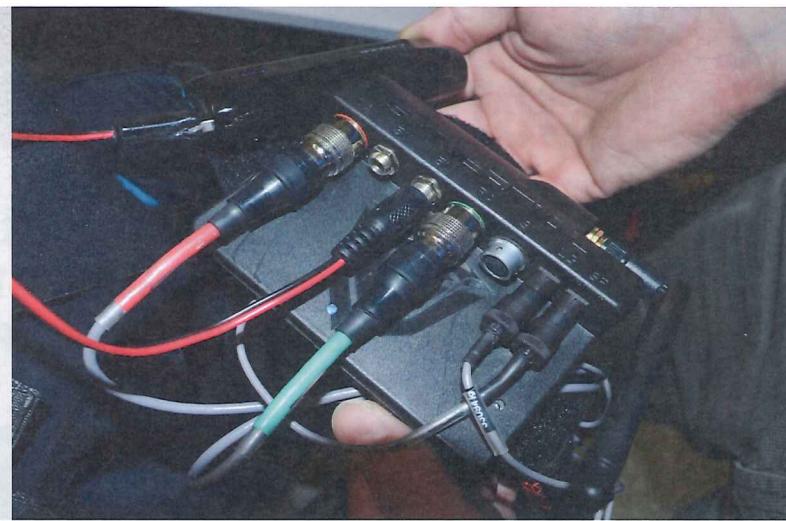
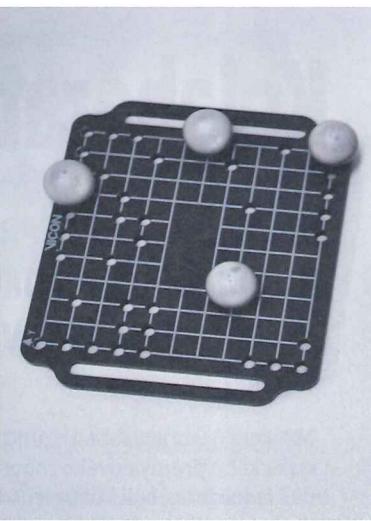




Inerciální rukavice Cobra Gloves se senzory



Zařízení pro komunikaci obleku s počítačem



Destička s markery a štítek

# Technologie na pracovišti je třeba přizpůsobovat potřebám

**NEDODRŽOVÁNÍ A PODCEŇOVÁNÍ ZÁSAD ERGONOMIE V PRAXI MŮže VĚST K CELÉ ŘADĚ ZDRAVOTNÍCH PROBLÉMŮ. LIBERECKÁ FAKULTA STROJNÍ SE PROTO HODLÁ VÍCE VĚNOVAT ERGONOMICKE ANALÝZE PRACOVÍŠT.**

Problematikou optimalizace pracovního prostředí důrazem na ergonomii, tedy interakci mezi lidmi a různými prvky pracovních systémů, se již řadu let zabývá katedra výrobních systémů a automatizace Fakulty strojní Technické univerzity v Liberci.

„Firmy si čím dál více uvědomují, že cílem již není pouze generovat zisk, ale také vytvářet a udržovat pracovní místa a společenské prostředí. Podporují tak udržitelný rozvoj, kupní sílu a společnost jako celek. Vnímají změny na trhu práce, kde si dnes zaměstnanec vybírá svého zaměstnavatele a čím dál více jeho rozhodování ovlivňuje kvalita pracovního prostředí, stres, firemní kultura apod. Proto je nezbytné vyhodnocovat kvalitu interakce člověka s pracovištěm, s prostředky na pracovišti a bezprostředním okolím,“ tvrdí vedoucí katedry Ing. Petr Zelený, Ph.D.

