dílčích výstupů praktické části bude i návrh metodického postupu pro integraci reálných nástrojů a reálného nářadí do virtuální scény v prostředí IVR. Vznikne tak velmi silný nástroj pro snižování rizika při montážních operacích.

3.3 OČEKÁVANÝ PŘÍNOS DIZERTAČNÍ PRÁCE

Modifikací současné metodiky posuzování rizik strojních zařízení o technologie virtuální reality bude možné, kromě již zmiňovaných a v praxi velmi podstatných finančních úspor, které vyplývají z možnosti odhalovat chyby již v rané fázi vývoje stroje, docílit také zefektivnění práce při vyhledávání rizik, což zkrátí její časovou (a potažmo i finanční) náročnost a jednak ve zvýšení transparentnosti celého procesu odhalování rizik, což s sebou přinese i vyšší kvalitativní úroveň vstupů pro odhad rizika, který je v systému managementu rizika dalším navazujícím krokem na identifikaci rizika.

4 ZVOLENÉ METODY ZPRACOVÁNÍ DIZERTAČNÍ PRÁCE

Na výše definovanou problematiku začlenění technologie virtuální reality do oblasti identifikace rizik výrobních strojů bude nahlíženo pomocí systémového přístupu. Existující metodické postupy zaměřené na identifikaci nebezpečí a analýzu rizik zde tvoří měkké systémy, kde vstupuje do interakce celá řada faktorů, z nichž ne všechny jsou jasně kvantifikovatelné. K analýze potenciálních možností nasazení technologie virtuální reality do oblasti identifikace rizik bude použit deskriptivní analytický přístup založený na empirickém rozboru stávajících metod managementu technických rizik. Výsledky této analýzy budou sloužit pro následný návrh způsobů integrace vizualizačních a interakčních technik virtuální reality do oblasti identifikace rizik. Tohoto návrhu bude dosaženo syntézou obou systémů.



Obr. 4: Kolbův experimentální cyklus

Navržené způsoby budou experimentálně ověřeny na virtuálních modelech obráběcích strojů. Další část práce bude věnována modifikaci navržených metodických postupů, při níž bude využito párových metod indukce a dedukce. Metody indukce a dedukce spolu velmi úzce souvisejí. Tuto souvztažnost dobře vystihuje tzv. Kolbův experimentální cyklus (Kolb, Rubin, McIntyre: *Organizational Psychology. An experimental Approach*. 1979) – viz obr. 4 na předchozí straně.

Z experimentálních ověření na praktických aplikacích poté vyplynou i další doporučení týkající se využití metodiky posuzování rizik strojních zařízení modifikované o technologie virtuální reality.

4.1 ETAPY ŘEŠENÍ DIZERTAČNÍ PRÁCE

Následující body shrnují nejvýznamnější etapy řešení předložené dizertační práce:

- Analytický rozbor možných způsobů integrace vizualizačních a interakčních technik virtuální reality do oblasti identifikace rizik výrobních strojů.
- Příprava a implementace 3D-CAD modelů obráběcích strojů do imerzního prostředí virtuální reality, včetně odlaďování hardwarových a softwarových vazeb VR-systému.
- Začlenění navrženého postupu do „Metodiky posuzování rizik strojních zařízení“, která byla vyvinuta autorským kolektivem z brněnského pracoviště Výzkumného centra pro strojírenskou výrobní techniku a technologii (VCSVTT).
- Verifikace a modifikace navržené metody na virtuálních modelech obráběcích strojů v prostředí imerzní virtuální reality.
- Formulace závěrů a doporučení pro využití technologie virtuální reality v analýze rizik a bezpečnosti výrobních strojů.

5 SHRUTÍ DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ

Výsledkem této dizertační práce je metodické rozpracování efektivního využití moderních technologií virtuální reality při analýze rizik výrobních (převážně obráběcích) strojů.

V úvodu práce je představen stručný přehled současného stavu vědecko-technického poznání a to odděleně, zvlášť pro oblast popisující technologie imerzní virtuální reality a zvlášť pro problematiku managementu rizik při konstrukci výrobních strojů.

