

# Nebezpečí přetěžování pohybového aparátu v souvislosti s použitím moderních technologií, technologických inovací a možnosti jeho eliminace



©2021

Tento výsledek byl finančně podpořen z institucionální podpory na dlouhodobý koncepční rozvoj výzkumné organizace na léta 2018–2022 a je součástí výzkumného úkolu **04-2020-VÚBP Prevence muskuloskeletálních poruch v důsledku manipulace s břemeny – správná manipulace s břemeny u specifické vybrané skupiny zaměstnanců**, řešeného Výzkumným ústavem bezpečnosti práce, v. v. i., ve spolupráci s HSEF s.r.o., v letech 2020–2021.

**Obsah:**

<b>OBSAH:</b> .....	<b>2</b>
<b>1 ÚVOD DO PROBLEMATIKY</b> .....	<b>3</b>
<b>2 HLAVNÍ TRENDY MODERNÍCH TECHNOLOGIÍ SOUVISEJÍCÍCH S POHYBOVÝM APARÁTEM</b> .....	<b>4</b>
2.1 ERGO WEARABLES - NOSITELNÉ SENZORY PRO HODNOCENÍ ERGONOMIE POHYBU.....	4
2.2 AI - UMĚLÁ INTELIGENCE VYUŽÍVAJÍCÍ POČÍTAČOVÉ VIDĚNÍ .....	5
2.3 EXOSKELETY A EXOSUITY .....	6
2.4 KOLABORATIVNÍ POMOCNÍCI – KOBOTI.....	6
2.5 VR & AR.....	7
<b>3 EXOSKELET</b> .....	<b>9</b>
<b>4 KOBOT (COBOT - COLLABORATIVE ROBOT/ KOLABORATIVNÍ ROBOT)</b> .....	<b>12</b>
<b>5 VR (VIRTUÁLNÍ REALITA) A AR (ROZŠÍŘENÁ REALITA)</b> .....	<b>14</b>
<b>6 STRUČNÉ SHRUTÍ PROBLEMATIKY</b> .....	<b>18</b>
<b>7 ZDROJE INFORMACÍ</b> .....	<b>19</b>

## 1 Úvod do problematiky

Technologický pokrok a inovativní požadavky vytvářejí neustálé změny v pracovním prostředí. Jednotlivé trendy a inovace vycházejí z rozvoje informačních a komunikačních technologií, z požadavků na snižování výrobních nákladů, zvyšování kvality a efektivity výroby a schopnosti rychlé změny produkce při současném dodržení požadavků na bezpečnost a zdraví zaměstnanců. Vývoj a implementace zcela nových technologií a zařízení a inovativní změny stávajících zařízení a pomůcek sebou přinášejí nutnost re-designu a tvorby nových ergonomických standardů. Především v případě zcela nových technologií nebo zařízení je nutné se zaměřit nejen na stránku technologie, inovativnosti a momentálního přínosu, ale také na celkové hodnocení jejich vlivu na bezpečnost, zdraví zaměstnanců a ergonomické kvality pracovních podmínek.

Podíváme-li se na současnou situaci v oblasti průmyslové výroby, zjistíme, že většina činností a pracovních procesů je realizována „tzv. operátory výrobních linek“, kteří při své činnosti užívají různé typy strojů, zařízení a počítačového vybavení. Pracovníci na výrobních linkách jsou podle charakteru výrobních procesů zatěžováni různými faktory od fyzicky a pohybově náročných pracovních činností až po činnosti se zvýšenou psychickou zátěží. Jednotlivé činnosti jsou vykonávány při různých pracovních pozicích (v sedě nebo stojí) a různém pracovním tempu. Přesto, že je řada úkonů na první pohled automatizována, dochází při nich mnohdy k výraznému namáhání pohybového aparátu a zraku, což způsobuje pocit únavy z monotónnosti a pohybové obtíže, které jsou mnohdy doprovázeny



bolestí v ramenou, pažích, zádech a dolních končetinách. Přestože se to na první pohled nezdá, složitost současné práce „operátorů výrobních zařízení“ spočívá v nutnosti správné obsluhy zařízení a pracovních pomůcek, nutnosti dodržení mnohdy vysokých standardů kvality při současném zachování pracovního tempa, práce a zpracování množství výrobních informací/ dat a při zachování kontinuity komunikace s ostatními zaměstnanci či nadřízenými.



Obdobnou situaci můžeme sledovat také v oblasti „duševní práce“ – v kancelářích při použití výpočetní techniky a různých automatizovaných systémů. Na rozdíl od „operátorů výrobních linek“ jsou „operátoři počítačových stanic“ sice vystaveni velmi nízké fyzické zátěži spojené například s manipulací břemen, ale v ostatních ohledech jako je zraková zátěž, monotónnost, setrávání ve statických pozicích a nutnosti zpracování množství informací/ dat při zachování složité komunikace s ostatními zaměstnanci

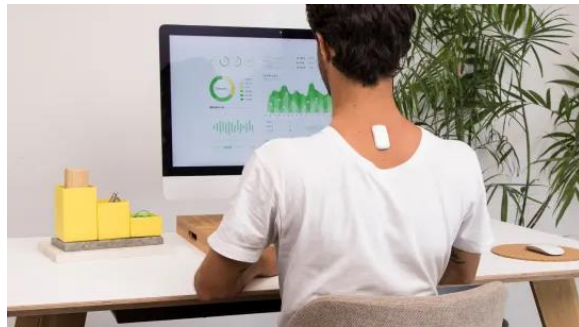
je celková zátěž velice podobná. Na rozdíl od „operátorů výrobních linek“ se v oblasti duševní práce stále více prosazuje model virtuální/ počítačové komunikace/ remote work/ teleworking/ homeoffice se „vzdálenými“ kolegy či nadřízenými, který eliminuje úroveň přirozeného pohybu a psychosociálních interakcí a zvyšuje celkovou úroveň zátěže.

## 2 Hlavní trendy moderních technologií souvisejících s pohybovým aparátem

### 2.1 Ergo Wearables - Nositelné senzory pro hodnocení ergonomie pohybu

Objektivní analýza pohybu při výkonu pracovních činností je jedním z hlavních nástrojů Ergonomické analýzy jako takové. Současný technický vývoj a trend nositelných senzorů se objevuje nejen ve světě fitness, zdraví a telemedicíny, ale také v oblasti ergonomie. Nositelné senzory mohou být dnes také použity pro sledování pohybu těla při výkonu různých pracovních činností. Některé typy senzorů jako například EMG (Elektromyografie – sledování činnosti svalů) existují již řadu let. Současné inovaci tkví v tom, že tyto senzory můžeme vybavit dalšími měřicími jednotkami a vytvořit tak komplexní měřicí systém. Senzory mohou sledovat zaměstnance krátkodobě při výkonu pracovního úkolu nebo dlouhodobější činnosti v rámci pracovní směny. Senzory jsou navrženy tak, aby pomohly sledovat například nepřirozené/ chybné postavení těla nebo některých jeho segmentů nebo řadu dalších fyziologických veličin jako je srdeční tep, dechová aktivita nebo elektrická aktivita svalů pomocí které můžeme například určit velikost síly konkrétních svalů při výkonu činnosti.

