

STUDENTSKÁ VĚDECKÁ KONFERENCE

Ergonomie a moderní životní styl

SBORNÍK KONFERENCE

www.ergokonference.cz

28.4.2022



FAKULTA
STROJNÍ
ČVUT V PRAZE



ČESKÁ
ERGONOMICKÁ
SPOLEČNOST

remedis
ERGO centrum a Nadace



Obsah sborníku

Analýza ergonomie montáže s návrhem optimalizovaného stavu pracoviště	2
Ergonomie ve včelařství	8
Kanceláře budoucnosti z hlediska ergonomie a optimalizace pracovního prostředí	14
Návrh automatické linky pro lepení magnetů.....	24
Príspevok k využívaniu pasívnych exoskeletov pri zvyšovaní výkonnosti pracovníkov v priemysle	30
Technologie Motion Capture v ergonomii	38
Využití kolaborativního robota v reálné aplikaci.....	44
Využití moderních metod a technologií při zlepšování ergonomie práce	48
Zhodnocení náročnosti fyzické práce během vyvětřování stromů.....	50
Vstupní data nejen pro ergo-analýzy při designu	58

Analýza ergonomie montáže s návrhem optimalizovaného stavu pracoviště

Adam Podolka¹, Tomáš Kellner¹

¹České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní, Technická 4, 166 07 Praha 6, Czech Republic, adam.podolka@fs.cvut.cz, tomas.kellner@cvut.cz

Abstrakt: Tento článek řeší problematiku analýzy a optimalizace pracoviště ruční montáže s následným návrhem robotizace procesu. Na základě snímku pracovního dne a ergonomické analýzy současného stavu byly vytypovány operace, které jsou pro zdraví pracovníka nejvíce kritické. Za účelem zlepšení ergonomie pracoviště a zvýšení produktivity byl navržen optimalizovaný stav některých úkonů a kompletní robotické pracoviště, které doplní současný ruční pracoviště – robot tedy bude na montáži spolupracovat vedle zaměstnance a tím bude docílena jak vyšší produktivita procesu, tak i lepší ergonomické podmínky pracovní činnosti.

Klíčová slova: Ergonomie pracoviště, Montáž, Robotizace, Statická simulace

Úvod

Ergonomie práce, tedy v tomto případě montáže, je velmi důležitá z hlediska zdraví pracovníka, který tuto práci dělá. Naším cílem je pracovníkovi dopřát co nejlepší pracovní prostor, u kterého dodržujeme všechny ergonomické zásady a pravidla. Pokud se tento pracovní prostor navrhne co nejpřívětivěji pro pracovníka, tak se celková produktivita, a i kvalita výroby markantně zvýší. Nehledě na to, že pracovníkovo zdraví a pracovní výdrž se s ergonomicky přívětivým pracovištěm, také zvyšuje. Robotizace v tomto hledisku je velmi dobrou alternativou, která je schopna pracovníka osvobodit od repetitivní a náročné práce. Článek pojednává o analýze současného stavu pracoviště. Součástí analýzy je časová studie, doplněna o hrubou simulaci v programu Jack software. Na základě této studie je navrženo optimalizované pracoviště, které snižuje vyvolávanou zátěž na pracovníka

1 Vyhodnocení práce/montáže

Současné pracoviště se zabývá montáží a předmontáží zubových čerpadel. Tato část článku se zabývá jejím vyhodnocením a rozborem. Hlavním rozebíraným faktorem je ergonomie, jak pracovník funguje v průběhu celé pracovní směny. Práci rozděluje obr. č. 1.



Obr. 1. Schéma rozložení práce

1.1 Předmět montáže

Pro následné analýzy a jejich vyhodnocení je nutné určení montované součásti. Proces montáže, jak bylo zmíněno výše je rozdělen do: předmontáže a montáže. V momentu, kdy jsou všechny součásti připravené nastává čistá montáž s konečným zašroubováním celého čerpadla. Na obr. 2. je zobrazeno rozložené celé čerpadlo se všemi potřebnými díly.