V další kapitole byly definovány cíle dizertační práce vyplývající převážně z legislativních požadavků a požadavků průmyslové praxe. Stanovení cílů, které byly definovány při Státní doktorské zkoušce v roce 2010, se jeví ze současného pohledu jako vhodně zvolené, aktuální a nadčasové. To lze podložit závěry z konferencí vědecké akademie CIRP (College International pour la Recherche en Productique), které se konají každoročně v lednu v Paříži a kterých se autor této dizertační práce, jako pozvaný host, účastní. Právě na této konferenci byly v roce

2012 Vědeckou technickou komisí Design (STC Dn) předloženy návrhy na zpracování témat aplikace virtuální a rozšířené reality v konstrukčních a výrobních procesech jako klíčové aktivity. Hlavním cílem předložené dizertační práce bylo analyzovat a prověřit možné způsoby pro integraci vizualizačních a interakčních technik virtuální reality do oblasti identifikace rizik v raném stádiu životního cyklu výrobních strojů.

Metoda zpracování dizertační práce vychází ze systémového přístupu. Na zadanou problematiku bylo nejprve pohlíženo jako na dva samostatné subsystémy. První subsystém tvořily technologie pohlcující virtuální reality a druhý subsystém tvořila množina metod použitelných pro management technických rizik. Oba tyto subsystémy byly pomocí deskriptivního analytického přístupu založeného na empirickém rozboru jejich podstatných vlastností dekomponovány. Dekompozice a odhalení „slabých“ míst stávající metodiky posuzování technických rizik vedly ke stanovení strategického přístupu pro nasazení technologií VR v oblastech určování nebezpečných prostorů a mezních hodnot výrobních strojů a analýzy nebezpečí na rozhraní člověk-stroj.

Další část dizertační práce popisuje syntézu obou výše uvedených subsystémů. Důraz zde byl kladen zejména na identifikaci požadavků na vstupní trojrozměrné modely výrobních strojů tak, aby mohlo dojít ke smysluplnému nasazení technologie imerzní virtuální reality do oblasti systémové analýzy stroje a k využití všech potenciálních přínosů, které zmíněná technologie nabízí. Dále byl vytvořen konkrétní metodický postup pro převod konstrukčních dat získaných od producentů výrobních strojů do prostředí virtuální reality a tento postup několikanásobně experimentálně prakticky ověřen.

Provedení pilotních analýz identifikace možných nebezpečí u portálového obráběcího centra FVC 160 výrobce STROJÍRNA TYC s.r.o. a slévarenského mísiče MGí 3.0 výrobce GIFOS s.r.o. prokázalo aplikovatelnost strategického přístupu navrženého v předkládané dizertační práci v praxi. Implementace vizualizačních a interakčních technik virtuální reality do oblasti identifikace rizik vede ke zvýšení transparentnosti celého procesu odhalování rizik a díky včasnému odhalování vývojových a konstrukčních chyb také k časovým a finančním úsporám.

5.1 TEORETICKÝ PŘÍNOS PRÁCE

V této dizertační práci je prezentováno doposud chybějící metodické rozpracování způsobů integrace vizualizačních a interakčních technik virtuální reality do oblasti identifikace rizik v počátečních fázích životního cyklu výrobních strojů.

Na základě analýzy metod pro management rizika orientovaný na konkrétní proces (v tomto případě životní cyklus výrobního stroje) a zohlednění i dalších aspektů působících na konstrukční proces, autor navrhl modifikaci doposud využívaného metodického postupu posuzování rizik strojních zařízení právě o technologie imerzní virtuální reality. Hlavním teoretickým přínosem integrace těchto technik je zvýšení transparentnosti celého procesu odhalování rizik, což

s sebou přináší i vyšší kvalitativní úroveň vstupů pro odhad rizika, který je v systému managementu rizika dalším navazujícím krokem na identifikaci rizika.

Důležitým teoretickým výstupem této dizertační práce je zevrubná analýza požadavků a návrh metodického postupu pro převod konstrukčního 3D CAD modelu do prostředí imerzní virtuální reality.

Dosažené výsledky předložené dizertační práce přispějí na půdě Ústavu výrobních strojů, systémů a robotiky Fakulty strojního inženýrství Vysokého učení technického v Brně k dalším vědeckým pracím věnujícím se preventivnímu zvyšování bezpečnosti a podpoře vývoje způsobitelných strojů (v oblasti požadavků kladených na jejich bezpečnost, spolehlivost a kvalitu).