Tyto senzory nalezneme povětšinou pod společným názvem IMU. IMU (Inerciální měřicí jednotky) jsou elektronická zařízení, která měří úhlovou rychlost, orientaci a postavení jednotlivých částí těla pomocí kombinace akcelerometrů, gyroskopů, magnetometrů. Jak již bylo uvedeno IMU mohou být kombinovány s dalšími senzory pro měření různých fyziologických veličin. Nejjednodušším příkladem použití těchto senzorů jsou různé fitness náramky, hodinky, pohybové a sport trackery, které mohou sledovat váš pohyb, počet kroků nebo postavení určité vybrané části těla, jak tomu bylo například u aplikace Upright GO.



*zdroj: www.uprightpose.com*

Jejich profesionální aplikace umožňují sledovat například postavení jednotlivých částí těla nebo kloubů ve všech osách s přesností na desetiny úhlových stupňů a mohou tak být použity k přesným ergonomickým měření a hodnocení pohybové zátěže. Technologie spojené s použitím IMU jednotek se v současnosti prozatím uplatňují více v rámci odborných medicínských aplikací a jsou využívány lékaři a fyzioterapeuty než v oblasti ergonomie práce. Masivnějšímu rozšíření této technologie prozatím chybí systémový aparát a aplikace, které by mohly zjednodušit jak proces získávání, tak i analýzy dat pohybového aparátu.

## 2.2 AI - Umělá inteligence využívající počítačové vidění

Ve snaze zajistit stále lepší úroveň bezpečnosti a ochrany zdraví při práci se vyvíjejí technologie, které by tuto oblast pomohly zlepšit. Vhodné technologie zpracování dat a jejich hodnocení pomocí umělé inteligence a strojového učení umožňují uživateli posoudit vykonávanou operaci nebo úkol pomocí videozáznamu prostředí nebo prováděné činnosti, aniž by na tělo zaměstnance musely být umístěny nějaké senzory nebo zařízení. Tyto systémy se nejvíce aplikují ve velkých průmyslových podnicích v oblasti bezpečnosti. Současné vývojové trendy, rozšiřují pole působnosti AI systémů také do oblasti ergonomie.

Existuje již řada aplikací, které umožňují sledovat a hodnotit některé ergonomické parametry při vybraných pracovních činnostech. Tradiční hodnocení pohybové zátěže prostřednictvím pozorování a analýzy tužka-papír je tedy nahrazováno technologií. Technologie AI-Ergonomické analýzy využívá videotechniky, výkonných počítačových systémů a umělou inteligenci k analýze pohybů a chování lidského těla. Vlastní vyhodnocené pohybových a ergonomický parametrů záleží ale na řadě různých faktorů, včetně faktoru vnějšího prostředí, které je nutné do systémů dodat. Každý takový systém potřebuje tedy množství základních dat, pomocí kterých se může učit a následně rozhodovat co je správné a co se nachází již mimo povolené limity.

V současnosti se tyto aplikace začínají využívat především v oblasti manipulace s materiálem a logistice. Přesnost těchto aplikací umožňuje prozatím jen přehledové/zjednodušené analýzy bezpečnostních a pohybových rizik, ale je jen otázkou času a úrovně technologického vývoje, kdy tyto aplikace budou moci zvládat i detailnější ergonomické analýzy a pomáhat tak zlepšovat pohybové zdraví a eliminovat potenciální rizika přetěžování pohybového aparátu a nebezpečí vzniku MSD.



*zdroj: ohsonline.com*

### 2.3 Exoskelety a Exosuity

Dlouhodobým cílem prevence a ochrany zdraví při výkonu pracovních činností je výrazně snížit míru rizika spojeného s přetížením a poruchami pohybového aparátu vznikajícími při manipulaci s břemeny. Automatizace a robotika obecně usnadnily zaměstnancům manipulaci s materiálem. Technologie jako jsou Exoskelety a Exosuits – Exoobleky posouvají možnosti individuální pomoci při manipulaci s břemeny ještě dál. Exoskelety a Exosuity jsou velmi rychle rozvíjející se myšlenkou. Existuje řada různých modifikací těchto zařízení – pasivní, aktivní, nosné, sloužící k podpoře výkonu svalové činnosti, celotělové nebo pro podporu určitých částí těla. Častěji se začínají prosazovat řešení, která zcela eliminují potenciální přesun zátěže z jiných částí těla na konstrukci Exoskeletu nebo Exosuitu a pomáhají odstraňovat zátěž pohybového aparátu.



*zdroj: ohsonline.com*

### 2.4 Kolaborativní pomocníci – Koboti

Až dosud byli používáni ve výrobě většinou "hloupí roboti" - to znamená, že naprogramované stroje byly navrženy tak, aby vykonávaly opakující se úkoly, které byly spojeny s nějakou formou vysokého rizika nebo nebezpečí ať už se jednalo o vysokou hmotnost dílů, teploty, záření, nebezpečí popálení nebo potřísnění nějakou látkou. Jejich instalace byla většinou časově a prostorově náročná a tato zařízení byla navržena a naprogramována na velmi omezený soubor činností. Z jejich pracovního dosahu bylo z bezpečnostních důvodů nezbytně nutné zcela vyloučit přítomnost osob.

S měnící se strukturou výroby a zrychlujícím se cyklem životnosti výrobků je nutné se novému trendu přizpůsobit, a právě Koboti jsou jedním z možných technologických řešení, které může v budoucnu tomuto novému procesnímu trendu výroby pomoci.



*zdroj: kuka.com*

První Koboti byli uvedeni do praxe v roce 2008 a představují relativně novou kategorii průmyslových robotů. Na rozdíl od tradičních robotů, které musí být umístěny samostatně mimo pracovní prostor osob a obvykle jsou odděleni nějakým typem plotu nebo ochranných bariér, Kobot je vyvinut pro bezpečnou interakci a práci s lidmi.

Podle výrobců těchto zařízení potřebují uživatelé méně času a peněz na instalaci a programování aplikací s těmito "pomocnými roboty" a Kobot lze snadněji přesouvat z jednoho místa na druhé tak, aby mohli pracovat na různých úkolech, na rozdíl od konvenčního průmyslového robota, který musí zůstat na jednom místě a může být použit pouze pro konkrétní úkol který vykonává ve vyhrazené robotické buňce.