Obr. 2. Rozložené zubové čerpadlo

1.2 Předmontáž

Celková montáž neprobíhá na jednom stacionárním pracovišti, ale pracovník je nucen si zařídit jednotlivé díly v předmontáži. Předmontáž je rozdělena na více úkonů, a to lisování, gumičkování a gufera. V rámci ergonomie je tato předmontáž velmi důležitá z hlediska pohybu pracovníka, jenž díky těmto úkonům celou směnu nesedí a není na jednom místě, ale musí se pohybovat a několikrát za směnu se projít. Na druhou stranu v rámci automatizace a optimalizace výroby, jsou tyto úkony jen ztrátou času. Pokud by se tedy přemýšlelo o zrychlení výroby, předmontáž je nejhodnější část práce na urychlení celkové montáže.

Ergonomie předmontáže není jednotná, jelikož jak bylo zmíněno, předmontáž se dělí na jednotlivé části.:

- *Lisování* je úkon, kde pracovník stojí na stanovišti a do polotovaru se lisují nátrubky. Pro polotovary je potřeba se sehnout do krabice položené 40 centimetrů nad zemí, i když polotovary nejsou těžké, pracovník se musí za jednu směnu až 40krát sehnout.
- *Gumičkování* probíhá v sedě. Na stůl si pracovník připraví gumičky, plastové dílce a díl, do kterého se gumičky vkládají. Tato část předmontáže není nijak ergonomicky závadná, jelikož je všechno připravené v zóně B a finální díl se skládá v zóně A.

- *Gufera* se vkládají společně s pojistnými kroužky na podobném pracovišti lisování. Pracoviště na gufera, se ale liší v částečné automatizaci, kdy gufera jsou zakládány pomocí automatu. Pracovník pouze nasazuje gufero na tyč a vyndává hotový díl, zbytek procesu je automatický. Všechno probíhá v ideální výšce (zóna A). Spouštění automatu je zajištěno šlapátkem.

1.3 Montáž

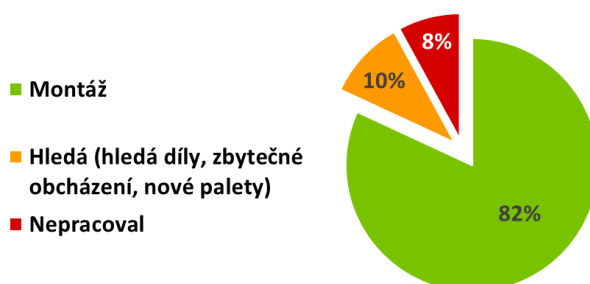
Finální sestavení čerpadla probíhá na stole v ideální výšce, pro těžkou montáž. Stůl je v přesné výšce 20 centimetrů pod úroveň loktů. Jednotlivé díly mohou převyšovat hmotnost 2 kilogramů, tudíž je finální montáž celá zhotovována ve stoje. Na stole jsou připraveny téměř všechny díly v zóně B a montáž se zhotovuje v zóně A. Ostatní potřebné díly jsou v zónách mimo dosah ruky a pracovník se musí otočit, nebo si pro tyto díly dojít a přinést je do zóny A. Pracoviště neobsahuje přesné umístění dílů, ani žádné kolejničky, všechny díly jsou rozmístěné, tak jak si je pracovník před montáží připravil. Těžké finální produkty se skládají na pojízdný stůl a ten je dále odvezen na kontrolu. S těmito finálními produkty musí pracovník manipulovat a otáčet se s nimi, z dlouhodobého hlediska úkon velmi nezdravý. [1,3]

1.4 Časová studie sledovaného úseku

Náměr časové studie vychází z necelé směny. Výsledkem této studie bylo vyhodnocení pracovníka jako velice zapracovaného, přesného a kvalitního. Pracoviště bylo vyhodnoceno jako špatně uspořádané s vysokým výskytem přechodů pro materiál. Více než jednu třetinu pracovní doby připravuje pracovník dílce na další směnu. Přesné výsledky časové montáže jsou zobrazeny v tab. č. 1. a obr č. 3.