## PLÁNOVANÝ POHYB VERSUS SKUTEČNÝ

Liberecká fakulta strojní v rámci projektu OP VVV vybudovala Laboratoř analýzy pohybu. Jedním z důvodů je podle Petra Zeleného to, že se chtějí věnovat ergonomické analýze pracovišť a dalším aktivitám, mezi které patří třeba trekování automaticky řízených vozíků (AVG – automated guided vehicles) pro transport výrobků, které se pohybují v prostoru. Jde o vyhodnocování, jak se liší plánovaný pohyb od toho skutečného. Pak lze například lépe řídit výrobní procesy včetně manipulace s materiálem a udělat je efektivnější, spolehlivější a možná i levnější. Smyslem vědecké práce je podle něj analýza pohybů člověka a strojů jako podklad pro dosažení optimálních pracovních podmínek ve vztahu k anatomickým a výkonostním možnostem člověka.

„Věříme, že naše práce najde uplatnění i v průmyslové sféře při snaze podniků vytvořit efektivní pracovní místa a pomáhat předcházet zdravotním problémům souvisejícím s prací. Samozřejmě že ochota vynaložit náklady a úsilí na změnu je úzce svázána s kvalitou navrhovaných opatření, jistotou a přesvědčením, že takovéto změny

přinesou očekávaný efekt,“ konstataje dr. Zelený.

## ZÁZNAM 3D POHYBU PRO ANALÝZU

Ergonomická analýza pracovišť má vést k optimalizaci prostoru, kde se pohybují lidé. „Analýza snímaného pohybu člověka upozorní na poten-

disorders). Ty jsou v České republice druhou nejčastější příčinou pracovní neschopnosti.

## ANALÝZA POHYBU VE VIRTUÁLNÍM PROSTORU

Ergonomické aspekty lze z hlediska hygieny práce a hodnocení zátě-



Petr Zelený, vedoucí katedry výrobních systémů a automatizace Fakulty strojní Technické univerzity v Liberci

cíální problémy. Třeba na nějakém montážním pracovišti se sledují pohyby pracovníka při montáži. Pomocí speciálního softwaru se pak tyto pohyby analyzují, a získají se tak důležité informace, nedochází-li k nadměrné pracovní zátěži vlivem nesprávné pracovní polohy nebo užití velké svalové síly, když přirozená únavu může způsobit nějaký zdravotní problém. Může to být bolest zad nebo zápěstí. Pak je vhodné pracoviště upravit, například tak, aby člověk nezvedal těžké břemeno do příliš velké výšky a aby nemusel dělat ani zbytečné pohyby. Pokud bude taková analýza aplikována přímo v provozu, může zabránit nadměrnému zatížení člověka a následně i kolizi,“ říká vedoucí laboratoře analýzy pohybu Jan Vavruška a v této souvislosti uvádí, že podle údajů Evropské unie představují onemocnění svalů a pohybového aparátu zhruba 53 % nemoci z povolání.

V případě tohoto podmíněného muskuloskeletálního onemocnění, dochází nejprve k muskuloskeletálním potížím (MSD – musculoskeletal

žě vyhodnocovat na základě speciálních kontrolních listů (checklistů), kdy se pro každou předem vytípovanou pracovní polohu a zatížení vyplní set těchto listů. Vyhodnotí se však pouze vybrané pracovní polo-

Oblek je však pouze jedním z nástrojů pro zaznamenávání pohybu tzv. MOCAP (Motion Capture), který mají v Liberci k dispozici.

Inerciální oblek je možné doplnit o páry inerciálních rukavic Cobra Gloves, kde každá rukavice využívá 16 IMU sdružených senzorů.

hy z hlediska potenciálního nebezpečí, například nemoci z povolání nebo přetížení. Zjišťuje se, v jaké poloze má člověk ruce i nohy, záda, trup a hlavu, jak dlouho se pracovník nachází v nevhodné pracovní poloze a jaké síly na něj v pracovním procesu, případně při manipulaci s těžkými břemeny působí.