Koboti mají za úkol poskytovat mnohem větší flexibilitu. Mohou zvládat rozmanitější úkoly které se liší od jednoduchých aplikací pro manipulaci s díly, třídění a paletizaci až po montáž dílů, vychystávání objednávek, balení a testování. Mohou podle použitých přídatných zařízení pomoci aplikovat lepidlo a tmely, sestavit nebo rozebrat díly, měřit, testovat, kontrolovat nebo převzít určité montážní operace. Tato spolupracující robotická pomoc by měla přinést zaměstnancům i zaměstnavatelům řady výhod. Zaměstnanci by tak nemuseli vykonávat monotónní, fyzicky náročnou nebo dokonce nebezpečnou práci, ale s podporou Kobotů by se mohli soustředit na své základní schopnosti a dovednosti a činnosti s přidanou hodnotou.

## 2.5 VR & AR

VR (virtuální realita) a AR (rozšířená realita) jsou technologie, které si postupně nacházejí své uplatnění ve všech oborech lidské činnosti. Své využití našly již také v oblasti vzdělávání a přípravy zaměstnanců, a to jak v oblasti bezpečnosti práce, tak i ochrany zdraví a oblasti ergonomie.

Existuje již řada aplikací a použití v oblasti technologie VR, které umožňují dosáhnout větší interaktivity a praktičnosti s ohledem na obsah školení a jeho celkovou nákladovost. Princip virtuální reality umožňuje simulovat situace, které by v reálných podmínkách mohly být nebezpečné, nebo kde je nutné zajistit výkon určitých činností, kterým se má školená osoba naučit – jako např. simulace ovládání bagru, lesních strojů, dronu, některých bezpečnostních zařízení nebo pomůcek. VR a AR lze s velkou výhodou použít všude tam, kde je školení založeno na procesních základech a dodržování určitých postupů nebo úkonů při výkonu činnosti, nebo ovládání technologie je spojeno s vizuálním počítačovým rozhraním.

VR nebo AR aplikace můžeme vidět při školeních v oblasti:

- rozpoznávání rizik,
- procesní učení kritických postupů,
- procesní učení při eliminaci nebezpečných událostí,
- řešení nouzových situací,
- školení při ovládání určitých typů strojů a zařízení,
- prvotní nácvik ovládání VZV, bagrů, zemních strojů, zakladačů, lesních strojů atd. ,
- prvotní nácvik pracovních postupů a kontroly kritických míst při sváření a pájení,
- školení bezpečnosti práce při ovládání zařízení a strojů využívajících k ovládání kamer a interaktivních ovladačů jako jsou manipulátory, jeřáby, nakládací ramena,
- školení v oblasti manipulace s břemeny,
- některé typy školení o ochraně při práci ve výškách a ochraně proti pádu. Tento typ školení se využívá především tam, kde je potřeba upozornit na kritické místo ztráty rovnováhy nebo nebezpečí pádu při nedodržení stanovených postupů.

Podle obecných doporučení se užití VR v oblasti BOZP a ochrany zdraví zaměřuje především na počáteční fáze školení určené k seznámení se s problematikou a základními postupy a vytvoření mezikroku mezi teoretickým školením v učebnách a praktickým nácvikem činností v terénu. Školení pomocí VR technologií v oblasti BOZP nemá zatím ambice nahradit praktické tréninky a nácviky pracovních činností.

Základním principem použití VR aplikací je v současnosti jednoduchost. Možnost účastníka školení setrvat na jednom místě, ze kterého provádí nácvik činnosti a využití VR aplikací v průběhu krátkého časového úseku obvykle 5 – 10 min. Obecně provedené studie ukazují, že současné používání VR technologie by nemělo překročit dobu 20 minut. VR technologie lze také s výhodou využít pro účely prvotního testování a ověření znalostí účastníků školení předtím, než na školení nastoupí. Cílem je zjistit současný stav znalostí a způsobů chování a na základě nich stanovit konkrétní cíle tréninků a školení a zvýšit tak jejich celkovou efektivitu.

Z pohledu ergonomie práce a ochrany zdraví má prozatím použití a rozšíření AR a VR technologií řadu omezení, která jsou v mnoha případech limitována použitou technologií pro tvorbu VR aplikací a prezentační technologií, která zajišťuje interakci mezi školenou osobou a VR prostředím.



### 3 Exoskelet

Komerční trh s technologiemi, které umožňují zlepšit pohyb člověka, snižují pracovní zátěž a zvyšují výkonnost člověka na pracovišti, se neustále rozšiřuje. V současné době existuje široká škála zařízení, která poskytují podporu pracovních činností především pro manipulaci s břemeny. Zařízení jsou navrhována pro podporu celého těla, nebo pouze jeho některých částí jako jsou dolní končetiny a horní končetiny.

Slovník Merriam-Webster definuje Exoskelet jako "nositelnou, externí mechanickou nosnou strukturu". Jedná se o technické zařízení, které zvyšuje lidskou výkonnost zvyšováním síly, vytrvalosti a dalších fyzických schopností především zdravých nebo tělesně zdatných jedinců. Exoskelety jsou nositelná zařízení, která pracují v tandemu společně s uživatelem. Opakem Exoskeletového zařízení by byl autonomní robot, který pracuje místo člověka/ pracovníka. Exoskelety jsou umístěny na těle uživatele a působí jako zesilovače, které zvyšují, posilují nebo obnovují lidskou výkonnost a svalovou činnost. Protikladem Exoskeletu by byla mechanická náhrada/ protéza, například robotická paže nebo noha, která nahrazuje původní část těla a sama vytváří mechanické síly.

Exoskelet může být použit například k tomu, aby pomohl držet, zvedat a manipulovat těžká břemena, redukovat váhu těžkých nástrojů nebo pomohl při práci v pohybově zatěžujících pozicích (práce s rukama nad hlavou).

V současnosti jsou Exoskelety klasifikovány jako aktivní nebo pasivní:

- Pasivní Exoskelety neobsahují snímací zařízení a aktivní prvky podpory nebo tvorby síly (akční členy). Přirozený lidský pohyb vytváří energii, která pohání zařízení prostřednictvím použitých materiálů a pasivních prvků jako jsou pružiny nebo tlumiče.
- Aktivní Exoskelety naopak obsahují snímací a aktivní prvky. Zařízení je napájeno prostřednictvím aktivních pohonů, jako jsou elektromotory, pneumatika, systémy pák, hydraulických jednotek, nebo kombinací dalších technologií.

Pomocí Exoskeletu pak můžeme podporovat celé tělo, určitou skupinu kloubů nebo pouze jeden kloub (například dolní část těla, kyčle, kolena, kotníky a bérce, záda, horní končetiny, ruku a předloktí). Exoskelety mohou být vyrobeny z tuhých materiálů, jako je kov, uhlíková vlákna nebo tvrdé plasty, nebo mohou být vyrobeny výhradně z měkkých a elastických částí.