Tab. 1. Časová studie směny

Činnost	Stav (pracuje, nepracuje, práce navíc)	Čas (s)	od	do	Čas (min)	Čas (hod)
Montáž		5866	08:40	10:40	97,77	1,63
Hledá (hledá díly, zbytečné obcházení, nové palety)		725			12,08	0,20
Nepracoval		572	09:45	09:55	9,53	0,16



Obr. 3. Grafické znázornění časové studie

1.5 Analýza ergonomie pracoviště




Ergonomické řešení pracoviště bylo vyhodnoceno v programu Jack software. Z celkového rozboru se vybralo několik nejnáročnějších poloh. Jednotlivé polohy byly porovnány s nařízením vlády č. 361/2007 Sb., nařízením vlády, kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci. Porovnávání probíhalo se sekci polohy těla. Výsledky jsou zobrazeny v tab. č. 2. Výsledné hodnoty se dělí na:

Zelená: Přijatelná poloha při splnění podmínek

Žlutá: Podmíněně přijatelná poloha při splnění podmínek

Červená: Nepřijatelná poloha [2]

Tab. 2. Výsledky statické analýzy – původního pracoviště (vybrané polohy)

Číslo polohy	1	2	3
	Úhel předpažení 57°	Úhel předpažení 85°	Pronace PHK 40°
Simulace NV č. 361/2007 Sb.			

2 Optimalizace

Výsledek analýzy popsané montáže vyšel velmi pozitivní z hlediska času montáže jednoho čerpadla. Čas pracovníka je výborný, přesto je pracoviště absolutně neoptimalizované a chaoticky rozmístěné. V této části práce je návrh na optimalizaci pomocí automatizace, ale i optimalizací pomocí rozvržení pracoviště a toku materiálu.

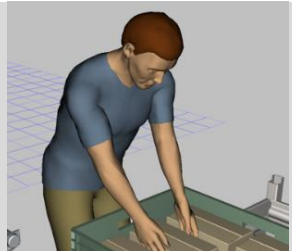


2.1 Robotizace

Řešení optimalizace je montáž automatizovat. V tomto případě by pracovník pouze zajišťoval předmontáž a dodávání dílů do dopravníků, které by zásobovaly robotickou buňku. Robot by pracovníkovi ulehčil hlavní repetitivní práci montáže. Stále by se musel robotovi dodávat materiál, ale z ergonomického hlediska by pracovník nedělal žádnou dlouhodobě nezdravou práci. Hlavní nezdravé pohyby otáčení a ohýbání by prováděl robot. Další výhodou robotizovaného pracoviště je odstranění rutinové práce zaměstnance a zpestření pracovní činnosti. Tato malá změna dokáže znovu motivovat zaměstnance a zvýšit jeho produktivitu. Robot v tomto případě nenahrazuje člověka, jako takového, jen mu pomáhá, jak ze zdravotního hlediska, tak i pomocí odlehčení práce.