V liberecké laboratoři se ale zaměřují na druhou možnost, kdy je reál-

né pracoviště nahrazeno pracovištěm virtuálním. Provádějí zde kontinuální studie obvykle ještě v rámci návrhu designu výrobního procesu. „Pro takovou analýzu se dělají počítačové modely a simulační studie. My využíváme software Tecnomatix Jack nebo Process Simulate Human z digitální továrny od firmy Siemens. Simulační analýza se dělá obvykle tak, že se do konkrétních pozic ve virtuálním prostředí umísťí počítačová figurka – model člověka. S využitím pozic jeho rukou, nohou, trupu, hlavy pak ve speciálním softwaru programujeme požadované pohyby. Prakticky aktivujeme a polohujeme každý kloub včetně prstů u ruky. Vypadá to podobně, jako když filmář ohýbá každý prst zvláště u figurek známých kutilů Pata a Mata,“ přibližuje výzkumnou práci Jan Vavruška a upřesňuje, že biomechanické modely člověka – Jack či Jill – mají celkem 69 segmentů a 68 kloubů.

Se segmenty mohou vědci manipulovat ve dvou i třech osách. Mají tudíž možnost manipulovat celkem až se 135 stupni volnosti. Pro porovnání: „Průmyslový robot má obvykle jen 4–6 stupňů volnosti, a i to už je náročné naprogramovat,“ konstatuje doktor Vavruška a dokladuje tím, že metoda vyžaduje velkou přesnost a je velmi časově náročná. Pro její zrychlení se proto využívají určité základní výchozí pozice, které se dodařují pro konkrétní pracovní místo a činnost.

Nevýhodou metody je, že výsledné pohyby působí nepřirozeně, jsou hodně strojové a robotické. Velmi důležitá je přesnost programátora při polohování postavičky: „Důležité je,

člověka středoevropského nebo jiného typu, kupříkladu třeba typického Asiana. „Můžeme také použít konkrétního živého člověka a vytvořit postavičku s jeho antropometrickými údaji. Zadáme všechny údaje, včetně hmotnosti a případného handicapu, a můžeme tak řešit i situace, kdy se handicapovaný člověk na vozíku pohybuje po bytě a potřebuje dosáhnout na různé police. Tomu je potřeba přizpůsobit design nábytku.“

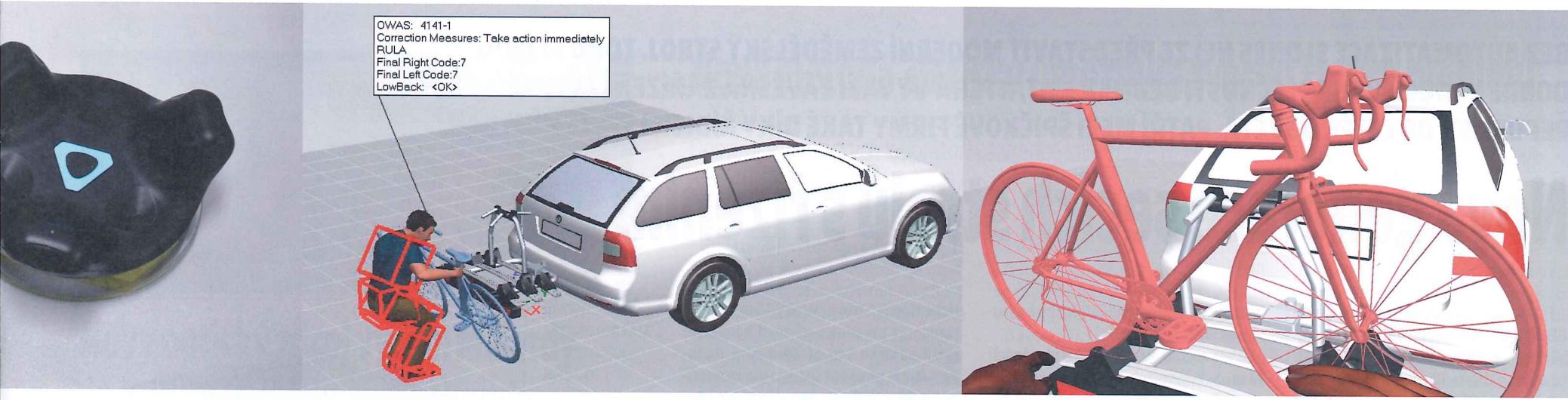
## ZKOUMÁNÍ PODPORUJÍ INERCIALE OBLEK A RUKAVICE