*zdroj: Ottobock Paexo Back Exoskelet*

Z pohledu použitých materiálů, konstrukce a použité technologie můžeme Exoskelety rozdělit na:

- Pevné Exoskelety mají většinou tuhé části z kovu nebo pevných materiálů, které se využívají částečně jako oblek pracovníka. Konstrukce pevného Exoskeletu obsahuje pevný rám a tuhé konstrukce funkčních částí. V mnoha případech je samostatný pohyb osoby v pevném Exoskeletu velmi omezený a namáhavý. Pevné Exoskelety se proto nejvíce používají u aktivních typů zařízení.
- Měkké Exoskelety - (Exosuity) mají lehčí, měkkou konstrukci. Bývají vyrobeny výhradně z měkkých a elastických částí, které opět slouží jako pracovní oblek, který obsahuje funkční části Exoskeletu. Pohyb v takovém obleku je daleko jednodušší a tento typ obleku může být využit jak pro pasivní, tak i aktivní verze.
- Speciálním případem Exoskeletů mohou být mobilní nebo pevné/ kombinované Exoskelety, které se obvykle využívají v medicíně, oblasti rehabilitací a také v oblasti protetických náhrad. V případě medicínských aplikací se v současnosti nejvíce využívají aktivní Exoskelety, které pomocí řady senzorů a motorických pohonných jednotek usnadňují nebo podporují pohyby těla nebo končetin, což uživatelům umožňuje pohybovat se rychlostí mezi 1-2 km v hodině nebo lépe vykonávat každodenní praktické činnosti.



*zdroj: Suit X aktivní Exoskelet*

Základní principy Exoskeletů jako pracovní pomůcky jsou specifikovány jako zařízení zajišťující:

- snížení pohybové zátěže a eliminaci muskuloskeletálních poruch,
- zvýšení produktivity a celkové výkonnosti,
- zlepšení kvality práce,
- zvýšení produktivní doby pracovníků,
- zlepšení celkových zdravotních podmínek při výkonu práce, především v oblasti manipulace s břemeny.

Podle obecných specifikací a některých provedených studií zaměřených na svalovou aktivitu (úsilí), svalovou únavu a zatížení páteře bylo zjištěno, že:

- pasivní zařízení, která pomáhají při dynamickém zvedání, snižují svalovou aktivitu o 10 až 40 procent, snižují zatížení páteře o 23 až 29 procent a snižují celkovou svalovou únavu,
- pasivní zařízení, která pomáhají při statickém ohýbání trupu, snižují svalovou aktivitu o 10 až 25 procent a zatížení páteře o 12 až 13 procent,
- pasivní zařízení podporují zvýšení výkonu při provádění opakovaných činností velkého rozsahu (např. při přerovnávání materiálu)

Provedené studie zkoumající činnost pasivních Exoskeletů však upozornily i některé neočekávané fyziologické důsledky jejich použití jako např.:

- nutnost řízeného zácvičku před použitím Exoskeletu,
- zvýšení aktivity jiných svalových skupin a kloubů, konkrétně kloubů dolních končetin,
- zvýšený výdej energie pro plnění pracovních úkolů,
- snížený nebo omezený rozsah pohybu,
- celkové ztížení pohybu především při vykonávání drobných pohybů a pohybů malého rozsahu,

- nepohodlí v důsledku lokalizovaného kontaktního tlaku mezi upevňovací částí Exoskeletu a končetinami uživatele,
- kolísání sil působících na páteř při manipulaci břemen především nad úrovní ramen,
- snížení celkového výkonu u kombinovaných pracovních činností jako:
  - manipulace malých a velkých předmětů a
  - hrubých a jemných činností,
- u jedno a dvou kloubových pasivních Exoskeletů použitých především pro kompenzaci zatížení horních končetin, dochází při použití zařízení umístěných v horní části trupu nebo paží při manipulaci s břemeny nebo práci nad hlavou k přesunu zátěže do oblasti zad a dolních končetin.

Vzhledem k době, po kterou byly Exoskelety testovány v praktických aplikacích a používány, prozatím neexistuje větší množství recenzovaných vědeckých studií, které by byly schopny komplexním způsobem zhodnotit veškeré parametry Exoskeletů a optimalizovat jejich využití pro konkrétní pracovní pozice a pracovní podmínky. Současné technologické trendy v oblasti Exoskeletů směřují spíše od pasivních k aktivním zařízením a technologiím.

Z pohledu inovačního potenciálu je od průmyslových Exoskeletů možné v budoucnu očekávat obrovský dopad na zlepšení celkové tělesné výkonnosti při výkonu pracovních činností, manipulaci s materiálem a snížení zátěže pohybového aparátu a muskuloskeletálních poruch. V současnosti se objevují nové typy aktivních i pasivních Exoskeletů, které mají vzhledem k použití nových technologií a materiálů vysoký potenciál použitelnosti v řadě průmyslových aplikací. Z hlediska ochrany zdraví a analýzy možných vlivů a přínosů těchto technologií je nutné zaměřit úsilí na další zkoumání přínosů a možných fyziologických důsledků použití Exoskeletů.

## 4 Kobot (Cobot - Collaborative robot/ kolaborativní robot)

Tradiční pojetí výroby zaměřené na hromadnou výrobu produktů s dlouhým cyklem životnosti výrobku se v posledních letech výrazně změnil. Trh si žádá stále častěji inovace produktů, nové produkty a zákaznická řešení šitá na míru určité skupině zákazníků.

V 80-tých letech byl průměrný životní cyklus nového automobilu 8-10 let. V současnosti se modely vozů dočkají prvních úprav po 2 – 3 letech od uvedení nového modelu na trh. Tento trend se netýká pouze automobilového průmyslu, ale všech průmyslových a technologických odvětví. Téměř ve všech průmyslových odvětvích se intervaly mezi vývojem nových produktů zkracují a mnoho z nich musí po relativně krátké době reagovat na nové trendy a změny výroby. Čím více jsou produkty orientovány na oblast IT a High-tech, tím kratší je cyklus inovací a celkový životní cyklus výrobku.

S měnící se strukturou výroby a zrychlujícím se cyklem životnosti výrobků bylo nutné se novému trendu přizpůsobit, a právě Koboti jsou jedním z možných technologických řešení, které může pomoci tomuto novému trendu. Na rozdíl od tradičních robotů, které musí být umístěny samostatně mimo pracovní prostor osob a obvykle jsou odděleni nějakým typem zábran nebo ochranných bariér, Kobot je vyvinut pro bezpečnou práci s lidmi. Kobot by se měl stát strojem, kterého se člověk může dotýkat a komunikovat s ním.

Člověk a kobot mohou sdílet společné pracoviště, a to bez zvýšeného bezpečnostního rizika. Firmy tak nemusí investovat do drahých zařízení, která souvisí s instalací klasických průmyslových robotů a omezovat výrobní plochu o prostor vyhrazený pouze pro činnost průmyslového robota. Koboti jsou navrženi tak, že v případě neočekávaného přiblížení nebo kontaktu, kolaborativní robot snižuje rychlost a tím i svoji kinetickou energii anebo zcela zastaví svou činnost tak, aby nemohlo dojít ke zranění osob. Pro jednoduchost bychom mohli říci, že bezpečnost pohybu kobotů je nastavena podobně, jako bezpečnost dveří výtahu. Odpadají tak obvyklé dodatečné náklady na bezpečnostní techniku a ochranné oplocení.