2.2 Analýza ergonomie optimalizovaného pracoviště

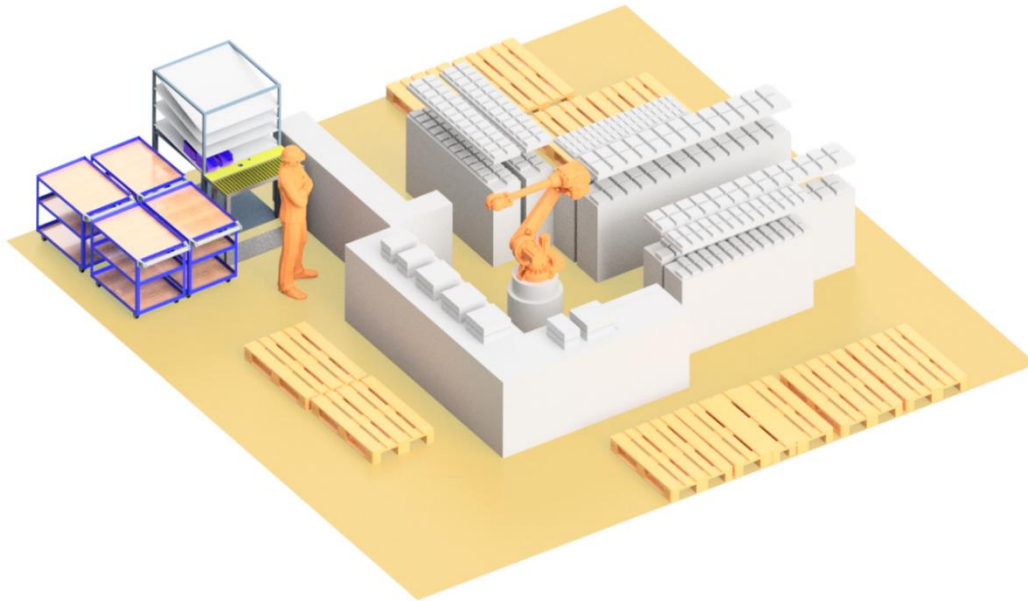
Tato část analýzy probíhala stejným způsobem, jako analýza původního pracoviště. Stejným způsobem se vybralo několik nejnáročnějších poloh a ty se porovnávaly s nařízením vlády. Výsledkem je i stejná tabulka, která následně slouží k jednoduchému porovnání výsledků. Výsledky jsou zobrazeny v tab.č 3.

Tab. 3. Výsledky statické analýzy – optimalizovaného pracoviště (vybrané polohy)

Číslo polohy	1		2		3	
	Předpažení	42°	Pronace PHK	33°	Rotace zápěstí	21°
Simulace NV č. 361/2007 Sb.						

2.3 Layout optimalizovaného stavu

Základním pilířem ke zlepšení výkonosti není vždy automatizace, ale u některých případů je prvním krokem – optimalizace rozložení pracoviště. Správné rozložení a tok materiálu je schopné výrazně zvednout kvalitu a ulehčit vykonávanou práci zaměstnance. V současné době pracovník musí polotovary hledat a nejsou mu poskytnuty přímo na pracovišti. Odstopovat a vyhodnotit, kdy a jak pracoviště zásobovat ušetří velikou část směny, kdy pracovník hledá materiál nebo přechází na jiné pracoviště. Předmontáž by byla zhotovována daným pracovníkem přímo vedle místa robotické montáže. Místo předmontáže se dá vybavit systémem krabiček a paletek, které budou mít přesné místo. Pracovník v tomto případě má všechno potřebné u sebe a nic ho nevyrušuje od předmontáže, celá směna je čistě připravování a doplňování. Tímto způsobem se eliminují veškeré nadbytečné mezičasy, kdy se pracovník nevěnuje předmontáži, ale obstarává potřebné věci, pro práci. Zároveň se u takhle optimalizovaného pracoviště nevyskytují nezdravé pohyby otáčení, přenášení a ohýbaní. Na obrázku č. 4. je zobrazen návrh optimalizovaného rozložení.



Obr. 4. Vizualizace optimalizovaného pracoviště

Závěr

Výsledek práce je ohodnocení pracoviště z hlediska ergonomie a následné navržení metod ulehčení. Současný stav výroby je velmi neefektivní, pracovník je nucen do nezdravých poloh, které mohou způsobit zkrácení doby schopnosti manuální práce tohoto typu. Navržením vhodnějšího pracoviště a robotizací se tyto problémy mohou téměř všechny eliminovat. Analýza práce vyzdvihla důvod nutnosti optimalizace a následně popsala jednotlivé řešení. Způsob robotizace v tomto případě nenahrazuje člověka, jako takového, jen mu pomáhá, snížením pracovní zátěže za současného navýšení produktivity pracoviště.