Pro analýzu pohybu člověka v omezeném prostoru využívají na liberecké fakultě strojní profesionální inerciální oblek od firmy AiQ Synertial z britského Sussexu. Model MS-4900 je vybaven sedmnácti IMU (inerciální měřicí jednotky) 6DoF tvořenými trojicemi senzorů (akcelerometr, magnetometr a gyroskop), které měří a hlásí specifické parametry, například gravitační sílu, účinky zrychlení, úhlovou rychlosť a dávají výzkumníkům informace o relativních pohybech jednotlivých částí obleku proti sobě. Díky tomu určují polohu těla ve vztahu k referenční poloze. Výhodou je, že se proband (jedinec, který je předmětem zkoumání) v tomto obleku pohybuje zcela přirozeně.

Oblek je však pouze jedním z nástrojů pro zaznamenávání pohybu tzv. MOCAP (Motion Capture), který mají v Liberci k dispozici. Inerciální oblek je možné doplnit o páry inerciálních rukavic Cobra Gloves, kde každá rukavice využívá 16 IMU sdružených senzorů. Lze tak detailně zaznamenat gesta, pohyby a pro ergonomické analýzy důležité úcho-pohyby rukou a pohyby jednotlivými prsty. Rukavice je možné využít samostatně nebo v kombinaci s dalšími systémy ve vybavení liberecké Laboratoře analýzy pohybu.

Inerciální systémy využívají pouze vzájemné polohy a pohyby IMU jednotek a pro potřeby simulační studie je třeba je ukotvit do souřadného systému jinou technologií pro lokalizaci v prostoru. „Když studenti využívají pouze oblek a po ulici projede auto se šrotom nebo blízko učebny zapnou elektrický stroj, ovlivní to magnetické pole a virtuální model postavy odploje do vesmíru,“ uvádí příklad Vavruška. Samostatně se tak inerciální systémy využívají jen ve vybraných aplikacích, například ve sportu.

Síří uplatnění nacházejí jako součást hybridního systému s více technologiemi. Proto mají v laboratoři FS TUL



Analýza nakládání jízdního kola s využitím nosiče kola na tažné zařízení automobilu

Vlastní pohled na připevněné kolo

# člověka, nikoliv naopak

hned několik MOCAP systémů. K dispozici je ještě optický systém od firmy Vicon, který umožňuje trekovat tzv. rigid body (pevné objekty). Jsou to destičky osazené kuličkami (markery) s fluorescenčním povrchem o průměru 12 mm. Tyto značky jsou umístěny na sledovaný objekt a umožňují záznam pohybu prostřednictvím soustavy kamer vyhledávajících markery

## Z FILMOVÝCH STUDIÍ DO LABORATORIÍ A VÝUKY

Podobné nástroje profesionální úrovně se dnes používají při natáčení filmů, kdy se pohybují herci ve studiu vybaveném systémem Motion Capture. Často mají body zájmu – kuličky nebo puntíky – i na obličeji a systém pak dokáže pracovat také s detaily obličejo-



Jan Vavruška, vedoucí laboratoře analýzy pohybu, s virtuálními brýlemi využívanými v rámci simulační studie

v IR pásmu. Značky je možné umístit specifickým způsobem také na oblek a opět v reálném čase trekovat hlavní pohyby člověka. Figurant se v takto vybaveném obleku pohybuje v prostoru pod kamery, které snímají fluorescenční kuličky a systém zároveň pomocí trigonometrie vypočítává jejich polohu ze záběrů několika kamer. Pokud se ale ve sledovaném prostoru virtuální výrobní halu pohybuje více lidí a kamery snímají jejich pohyby při práci, mohou terčíky v určité chvíli zakrývat. Proto jsou používány soustavy kamer s různými úhly pohledu umístěné často z nadhledu. Tím se snižuje možnost zakrytí terčíků a zachová se i kontinuita dat.