Od roku 2008 kdy byly první Koboti představeni, ušel jejich vývoj velmi dlouhou cestu. Hlavní změny se odehrávaly jak v rovině technické, tak i legislativní. Nově vyrábění Koboti jsou vybaveni jak velmi citlivými senzory, tak i velice výkonnými řídicími jednotkami. Řada výrobců začíná vybavovat svá zařízení také nástroji umělé inteligence, které pomáhají zlepšovat především oblast bezpečnosti spolupráce a ochrany zdraví zaměstnanců a předcházet možným kolizním situacím nebo případným úrazům. Dnešní Koboti musí také splňovat vysoké nároky na jejich konstrukci a bezpečnost. Obecně platí, že pokud Koboti splňují některé z technických norem nebo požadavků, jako jsou americké ANSI/RIA R15.06, Industrial Robots and Robot Systems — Safety Requirements, nebo evropské ISO 10218 a ISO/TS 15066, měly by být naplněny základní požadavky bezpečnosti na tato zařízení. Uvedené technické předpisy obsahují nejen základní technické požadavky, ale popisují i další specifikace jako například - bezpečnostní monitorované zastavení, ruční navádění, monitorování rychlosti a odstupových vzdáleností, maximální přípustné rychlosti pohybu, omezení výkonu a síly atd.).

Koboti mají za úkol poskytovat mnohem větší flexibilitu. Mohou zvládat rozmanité pracovní úkoly, které se liší od jednoduchých aplikací pro manipulaci s díly, třídění a paletizaci až po montáž dílů a zařízení, vychystávání objednávek, balení a testování. Mohou pomoci aplikovat lepidlo a tmely, sestavit nebo rozebrat díly, měřit, testovat, kontrolovat a převzít určité montážní operace.

Z pohledu prevence přetěžování pohybového aparátu při manipulaci s břemeny, omezení přetížení souvisejících s monotónní a sedavou prací a nebezpečí vznikající při opakovaných pohybech se zdá být využití Kobotů tím ideálním řešením.

Z celkového pohledu na bezpečnost zaměstnanců nesmíme zapomínat na to, že Koboti jsou součástí strojního zařízení a měli by splňovat nejen základní bezpečnostní požadavky, ale je nutné se zaměřit na důkladnou analýzu pracovního prostředí, vykonávaných činností a možných nebezpečí, která souvisí s provozem Kobotů jako strojních a IT zařízení.

Například americká organizace OSHA uvádí několik k typů nehod, které se mohou týkat provozu Kobotů, a měly by být brány v úvahu při analýze rizik:

- nárazové nebo kolizní nehody. Nepředvídané pohyby, poruchy součástí nebo nepředvídané změny programu související s pohybem ramene robota nebo periferním zařízením které mohou mít za následek kontaktní nehody.
- nehody související se zachycením nebo přimáčknutím spolupracujících osob. Končetina nebo některá část těla pracovníka může být zachycena nebo přimáčknuta mezi paží robota a jiným periferním zařízením, strojem nebo pracovní plochou.
- poruchy bezpečnostních prvků, antikolizních zařízení, senzorů a bezpečnostních zařízení
- poruchy řídicích, komunikačních a vyhodnocovacích systémů, cílené útoky a poškozování zařízení
- nehody mechanických dílů. Porucha součástí pohonu Kobota, nástrojů nebo koncového uchopovače/ manipulátoru/ zařízení, periferního zařízení nebo jeho zdroje energie.
- uvolnění dílů, selhání pohybového mechanismu nebo pracovního mechanismu nebo selhání koncového pracovního nářadí (např. brusných kotoučů, svářecích agregátů, odjehlovacích nástrojů, šroubováků atd..).
- jiné nehody – poruchy energetických, hydraulických pneumatických a jiných agregátů, prasknutí tlakových a hydraulických vedení, úniky provozních kapalin atd..

Předpokládá se, že s rozšířením kolaborativních robotů dojde také k další úpravě technických a legislativních podmínek s cílem co nejvyšší ochrany zdraví a bezpečnosti zaměstnanců. Ačkoli Koboti v současné době představují pouze 3-5% všech prodaných průmyslových robotů, předpokládá se, že do roku 2025 budou představovat 25-35% prodaných průmyslových robotů a pomohou tak ke zlepšení pracovních podmínek především při manipulaci s břemeny.

## 5 VR (virtuální realita) a AR (rozšířená realita)

Nové moderní technologie jako Virtuální realita (VR), rozšířená realita (AR) a Smíšená reality (MR) se začínají prosazovat do řady průmyslových oborů a odvětví. O jejich využití se uvažuje v herním průmyslu, technických oblastech, oblastech výuky, vědy výzkumu, vzdělávání v bezpečnosti práce a ochraně zdraví, medicíně, obchodu a službách a dalších odvětvích lidské činnosti.

### Virtuální realita (VR)

- Při použití konceptu VR jsou uživatelé zcela řadou vjemů ponořeni do počítačově generovaného prostředí. Virtuálně generované prostředí působí především na jejich zrak, sluch a u některých aplikací na hmatové vjemy.
- U většiny aplikací je virtuální prostředí tvořeno pomocí brýlí a sluchátek nasazených na hlavě uživatele. VR aplikace jsou tvořeny tak, aby uživatel co nejvíce vnímal uměle vytvořené prostředí, v němž se pohybuje.
- Nástroje pro virtuální realitu pomáhají v současnosti navrhovat, plánovat, učit, vzdělávat, komunikovat, vzdáleně spolupracovat a ovládat zařízení různé složitosti.
- K tvorbě VR prostředí se dnes nejvíce využívají nezávislá virtuální zařízení v podobě bezdrátových virtuálních náhlavních souprav, nebo zařízení umístěných na hlavě spojených s řídicím počítačem pomocí kabelů.

### Rozšířená realita (AR)

- Rozšířená realita se na rozdíl od VR snaží o překrytí reálného světa s uměle vytvořeným prostředím nebo objekty, které jsou do reálného světa umístěny pomocí různých technologií.
- Rozšířená realita (AR) na rozdíl od plného pohlčení do prostředí virtuální reality VR (např. pomocí náhlavní soupravy a sluchátek) se snaží pomocí technologie vylepšit reálný svět doplňujícími objekty jako jsou obrázky, text a další virtuální informace. V současnosti se nejvíce využívají zařízení jako jsou heads-up displeje, smartphony, tablety, chytré čočky a AR průhledové brýle.