Literatura

- [1] Chundela, Lubor. 2013. Ergonomie. Praha : Nakladatelství ČVUT, 2013. 978-80-01-05173-3.
- [2] Government Order No. 361/2007 laying down the conditions for the protection of health at work. In: Collection of Laws of the Czech Republic, 2007, amount 111. Also available from: <https://www.zakonyprolidi.cz/en/2007-361>
- [3] Jeřábek, Jan. Assembly Workplace Optimization. Praha, 2020. Diploma thesis. CTU in Prague, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machining, Process Planning and Metrology. Thesis supervisor Ing. Jiří Kyncl, Ph.D.

Ergonomie ve včelařství

Tomáš Netík¹, Ing. Eliška Cézová, Ph.D.², Ing. Tomáš Kellner³

¹ České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní, Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie, Technická 4, 166 07 Praha 6, Czech Republic, Tomas.Netik@fs.cvut.cz

² České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní, Ústav konstruování a částí strojů, Technická 4, 166 07 Praha 6, Czech Republic, Eliska.Cezova@fs.cvut.cz

³ České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní, Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie, Technická 4, 166 07 Praha 6, Czech Republic, Tomas.Kellner@fs.cvut.cz

Abstrakt: Ergonomie je mezi včelaři poměrně opomíjeným tématem. Důvodem může být fakt, že se jedná o specifické téma, o kterém se ve včelařských publikacích příliš nepíše a také existuje velmi málo vědeckých publikací, které by se tímto tématem zabývaly. V úvodu jsou nastíněny podněty pro psaní tohoto článku. Následně jsou rozebírány rizikové faktory ve včelařství. V další kapitole jsou uvedeny výsledky ergonomické analýzy pracovních poloh a pohybů ve včelařství, která byla provedena s podporou softwaru Siemens Tecnomatix Jack 9.0. V závěru jsou probrána technická řešení pro zlepšení ergonomie práce a zvýšení produktivity.

Klíčová slova: Ergonomie, Včelařství, Nástavkové úly, Ergonomická analýza, Balancér

Úvod

Na území České republiky je v dnešní době nejrozšířenější způsob včelaření v nástavkových úlech. Jeden plný nástavek může dosahovat hmotnosti až 45 kg. Včelařství během roku vyžaduje po včelaři schopnost obětovat část svého volného času. Proto není překvapením, že velkou část včelařské komunity tvoří lidé v důchodovém věku. Člověku se stářím dochází síla, a poté nemusí být schopen manipulovat s plnými nástavky, nebo to pro něj může být velmi namáhavé. Z tohoto důvodu jsou někteří včelaři nuceni skončit se včelařením i přesto, že by se tomuto oboru chtěli věnovat nadále. Tento problém je jedním z podnětů, kterým se zabývá tento článek s cílem nalézt technické řešení. Dalším cílem článku je informovat včelaře o existujících zdravotních rizicích ve včelařství z pohledu ergonomie. Při neznalosti základních principů ergonomie hrozí v tomto oboru sklon ke vzniku zdravotních rizik jak krátkodobých, tak i dlouhodobých. Toto se týká každého z celkového počtu 64 000 současně aktivních včelařů. V následujících kapitolách je provedena ergonomická analýza manipulace s nástavky, procesu odvíčkování a manipulace s rámkem.

1 Rizikové faktory při včelaření

Práce ve včelařství obnáší zvedání břemen v podobě nástavků a rámků. Včelař s nimi manipuluje při kontrolách včelstva, které se provádějí průběžně během roku a dále tuto činnost včelař vykonává velmi často během medobraní. Při nesprávné manipulaci s nástavky hrozí riziko bolesti zad, rukou a ramenou.

Dalším rizikovým faktorem je práce v nepřírozené poloze. Před vložením plných rámků do medometu je nutné nejprve zavíčkované plásty odvíčkovat. Tradiční způsob odvíčkování se provádí pomocí včelařské vidličky, či nože. Odvíčkování tradičním způsobem je poměrně namáhavé na ruce, především na zápěstí. Důvodem únavy je soustavně se opakující nepřírozená poloha zápěstí. Za léto včelař musí odvíčkovat několik plástů, neboť jeden úl 39x24 obsahuje obvykle 22 medných rámků a každý rámeček se musí odvíčkovat z obou stran. Například při chovu 15 včelstev včelař odvíčkuje 330 rámků, přičemž vykoná kolem 26 400 pohybů zápěstím. Z pohledu ergonomie lze na odvíčkování nahlížet jako na monotónní činnost, která soustavně zatěžuje jednu část těla.