Dílní teoretické výsledky této dizertační práce byly v letech 2009, 2010 a 2011 publikovány v rámci Závěrečných zpráv projektu výzkumného centra 1M0507 – Výzkum strojírenské výrobní techniky a technologie. Jednalo se o dílní projekty s názvy 1.2.4 – Rychlá automatická manipulace, 2.2.1 – Tvorba vhodných nástrojů pro podporu postprocesní a inprocesní kontroly jakosti v interakční soustavě stroj-nástroj-obrobek a 2.4.1 – Využití 3D - virtuální reality v analýze rizik a bezpečnosti strojů. Všechny tyto výzkumné zprávy byly oponovány a úspěšně obhájeny před vědeckou radou centra, zástupci Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy i externími recenzenty. V roce 2012 byly dílní výsledky dizertační práce publikovány v Závěrečné zprávě projektu Technologické agentury České republiky TE01020075 – Centrum kompetence - Strojírenská výrobní technika s názvem „Identifikace požadavků na efektivní práci v prostředí 3D imerzní virtuální reality“.

5.2 PRAKTICKÝ PŘÍNOS PRÁCE

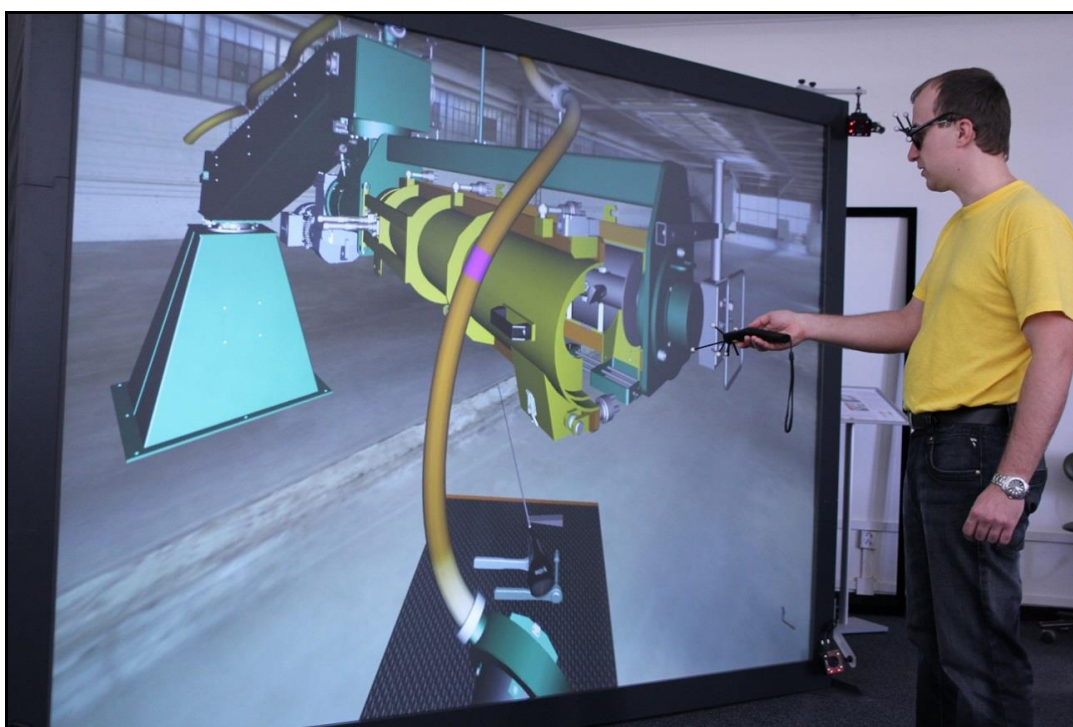
Praktické cíle předložené dizertační práce vyplynuly převážně z požadavků průmyslové sféry zastoupené tuzemskými výrobci obráběcích strojů TAJMAC-ZPS, a. s.; TOSHULIN, a. s.; TOS VARNSDORF a. s. a TOS KUŘIM – OS, a. s. Průmyslová sféra vnímá potenciál nasazení pokročilých technologií virtuální reality do konstrukčního procesu jako příspěvek k povýšení technické úrovně samotných výrobních strojů. Terčem její kritiky však byla absence metodického zpracování postupů pro efektivní převod konstrukčních 3D dat do prostředí imerzní virtuální reality. Protože se jednalo o problém velmi zásadní, byla mu v dizertační práci věnována značná pozornost. Navržená metodika přípravy 3D modelů pro IVR byla následně ověřena na reálných konstrukčních datech z praxe. Experimentální výsledky potvrdily její obecnou použitelnost.