„Systém nepočítá s celým obrazem, ale vyhledává v infračerveném obrazu fluorescenční kuličky. Dokáže tak zaznamenat a vyhodnotit až 330 záznamů s polohou všech rigidních objektů za sekundu. Abychom objekt (terčík) dokázali najít a zorientovat v 3D prostoru, potřebujeme minimálně dva vektory, tedy tři kuličky. Přidáváme ale i čtvrtou kuličku a díky tvaru obrázek, který společně tvoří, a vzdálosti mezi nimi dokážeme lépe identifikovat jednotlivé terčíky. Navíc v případě, že se jedna kulička dočasně zakryje, zůstává stále dostatečná suma dat. Podle toho, kolik máme kamer, obsáhneme i různě velký prostor. Čím více kamer, tím lépe,“ přibližuje způsob sledování dr. Vavruška.

vé mimiky. Tako vznikly už stovky filmů jako „Avatar“, „Piráti z Karibiku“, „Hobit“ a další.

MOCAP se také hodně využívá v herním průmyslu. „Díky tomu, že se začal používat v této oblasti, mají systémy intenzivnější vývoj a staly se dostupnějšími i pro nás. Nepřicházíme s novou technologií, aplikujeme její nové využití pro oblast výzkumu a pro výuku, konkrétně v předmětu „Digitální podnik a řízení výrobních systémů“. Snažíme se také co nejvíce přiblížit potřebám průmyslové praxe, tedy dostat relevantní Motion Capture data do softwaru využitelného pro ergonomické analýzy výrobních procesů. V minulosti jsme experimentovali s herními systémy Kinect nebo HTC VIVE a rozhodli jsme se pořídit i zmíněný profesionální systém. Každé zařízení má své výhody i nevýhody. My je porovnáváme, vyhodnocujeme jejich vhodnost pro konkrétní použití a hledáme i nové kombinace využitelné v praxi,“ říká dr. Vavruška. Věří, že o tyto postupy budou mít zájem i průmyslové podniky, které chtejí své výrobní postupy a prostory optimalizovat.

## OD ARMÁDY PŘES VĚDU DO DALŠÍCH OBLASTÍ

Do oblasti vědy a výzkumu pronikly tyto systémy nejprve přes armádní specializace, které následovaly medi-

cínské aplikace. Uplatnění našly v laboratořích pro analýzu chůze, diagnostice při fyzioterapii, rehabilitaci, v operativě pro navigaci operačního robota, při školení a tréninku lékařských odborníků. A rozšířily se i do dalších oblastí. V rámci sportovní medicíny, fyzioterapie, pohybové mechaniky se MOCAP stal nedílnou součástí profesionálního sportu. Se zvyšující se dostupností se z vojenské oblasti rozšířily také do civilní robotiky, kde se zaměřují především na mobilní roboty a speciálně na bezpilotní letecké prostředky UAV. Dále do civilního letectví, automotive a logistiky, kde se rozvíjí především oblast ergonomie pracoviště a produktu.

## ZAPOUJUJÍ SE STUDENTI

Do vědecká práce se zapojí také studenti, když budou vytvářet vlastní studie. Ukazuje se, že to je pro ně lákavé a zajímavé téma, protože mohou rozvíjet své zkušenosti a znalosti z herního průmyslu a dávat jim užitečný smysl.