Mezi další krátkodobé zdravotní rizika lze zařadit poranění rukou, článků prstů, či chodidel. Důvodem náchylnosti k těmto poraněním je způsob práce ve včelařství. Včelař obvykle sahá do méně přístupných míst, zvedá rámy pomocí koneček prstů, nebo manipuluje s těžšími nástavky, které mu mohou vypadnout a způsobit zranění chodidel. K poranění rukou dochází také při kontaktu s ostrým hrotem vidličky během odvíčkování.

Při kontaktu se včelami vzniká riziko včelího bodnutí, proto by se měl včelař obléknout do včelařského obleku, který se skládá z kombinézy, rukavic a včelařské kukly. Na druhou stranu při vyšších venkovních teplotách může být včelařovi v obleku nepříjemné teplo a následným zvýšením tělesné teploty může docházet k dehydrataci. [1][2]

2 Ergonomická analýza pracovních pohybů

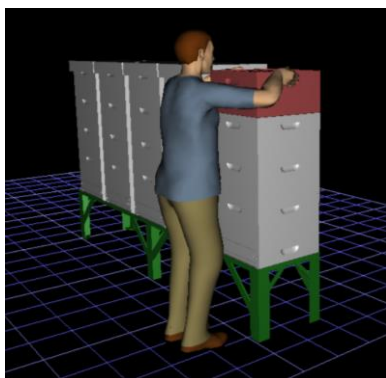
Analýza jednotlivých úkonů ve včelařství byla provedena s využitím programu Siemens Tecnomatix Jack 9.0. V závislosti na rozmanitosti antropometrických údajů lidí mohou být výsledky analýzy mírně odlišné od skutečných hodnot konkrétního včelaře. Získané výsledky ovšem poskytují dostatek informací k analýze náročnosti pracovních poloh, jejich zhodnocení a případnému nalezení technického řešení, které sníží namáhavost daného úkonu. Pro získání objektivních dat byl posuzovaným subjektem vybrán průměrný Evropan o výšce 175 cm a hmotnosti 79 kg.

Přijatelnost pracovních poloh byla posouzena metodou OWAS (Ovako Working posture Assesment System) a také dle nařízení vlády č. 361/2007 Sb., které stanovuje podmínky ochrany zdraví při práci. Metoda OWAS umožňuje rychlé zhodnocení pozice zad, dolních i horních končetin, trupu a uvažuje i případné zatížení břemenem. Pomocí bodového ohodnocení pracovních poloh metoda poukazuje na míru urgency zavedení korektivních opatření pro ochranu zdraví pracovníka.

Analýza zatížení spodní části zad byla provedena pomocí metody Lower Back Analysis (dále LBA). Tato metoda vychází z metody NIOSH (National Institut of Occupational Safety and Health), která je jednou z nejrozšířenějších metod pro hodnocení zátěže při manipulaci s břemeny. Metoda NIOSH byla použita také při analýze horních končetin během zvedání nástavků z vyšších pater. [3]

2.1 Manipulace s nástavky

Manipulace s nástavky je kvůli jejich vyšší hmotnosti (až 45 kg) poměrně náročnou činností. Analýza NIOSH poukázala na nadměrné zatížení zápěstí a ramen. Z analýzy LBA vyplývá zvýšené zatížení spodní části zad, kde hodnoty dosahují 3325 N. Pracovní poloha je dle analýzy OWAS ohodnocena úrovní 2, která značí, že poloha může mít škodlivý efekt na tělo. Dle nařízení vlády č. 361 se nacházejí zápěstí a horní končetiny v nepříjemné poloze. Důležitým faktorem je vzdálenost těla od nástavků při zvedání. Včelař by se měl při zvedání nástavku nacházet co nejbližší, tak aby byla práce nejméně namáhavá. Pro ilustraci byla vybrána nejhorší poloha při zvedání nástavků, tedy z vyšších pater viz Obr. 1.