Předložená dizertační práce má přímou návaznost na problematiku řešenou v rámci projektu FR-TI3/780 MPO ČR (program TIP) Podpora vývoje způsobitelných strojů. Součástí experimentů sloužících k ověření navržené strategie nasazení technologie VR v oblasti zajištění bezpečnosti výrobních strojů byly mimo jiné i studie proveditelnosti operací údržby.

U těchto virtuálních prototypů byly zavedeny i některé jejich fyzikální vlastnosti a následně byly analyzovány kolize mezi tuhými i pružnými částmi. Praktickým ověřením bylo zjištěno, že na stanovené rozlišovací úrovni, tyto simulace poskytují

přijatelně přesné výsledky. A to i přes to, že za současného stavu techniky nelze fyzikálně naprosto přesného chování v reálném čase dosáhnout.

Dalším požadavkem z průmyslové praxe bylo navrhnout účinné nástroje umožňující soustředit se již v rané fázi vývoje stroje na snižování rizika zranění pracovníků provádějících finální montáž stroje u zákazníka, případně provádějící servisní úkony přímo v prostředí provozu stroje. V rámci předložené dizertační práce byla tedy vyvinuta metodika umožňující implementaci reálných nástrojů a náradí do prostředí imerzní virtuální reality, včetně možnosti odhalování kolizí mezi reálnými nástroji a virtuálními objekty. Experimentální testování poté potvrdilo její praktickou aplikovatelnost. Konečným praktickým přínosem pak je snižování počtu úrazů při montážních operacích jejich vhodným plánováním a trénováním na virtuálním prototypu již před výrobou daného stroje.

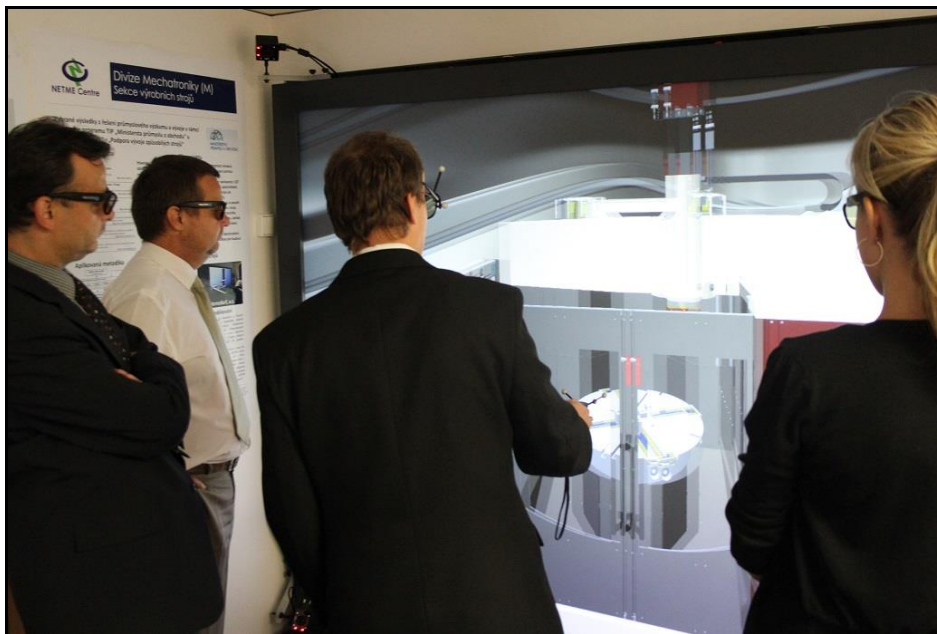


Obr. 5: Analýza proveditelnosti operací údržby u slévarenského mísiče

Navržená modifikovaná metodika posuzování rizik strojních zařízení byla společně s dalšími praktickými výstupy této dizertační práce, které přispívají k podpoře vývoje způsobilých strojů, prezentována v září 2012 na 54. Mezinárodním strojírenském veletrhu v Brně.