Praktické využití ergonomické analýzy již řeší ve své diplomové práci Bc. Tomáš Kvasnička, když ve virtuální realitě porovnává nakládání jízdního kola s využitím nosiče kola na tažné zařízení automobilu s nakládáním kola na střešní nosič automobilu. „Pro lepší komfort při zdolávání nástrah moderních nástrojů připevníme tažné zařízení místo



Tomáš Kvasnička ve virtuální realitě porovnává nakládání jízdního kola na nosiče montované na tažné zařízení a na střešní nosič automobilu

na auto na stůl v laboratoři, přidáme nosič na kola a hodnotíme ergonomii nosiče i procesu nakládky a vykládky kola na auto. Chceme analyzovat pohyb člověka. Zkoušíme kalibravit oblek, aby nasnímaná data byla kontinuální a reálná. Hlavním cílem je popsat a porovnat různé přístupy k ergonomické simulační studii

se zaměřením na využití různých MOCAP systémů. Proto se nesoustřídíme pouze na virtuální realitu a obě situace modelujeme v laboratoři také fyzicky. Jako bonus zkoušíme aplikovat i rozšířenou realitu AR (*augmented reality*). Už dnes ale poznávám, že čím je systém komplexnější, je také náročnější. Zatím odhalují řadu úskalí při snaze propojit celou

Vzhledem k tomu, že se MOCAP používá v medicínské oblasti, mohli by laboratoře využívat i studenti Fakulty zdravotnických studií TUL nebo katedry tělesné výchovy. Pro konstruktéry je zajímavá oblast virtuálního zprovoznění strojního zařízení.

## RÝSUJÍ SE DALŠÍ MOŽNOSTI VYUŽITÍ LABORATOŘE

Liberecká fakulta strojní podle dr. Zeleného počítá i s dalšími možnostmi využití laboratoře. Software Vicon totiž nabízí výhody špičkových algoritmů pro snímání pohybu, přesnou kalibraci či robustní sledování v reálném čase. Umožňuje také treko-

ných oborech. Jenom na TU v Liberci je řada možností, kde může nalézt své uplatnění.

Na fakultě strojní již tento systém sledování využili pro analýzu řízení autonomních vozíků AGV a studenti se ve svých bakalářských a diplomových pracích s jeho využitím věnují problematice řízení bezpilotních leteckých prostředků UAV. Vzhledem

k tomu, že se MOCAP používá v medicínské oblasti, mohli by laboratoře využívat i studenti Fakulty zdravotnických studií TUL nebo katedry tělesné výchovy. Pro konstruktéry je zajímavá oblast virtuálního zprovoznění strojního zařízení.

Živým tématem je vzdálená, tzv. asistovaná údržba a servis a technologové mohou využít animace člověka pro virtuální návodky. „Ve vzdálená se snažíme uplatnit virtuální prostředí při výuce programování a obsluhy CNC strojů nebo v kurzech „Řízení výrobních systémů“ a „Strojírenská technologie“, kde vytváříme virtuální stroje a celou dílnu v prostředí herního engine Unity 3D,“ říká dr. Zelený. Odkažuje se přitom na mezinárodní projekt „Pokrok.digital“, který liberecká fakulta strojní realizovala v letech 2017–2019 společně s Technische Universität Dresden, Univerzitou Jana Evangelisty Purkyně v Ústí nad Labem a Technische Universität Bergakademie Freiberg. Cílem projektu bylo společně vygenerování didakticky podložených koncepcí a pilotních řešení profesně technického vzdělávání na německých a českých vysokých školách v oblasti výrobní techniky. Studenti obou zemí v rámci projektu procházeli simulační hrou a rozvíjeli tak prakticky orientované profesní a technické kompetence s podporou digitálních médií. „My jsme využívali některé projektové animace a rozložení prostoru ve virtuální realitě. V budoucnu chceme na tento projekt navázat, aby se studenti naučili CNC stroje ovládat ve virtuální realitě a s ohledem na ergonomii,“ uzavírá dr. Vavruška.

Jaroslava Kočárková