### Smíšená realita (MR)

- Prostředí se smíšenou realitou jde o kus dál za schopnosti AR. V MR aplikacích se předpokládá, že uživatelé mohou v reálném čase a prostředí komunikovat s virtuálními objekty, které jsou prostřednictvím zobrazovacích technologií umísťovány do reálného světa. Virtuální objekty jsou vytvořeny tak, aby reagovaly na uživatele, jako by se jednalo o skutečné objekty.
- K vytvoření kombinovaného prostředí digitálního světa s realitou se dnes využívají MR uzavřené headsety s kamerami nebo průsvitné brýle. K tvorbě prostředí a aplikací ve smíšené realitě je ale nutné využít mnohem větší výpočetní výkon a technicky náročnější prezentační zařízení než pro VR nebo AR aplikace.

Vzhledem k velmi omezenému počtu skutečných aplikací, a prozatímní neznalosti celého prostředí virtuální reality se velmi málo ví a hovoří o vlivech na lidské zdraví a pohybový aparát a rizicích, které souvisejí především se současnými technickými a technologickými možnostmi VR technologií a možnostmi a omezeními použitých vývojových a prezentačních nástrojů.

Jestliže využíváme prostředí virtuální reality ke vzdělávání nebo osobní zábavě, nacházíme se ve zcela jiné situaci, než v případě využití VR prostředků pro výkon pracovních činností v zaměstnání, ať už se jedná o školení nebo využití VR nástrojů pro vzdálenou komunikaci, vizualizaci, simulaci nebo navrhování nových výrobků.

Při použití VR technologií v pracovním procesu musíme uvažovat o aspektech souvisejících s bezpečností práce, ochranou zdraví a ergonomií. Studie, které byly v oblasti virtuální reality uveřejněny, popisují některé z možných vlivů, dopadů a omezení, která je nutné zvažovat v souvislosti s jejím použitím při výkonu práce.

Z pohledu ergonomie, ochrany zdraví nás nejvíce zajímají vlivy působící na pohybový aparát. Výsledky provedených studií a praktické zkušenosti s použitím některých typů virtuálních systémů a aplikací uvádějí následující oblasti vlivu virtuálních technologií:

- **Použití a nošení VR zařízení a headsetů:**
  - Jedním z důležitých parametrů, který je nutné brát v úvahu je celková váha VR vybavení a způsob nošení především VR headsetů (náhlavních souprav nebo zařízení). U provedených studií bylo u sledovaných subjektů zjištěno, že při používání VR zařízení, jak v sedě, tak i při pohybu mění posturální a pohybový vzor těla. Příčin, proč se tak děje, je hned několik:
    - Váha vlastní náhlavní soupravy nebo nositelných brýlí a způsob jejího umístění – dochází k předsunutí nebo záklonu hlavy, namáhání krční páteře a změně postavení těla. Pohyb je nejistý, pohyby končetin ztrácejí přirozenost a spíše se synchronizují s děním na virtuální obrazovce.
    - Změna pozorovacího úhlu objektů na obrazovce VR soupravy a rychlost a přesnost zobrazování objektů výrazně ovlivňuje pohybové návyky a jemnou motoriku.
- **Pohyb, stabilita a vnímání prostoru:**
  - účastníci studií, kteří používali VR technologii a náhlavní soupravy, uváděli obtíže spojené s činností pohybového a vestibulárního aparátu. Stěžovali si na závratě, nevolnosti a následnou ztrátu pohybové koordinace. Vliv simulovaného pohybu, který nebylo možné správně synchronizovat s pohybem hlavy, končetin a těla uživatele VR technologie měl vliv jak na schopnost pohybu a vnímání prostoru, ale také měl vliv na zvýšení únavy a následnou ztrátu pozornosti.
- **Vytvoření dostatečně věrné simulace přirozeného pohybu ve VR**
  - Jednou ze základních otázek VR technologie je, jak můžeme vytvořit přirozený lidský pohyb ve virtuální realitě a jak jej dokážeme sladit s pohybem osoby tak, aby pocit pohybu uživatele v reálném světě odpovídal stejné změně a vjemům ve virtuální realitě. Aby mohly náhlavní VR soupravy správně pracovat, obsahují senzory, které umožňují sledovat jejich pozici a pohyb v prostoru a korigovat tak VR projekci. Zjednodušeně je můžeme rozdělit do skupin podle přesnosti měření

postavení/ pohybu - DOF „Degrees of freedom - stupně volnosti pohybu“, které nabízejí:

- tři stupně volnosti (DoF). Toto je nejjednodušší forma sledování pohybu ve virtuální realitě. Tato funkcionalita se zcela spoléhá na vestavěné senzory (akcelerometry, gyroskopy a magnetometry), které telefony nebo jednoduché náhlavní VR soupravy používají k měření pohybu,
  - šest stupňů volnosti (DoF). Díky šesti stupňům volnosti (6DoF) jsou sledovány jak VR náhlavní souprava, tak ovladače, které nosí uživatel. Toho lze dosáhnout buď pomocí externích senzorů pro zachycení pohybu nebo pomocí senzorů připojených k samotné náhlavní soupravě, které nepřetržitě přenášejí pozici náhlavní soupravy a ovladačů zpět do počítače. Ke správnému umístění objektu do prostoru je však nutné zajistit sledování prostoru a pohybu objektu s náhlavní soupravou a ovladači ve sledovaném prostoru.
- **Přizpůsobení VR, AR a MR aplikace věku a cílové skupině uživatelů.**
  - Vliv věku a cílové skupiny je nutné zohlednit především pro vzdělávací aplikace a aplikace pracující s pohybem lidského těla a lidskou psychikou. Starší osoby, osoby s různými typy korekcí očí a osoby s pohybovými obtížemi popisovali obtíže s pohybem a vnímáním prostoru ve VR.
  - Většina současných výrobců doporučuje neužívat VR, AR a MR technologie pro děti do 12/13 let věku a populaci trpící kardiovaskulárními nebo neurotickými obtížemi především epilepsií.
- **Zvýšená námaha očí a obtíže související s vnímáním prostoru a pohybu v něm:**
  - Některé typy VR headsetů a aplikací mohou způsobovat zvýšené namáhání očí. Zvýšená námaha očí je způsobena především vysokou intenzitou svitu projekční obrazovky, jejím pixelovým rozlišením, krátkou ohniskovou vzdáleností pro akomodaci oka, obnovovací frekvencí, rozsahem pozorovacího úhlu.
  - Jedním ze současných nedostatků VR HW je schopnost zachování přirozeného pozorovacího úhlu, na který jsou uživatelé zvyklí. Lidé mají obvykle zorné pole 200 stupňů. 200 stupňů obvykle rozdělujeme na 140 stupňů binokulárního vidění pro vnímání hloubky a 60 stupňů pro periferní vidění. Současné náhlavní soupravy a vytvářené aplikace obvykle z důvodu úspory výpočetního výkonu požívají úhel pro binokulární vidění v rozmezí 30-60 stupňů, ale periferní vidění je obvykle omezováno na 20-35 stupňů.
  - Pro správné vnímání jednotlivých virtuálních objektů v prostoru a schopnost přirozeného pohybu je nutné také volit správnou kombinaci barev, aby naše oči mohly správně virtuální objekty vnímat. Špatná kombinace barev, pozorovacích úhlů a intenzity světla pak dělá problém určit vzdálenost samotného objektu ve scéně a v mnoha případech mozek virtuální objekty vyhodnocuje v nereálné pozici, nebo si myslí, že se objekty pohybují, přesto, že jsou statické. Na základě tohoto zkreslení dochází následně k neurokinetické deprivaci.