Na stánku společnosti TOSHULIN, a. s. byly prostřednictvím imerzní virtuální reality představeny tři stroje z redefinované produktové řady zmíněného výrobce svislých soustruhů. Jednalo se o virtuální prototypy svislých soustruhů řad BASICTURN, POWERTURN a FORCETURN. Prezentace probíhaly na mobilní stereoskopické stěně, která byla nainstalována přímo v expozici společnosti TOSHULIN, a. s. Zájem odborné veřejnosti, zástupců firem i tisku o prezentovanou technologii byl značný.

Autor se domnívá, že výsledek této dizertační práce přispěje k dalšímu kvalitativnímu zlepšení technik a postupů preventivního zvyšování bezpečnosti a spolehlivosti vyvíjených strojů, zejména pak obráběcích center, již v raných fázích jejich vývojového cyklu, což s sebou mimo jiné přinese i časové a finanční úspory oproti nutnosti několikrát upravovat již vyrobené reálné prototypy. Tyto úspory pak napomohou k dalšímu zvýšení konkurenceschopnosti tohoto odvětví našeho průmyslu.



Obr. 6: Prezentace praktických výstupů dizertační práce na MSV v Brně

5.3 PEDAGOGICKÝ PŘÍNOS PRÁCE

Využití obecných poznatků vyplývajících z této práce je zahrnuto do výuky technologií virtuální reality v předmětu bakalářského studia Stavba výrobních strojů a robotů. V současné době je zaváděn i nový předmět s názvem 3D modelování a virtuální realita do magisterského studia. Součástí výukové náplně tohoto předmětu budou zobrazené poznatky týkající se požadavků na přípravu modelů využitelných pro převod do prostředí IVR.

Přímou souvislost s řešenou problematikou má i několik bakalářských a diplomových prací. Uvedme například aktuálně řešenou bakalářskou práci na téma Návrh pracoviště obsluhy obráběcího centra, kde její autor, pan Jan Kříž, využívá závěry z ergonomických analýz prováděných v prostředí virtuální reality. Navrženou metodiku přípravy 3D modelů pro imerzní virtuální realitu pak aktuálně aplikuje ve své diplomové práci na téma Návrh frézovacího stroje v uspořádání horní gantry pan Bc. Jiří Cvejn.

Dosažené výsledky přispějí na pracovišti Ústavu výrobních strojů, systémů a robotiky FSI VUT v Brně k dalším dizertačním pracím zaměřeným na oblast virtuální a rozšířené reality. Autor je aktuálně školitelem specialistou dvou

doktorandů: Ing. Zdeňka Tůmy (téma: Využití technologie virtuální reality v mechatronických soustavách robotů) a Ing. Jana Augsteho, zabývajícího se využitím technologie Motion Capture v úlohách virtuální montáže.

V rámci publikační činnosti autora dizertační práce vznikl též článek s názvem *Einsatzmöglichkeiten der Virtual-Reality-Technik in der Universitätsausbildung von Ingenieuren*, zabývající se možnostmi nasazení technologií virtuální reality v univerzitním vzdělávání technických oborů. Spoluautorem tohoto recenzovaného příspěvku je i současný prezident Fraunhoferovy společnosti pan Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. E.h. Dr.-Ing. E.h. mult. Dr. h.c. Reimund Neugebauer.

6 ZÁVĚR

Předložená dizertační práce se zabývala otázkou možného využití technologie virtuální reality v analýze rizik a bezpečnosti výrobních strojů. Těžiště práce spočívalo v tvorbě virtuální realitou podporované identifikace rizika v časných vývojových etapách stroje, přičemž byly zmíněny dvě hlavní oblasti nasazení. První oblastí je využití virtuální reality při určování nebezpečných prostorů výrobních strojů. Jde tedy o asistenci expertovi provádějícímu systémovou analýzu výrobního stroje za účelem identifikace relevantních nebezpečí a to v rané vývojové fázi, daleko před výrobou reálného prototypu. Druhou oblastí je provádění analýz možných nebezpečí na rozhraní člověk-stroj v prostředí imerzní virtuální reality.

6.1 NÁMĚTY K DALŠÍMU ŘEŠENÍ

Kvůli velkému rozsahu a složitosti řešené problematiky zůstává stále poměrně značný prostor pro další rozšíření a zlepšení navržených metodických postupů.

Velmi vhodné by bylo doplnit dialogové prostředí imerzní virtuální reality o další grafické entity sloužící přímo pro dokumentaci postupu analýzy rizik v závislosti na aktuálně zvolené metodě. Zde má autor na mysli zejména formuláře pro dokumentaci zdrojů relevantních nebezpečí u strojních zařízení, kontrolní seznamy – checklisty, FMEA formuláře, indexaci jednotlivých faktorů pro analýzy typu Relative ranking a další vhodné doplňující textové údaje.