- **VR Sickness – zdravotní obtíže související s používáním VR technologií**

- Jedním z problémů virtuální reality, který se objevil již před mnoha lety, byl účinek kinetózy. Tyto obtíže vznikaly především nesprávným použitím náhlavních souprav a použitím nevhodných aplikací, které byly zobrazovány účastníkům pomocí virtuálních brýlí v náhlavní soupravě. Obtíže se objevily v případech, kdy tvůrci pracují s omezenou škálou obrazových a zvukových prožitků, které nejsou spojeny s přirozeným pohybem lidského těla v rámci virtuálního prostředí. Z pohledu technologie tvorby VR aplikací má velký vliv především nižší obnovovací frekvence obrazu, změna pozorovacích úhlů a ukotvení pozice náhlavní soupravy do prostoru vůči proporcím těla osoby, která soupravu používá. Nesprávné nastavení těchto parametrů pak způsobuje, že se uživatelé cítili dezorientovaní, pociťovali závratě nebo nevolnost. Čím delší je pobyt v prostředí VR, tím silnější je odezva těla. Toto je také důvod, proč výrobci VR technologií uvádějí na trh řadu židlí nebo platforem „proti VR nemoci nebo EEVR“ (rozšířené prostředí virtuální reality), které pomáhají snižovat vlivy pohybových obtíží spojených s VR. VR a AVR.



*zdroj: kat-vr.com*

- **Vazby mezi VR a vnímáním okolního prostředí**

- VR technologie pracuje ve své podstatě jak s fyziologickou stránkou, tak i podprahově s emocionální stránkou lidského vnímání. V souvislosti s použitím VR technologií může vznikat tzv. Emocionální pohybová nemoc, když vstupy ze smyslových senzorů (zrakové, zvukové, pohybové, dotykové, teplotní, tlakové, postavení kloubů a končetin atd..) nesouhlasí s informacemi, které poskytuje mozku vestibulární systém a získané informace není možné správně synchronizovat. Například když chceme simulovat řízení vozidla. Konflikt tělesných senzorů nastává v okamžiku, když naše další smyslové vstupy – kůže, svaly a vnitřní ucho cítí chtějí cítit a vnímat pohyb vozidla, ale tuto informaci nepotvrzuje pozorovací smysl pohybu očí, protože VR aplikace není schopna reflektovat rozsah pozorovacích úhlů očí a zaměřuje se pouze na činnosti a prostor ve voze a nerespektuje ani vztah mezi pohybem vozidla a pohyby okolní scenerie. Takto vzniklé negativní emoce vyvolané rozdílným vnímáním vjemů a prostředí pak vyvolávají negativní reakci na použití VR a mohou mít zcela opačný/ negativní účinek na průběh tréninku nebo nácviku.

V mnoha případech se tyto obtíže VR eliminují tím, že je vizuální perspektiva nehybná a předměty se pohybují po okolí pohybem naší hlavy. Pokud by se však uživatel pohyboval ve virtuálním prostředí, řada současných technologií vytváří pohybový a emoční konflikt a zvyšuje negativní dopady použití VR prostředí.

## 6 Stručné shrnutí problematiky

Na inovativní procesy, moderní technologie a jejich aplikace musíme vždy nahlížet objektivním pohledem. Vnímání každé inovace pouze z pozitivního hlediska není vždy přínosem a může v konečném důsledku vést ke stagnaci inovačních procesů. Na druhou stranu vnímání inovace z negativního hlediska může vést k zpomalení nebo úplnému zastavení inovativního procesu v dané oblasti, nebo k faktu, že zavedení inovace v dané oblasti se prodlouží o další období stagnace.

Z celkového kontextu vyplývá, že vývoj a zavádění nových technologií sebou musí přinést také nové metody a nástroje hodnocení vlivů na bezpečnost, péči o zdraví a ergonomii práce. Nesmíme také zapomínat na fakt, že mění se pracovní podmínky a prostředí vedou také k řadě změn jak v individuální, sociální tak i dalších oblastech.

V souvislosti s tvorbou inovací a implementací nových technologií je důležité mít na paměti, že každá nová technologie by měla být přínosem pro podporu lidských činností, zlepšení pracovních podmínek a zvýšení úrovně celkového zdraví a pracovní pohody.

## 7 Zdroje informací

- Cobot research study for future SME 2020 - <https://industrial.omron.cz/cs/solutions/blog/cobots-future-proofing-smes>
- HGS - Artificial intelligence (AI) workplace safety - <https://hgs.cx/digital/solutions/artificial-intelligence-workplace-safety/>
- EHS Today - Smarter Than You Think: AI's Impact on Workplace Safety
- - <https://www.ehstoday.com/safety-technology/article/21165239/smarter-than-you-think-ai-impact-on-workplace-safety>
- Medium.com - Using AI and a camera feed to measure ergonomics
- - <https://medium.com/in-the-pocket-insights/using-ai-and-a-camera-feed-to-measure-ergonomics-a15cf2ee0d22>
- OHS Online - How AI-Driven Algorithms Improve an Individual's Ergonomic Safety - <https://ohsonline.com/articles/2020/05/14/how-aidriven-algorithms-improve-an-individuals-ergonomic-safety.aspx>
- OHS Online - Preventing Injury in the Workplace: How Powered, Full-Body Exoskeletons Can Improve Spine Health - <https://ohsonline.com/Articles/2018/07/20/Preventing-Injury-in-the-Workplace.aspx?admgarea=news&Page=4&m=1>
- OHS Online - The Rise of Industrial Robotics and the Need for Employee Safeguarding - <https://ohsonline.com/articles/2018/02/01/i-cobot.aspx>
- Katharina-Maria Behr Andreas Nosper Christoph Klimmt\* Tilo Hartmann Department of Journalism and Communication Research Hanover University of Music and Drama; Hanover, Germany
- Guide for training employees in VR (from 1000s of hours of experience) - [file:///Users/mrohlich\\_pro/Documents/VR/Guide%20for%20Training%20Employees%20in%20VR.webarchive](file:///Users/mrohlich_pro/Documents/VR/Guide%20for%20Training%20Employees%20in%20VR.webarchive)
- Comparing Immersive and Non-Immersive Virtual Reality User Interfaces for Management of Telecommunication Networks - [https://www.researchgate.net/publication/228742087\\_Comparing\\_Immersive\\_and\\_Nonimmersive\\_Virtual\\_Reality\\_User\\_Interfaces\\_for\\_Management\\_of\\_Telecommunication\\_Networks](https://www.researchgate.net/publication/228742087_Comparing_Immersive_and_Nonimmersive_Virtual_Reality_User_Interfaces_for_Management_of_Telecommunication_Networks)
- Employee training: Benefits of VR over instructor-led, online and free - <https://virtualspeech.com/blog/benefits-vr-for-employee-training>
- A quick guide to Degrees of Freedom in Virtual Reality - [file:///Users/mrohlich\\_pro/Documents/VR/A%20quick%20guide%20to%20Degrees%20of%20Freedom%20in%20Virtual%20Reality%20-%20Kei%20Studios.webarchive](file:///Users/mrohlich_pro/Documents/VR/A%20quick%20guide%20to%20Degrees%20of%20Freedom%20in%20Virtual%20Reality%20-%20Kei%20Studios.webarchive)
- Virtual reality training for health-care professionals - Fabrizia Mantovani 1, Gianluca Castelnovo, Andrea Gaggioli, Giuseppe Riva - <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/14511451/>
- A pilot study of motivational interviewing training in a virtual world - <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21946183/>
- Theoretically-driven infrastructure for supporting health care teams training at a military treatment facility - <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22360057/>
- Use of simulation technology in Australian Defence Force resuscitation training - <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11464409/>
- Immersion team training in a realistic environment improves team performance in trauma resuscitation - <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27233635/>
- VIRTUAL REALITY AND ITS INFLUENCE ON TRAINING AND EDUCATION - LITERATURE REVIEW - [https://www.daaam.info/Downloads/Pdfs/proceedings/proceedings\\_2017/100.pdf](https://www.daaam.info/Downloads/Pdfs/proceedings/proceedings_2017/100.pdf)
- UNITY SW user manual - <https://docs.unity3d.com/Manual/ManualVersions.html>

- Motion Sickness in VR: Why it happens and how to minimise it - <https://www.harmony.co.uk/vr-motion-sickness/>
- How to eliminate the VR Sickness - <https://www.rotovr.com>
- VR Motorised Interactive Gaming Chair - <https://www.yawvr.com>
- PwC's study into the effectiveness of VR for soft skills training - <https://www.pwc.co.uk/issues/intelligent-digital/virtual-reality-vr-augmented-reality-ar/study-into-vr-training-effectiveness.html>
- A systematic approach for designing learning environments for energy efficiency in industrial production, Eberhard Abele, Dominik Flum\*, Nina Strobel - 7th Conference on Learning Factories, CLF 2017
- Speaking of Psychology: Improving lives through virtual reality therapy - <https://www.apa.org/research/action/speaking-of-psychology>
- Testing times for virtual reality despite Sky's Attenborough odyssey - David McClelland  
Published: 22 April 2017 12:15
- Virtual Reality (VR) Thematic Research Report 2019 - VR Market was Worth \$7B in 2018 and is Projected to Reach \$28B by 2030 - ResearchAndMarkets.com - DUBLIN--(BUSINESS WIRE)--  
The "Virtual Reality - Thematic Research" report has been added to ResearchAndMarkets.com's offering.
- Virtual reality and safety training - The benefits – and potential concerns; February 23, 2020; Alan Ferguson
- SU Kai, Suyan-Zhao. Technical principles and commercial applications of VR virtual reality and AR augmented reality [M]. Beijing: people's post and telecommunications press, 2017:103.
- Bofeng-Luo, ZHOU Qing. A summary of the application of virtual reality technology training [J]. Computer simulation, 2020, 37(04):1-4.
- Yin Y et al (2010) Application of virtual reality in marine search and rescue simulator. Int J Virtual Real 9(3):19–26
- Computer Science book series (LNCS, volume 9178), Ergonomic Implications of Technological Innovations in the Development of Computer Workstations; Marcin Butlewski, Alexandra Dewicka, Edwin Tytyk
- Bosch T, van Eck J, Knitel K, de Looze M. (2016). The effects of a passive exoskeleton on muscle activity, discomfort and endurance time in forward bending work. Appl Ergon. 2016 May; 54:212-7.
- de Looze MP, Bosch T, Krause F, Stadler KS, O'Sullivan LW. (2016). Exoskeletons for industrial application and their potential effects on physical work load. Ergonomics. 2016 May;59(5):671-81.
- Kim S, Nussbaum MA, Mokhlespour Esfahani MI, Alemi MM, Alabdulkarim S, Rashedi E. (2018). Assessing the influence of a passive, upper extremity exoskeletal vest for tasks requiring arm elevation: Part I – "Expected" effects on discomfort, shoulder muscle activity, and work task performance. Appl Ergon. 2018 Mar 7. pii: S0003-6870(18)30059-0. doi: 10.1016/j.apergo.2018.02.025. [Epub ahead of print].
- Kim S, Nussbaum MA, Mokhlespour Esfahani MI, Alemi MM, Jia B, Rashedi E. (2018). Assessing the influence of a passive, upper extremity exoskeletal vest for tasks requiring arm elevation: Part II – "Unexpected" effects on shoulder motion, balance, and spine loading. Appl Ergon. 2018 Mar 7. pii: S0003-6870(18)30058-9. doi: 10.1016/j.apergo.2018.02.024. [Epub ahead of print]
- Marras WS. (2012). The complex spine: the multidimensional system of causal pathways for low-back disorders. Hum Factors. 2012 Dec;54(6):881-9.
- National Research Council & Institute for Medicine. (2001). Musculoskeletal disorders and the workplace: Low back and upper extremity. Washington, DC: National Academy of Sciences, National Research Council, National Academy Press.

- Rashedi E, Kim S, Nussbaum MA, Agnew MJ. (2014) Ergonomic evaluation of a wearable assistive device for overhead work. *Ergonomics*. 2014;57(12):1864-74.
- Theural J, Desbrosses K, Roux T, Savescu A. (2018). Physiological consequences of using an upper limb exoskeleton during manual handling tasks. *Appl Ergon*. 2018 Feb;67:211-217.
- Weston EB, Alizadeh M, Knapik GG, Wang X, Marras WS. (2018). Biomechanical evaluation of exoskeleton use on loading of the lumbar spine. *Appl Ergon*. 2018 Apr;68:101-108.
- Young AJ, Ferris DP. (2017). State of the Art and Future Directions for Lower Limb Robotic Exoskeletons. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng*. 2017 Feb;25(2):171-182.
- OHS Online, Industrial Exoskeletons: What You're Not Hearing, 10/2018
- Interní prezentační materiály, podkladové a vědecké studie společnost Xsens
- Interní prezentační materiály, podkladové a vědecké studie společnost MANUS-MOVELA
- Interní prezentační materiály, podkladové a vědecké studie společnost Faceware
- Interní prezentační materiály, podkladové a vědecké studie společnost Delsys.
- Interní materiály společnosti HSEF s.r.o.
- Výstupy z výzkumného úkolu 04-2020-VÚBP Prevence muskuloskeletálních poruch v důsledku manipulace s břemeny – správná manipulace s břemeny u specifické vybrané skupiny zaměstnanců