Dále by bylo možné rozšiřovat simulační možnosti virtuálních prototypů výrobních strojů zaváděním věrnějšího fyzikálního chování jejich komponent v reálném čase. V rámci předložené dizertační práce byla sice řešena problematika analýzy kolizí modelů tuhých i flexibilních těles, autor si je však vědom dalšího prostoru pro případná budoucí vylepšení. Cesta k těmto zlepšením vede přes zdokonalování a vývoj nových výkonnějších solverů.

Pozornost by zasloužila i problematika návrhu metodiky pro trénování operátorů a pracovníků údržby přímo v prostředí IVR. Toto téma by vhodně navazovalo na požadavky průmyslové sféry týkající se předcházení možným zraněním v průběhu montáže, provozu a servisu stroje. Některé předpoklady pro úspěšnou aplikaci virtuální reality v této oblasti byly již vytvořeny v rámci předložené dizertační práce.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Berta, J.: *Integrating VR and CAD*. IEEE Comp. Graph. Appl. 1999.
- [2] Blecha, P.: *Management rizik při zajišťování bezpečnosti strojních zařízení*. In Svět strojírenské techniky, ročník VII. / 3. vydání, SST Praha: 2009, ISSN 1803-5736.
- [3] Graf, H.; Brunetti, G.; Stork, A.: *A Methodology Supporting the Preparation of 3D-CAD Data for Design Reviews in VR*. In: Marjanovic, D. (Hrsg): *Proceedings of the 7th International Design Conference (DESIGN)*, Dubrovnik, Croatia, 2002, pp. 489-495.
- [4] Hlinovský, J.; Marek, J.; Blecha, P.; Mareček, J.: *Management rizik v konstrukci výrobních strojů*. MM publishing, s.r.o., Praha: 2009, ISSN 1212-2572.
- [5] Janíček, P.: *Systémové pojetí vybraných oborů pro techniky hledání souvislostí*. Vysoké učení technické v Brně: VUTIUM, 2007. 1230 s. ISBN 978-80-7204-55-6.
- [6] Jayaram, S.; Vance, J.; Gadh, R.; Jayaram, U.; Srinivasan, H.: *Assessment of VR Technology and Its Applications to Engineering Problems*. J. Comput. Info. Sci. Eng. 2001.
- [7] Kot, T.: *Využití virtuální reality při řízení servisních robotů pro bezpečnostní inženýrství*. Ostrava, 2011. 145 s. Dizertační práce. VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra robototechniky. Vedoucí práce prof. Dr. Ing. Vladimír Mostýn.
- [8] Neugebauer, R.; Weidlich, D.; Wegener, K.; Kunz, A.: *VR/AR-Technologien für die Produktion*. Technische Universität Chemnitz: 2008, ISBN 978-300-024677-7.
- [9] Neugebauer, R.; Pürzel, F.: *Eintauchen in die virtuelle Maschine - Risikobeurteilung mittels VR-Technologie*. ke next, 2012, Nr. 01, S. 141–143.
- [10] Novotný, T.; Blecha, P.; Blecha, R.; Tůma, Z.; Pavlík, J.; Bradáč, F.; Kolíbal, Z.: *Závěrečná zpráva projektu 2.4.1: Využití 3D - virtuální reality v analýze rizik a bezpečnosti strojů*. Výzkum strojírenské výrobní techniky a technologie. Praha: VCSVTT, 2011, 54 s. V-11-071. Výzkumná zpráva.
- [11] Vince, J.: *Introduction to Virtual Reality*. Springer: 2004. ISBN 1852337397.
- [12] Weidlich, D.; Cser, L.; Polzin, T.; Cristiano, D.; Zickner, H.: *Virtual Reality Approches for Immersive Design*. In *Annals of the CIRP* Vol. 56/1/2007. ISSN 0007-8506.
- [13] Žára, J.; Beneš, B.; Sochor, J.; Felkel, P.: *Moderní počítačová grafika*. Computer Press, a.s., Brno: 2004, ISBN 80-251-0454-0.

ŽIVOTOPIS

Osobní data:

Jméno a příjmení: Ing. Tomáš Novotný
Bydliště: Husova 449, 534 01 Holice
Telefon: +420 605 416 077
E-mail: novotny.t@fme.vutbr.cz
Datum narození: 4. 11. 1981

Vzdělání:

09/1997 – 06/2001 Střední průmyslová škola strojnická, Chrudim; obor: Technické lyceum.
09/2001 – 06/2006 VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství; obor: Stavba výrobních strojů a zařízení. Studium zakončeno titulem inženýr (Ing.).
09/2006 – dosud VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky; obor: Konstrukční a procesní inženýrství. Doktorské studium. Téma: Využití technologie virtuální reality v analýze rizik a bezpečnosti výrobních strojů.

Praxe:

2007 – dosud Akademický pracovník, VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky.
2010 – 2011 Vědecko-výzkumný pracovník, Výzkumné centrum pro strojírenskou výrobní techniku a technologii (VCSVTT), pracoviště na FSI VUT v Brně.
2011 – dosud Junior researcher, VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, NETME Centre.

Jazykové znalosti: německý jazyk, anglický jazyk

Další znalosti: Word, Excel, PowerPoint, Access, Autodesk Inventor, Visual Decision Platform a jiné.

ABSTRAKT

Dizertační práce je zaměřena na studium možností využití technologie virtuální reality v analýze rizik a bezpečnosti výrobních strojů. Hlavním cílem je analyzovat a prověřit možné způsoby pro integraci vizualizačních a interakčních technik virtuální reality do oblasti identifikace rizik v raných fázích životního cyklu výrobních strojů. Předkládaná práce přináší metodické rozpracování teoretického nasazení těchto technik v oblastech určení nebezpečných prostorů stroje, identifikace zdrojů možných nebezpečí a ověření aplikovaných opatření zabudovaných v konstrukci stroje.

Pro sestavení a optimalizaci navržených metodických postupů je využito systémového přístupu. Součástí řešení je návrh metodiky pro efektivní převod konstrukčních 3D dat do prostředí imerzní virtuální reality. To umožňuje překonat dosavadní bariéry pro rozsáhlejší nasazení technologií virtuální reality v průmyslové sféře.

V další části je navržen postup implementace reálných nástrojů a nářadí do prostředí imerzní virtuální reality, včetně možnosti odhalování kolizí mezi reálnými nástroji a virtuálními objekty. Experimentální otestování potvrzuje jeho praktickou aplikovatelnost. Konečným praktickým přínosem je snižování počtu úrazů při montážních operacích jejich vhodným plánováním a trénováním pracovníků na virtuálním prototypu, již před výrobou daného stroje.

Výsledek předložené dizertační práce je příspěvkem k dalšímu kvalitativnímu zlepšení technik a postupů preventivního zvyšování bezpečnosti a spolehlivosti vyvíjených strojů, zejména pak obráběcích center, který napomůže ke zvyšování jejich konkurenceschopnosti.

Vlastnosti navržených postupů jsou dokumentovány a verifikovány na konkrétních případech z průmyslové praxe.

ABSTRACT

The doctoral thesis introduces a study of possibilities for utilization of virtual reality technology in risk analysis and safety of production machines. The main goal of the thesis is to analyse and examine possible means of integrating visualization and interaction techniques of virtual reality into the risk identification process in the early stage of the production machine life cycle. The proposed work provides a methodological approach to the theoretical implementation of these techniques in the definition of dangerous areas of a machine, identification of sources of possible risks and verification of applied measures built-in in the machine structure.

A system approach is used for forming and optimizing the introduced methodological procedures. The solution includes the design of the methodology for effective transfer of 3D design data into immersion virtual reality domain. This enables overcoming existing barriers in exploitation of virtual reality technologies in industrial applications.

The next section introduces a procedure of implementation of real tools and equipment in immersion virtual reality domain, including an option for detection of collisions between the real tools and virtual objects. Experimental tests confirm its capability of practical utilization. The impact of the final practical contribution is shown by a decrease in the number of accidents during assembly work, due to its appropriate planning and thanks to training of the personnel on a virtual prototype, carried out already before the manufacturing of the actual machine.

The result of the presented doctoral thesis contributes to further qualitative improvement of techniques and methods for preventive increase of safety and reliability of developed machines, particularly of machining centres, which will help increase their competitiveness.

The properties of the designed procedures are documented and verified on real industrial cases.