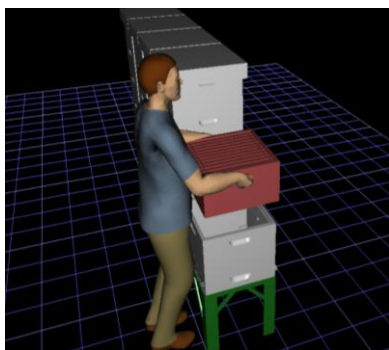


Obr. 1. Manipulace s nástavky

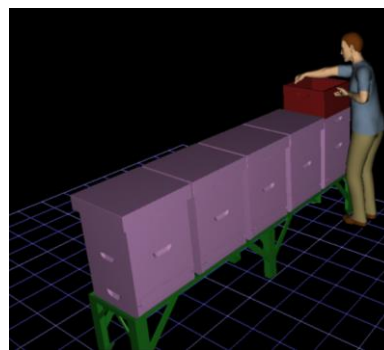
2.2 Způsob uchycení nástavku

Následující polohy při zvedání nástavku byly hodnoceny dle nařízení vlády č. 361. První způsob uchycení nástavku viz Obr. 2 představuje manipulaci s nástavkem s využitím bočních úchytů. Tato poloha je z ergonomického hlediska vhodnější, jediný nedostatek je spatřován v poloze zápěstí, u kterého jsou překročeny doporučené hodnoty pro ulnární dukci¹. Druhou variantou úchopu je využití úchytů na přední a zadní straně nástavku viz Obr. 3. Tímto způsobem může docházet k vyššímu namáhání trupu, jehož příčinou je rotace těla kolem své osy. Z pohledu pracovní polohy se nachází pravá ruka a levý loket v nepřírozené poloze. Zápěstí se nachází také v nepřírozené poloze. Při častém a dlouhodobém zvedání nástavků způsobem č.2 hrozí vyšší únava horních končetin.

Ze zdravotního hlediska je nejvhodnější zmíněné způsoby uchycení střídat, neboť krátkodobá práce v nepřírozené poloze není zdraví škodlivá. Naopak občasné zvedání nástavku způsobem č.2 může mít příznivý vliv na tělo, protože dochází k protažení svalstva a zapojení i jinak nepoužívaných svalů. Ergonomické zhodnocení zmíněných úchopů dále souvisí se způsobem vkládání rámků do nástavku. Polohy těla při vkládání rámků do nástavku při tzv. stavbě na studeno jsou obdobné jako na Obr. 3. Při stavbě na teplo je poloha těla obdobná jako při zvedání nástavku na Obr. 2.



Obr. 2. Úchop nástavku: Varianta 1



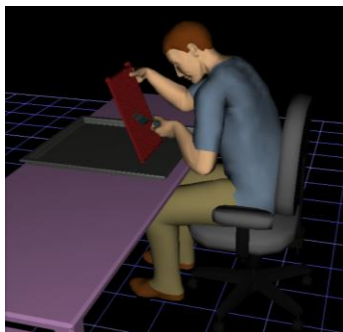
Obr. 3. Úchop nástavku: Varianta 2

2.3 Odvíčkování

Nejprve byla provedena analýza odvíčkování plástů včelařskou vidličkou vsedě viz Obr. 4. Dle nařízení vlády č. 361 je v dané pozici nepřírozená poloha zápěstí levé ruky, dochází k příliš velké ulnární dukci a dorzální flexi². Poloha levého lokte je také vyhodnocena jako nepříjemná. Při nepřetržitém odvíčkování v této poloze po delší dobu (8 hodin) hrozí bolest zápěstí a rukou. Poloha vsedě je z hlediska únavy nohou příznivá, avšak hrozí zde riziko shrbení, které může v dlouhodobém horizontu způsobovat bolest zad. Z dlouhého sezení za současného přidržování rámků dochází k únavě horní části zad, ramen a rukou.

¹ Pohyb zápěstí směrem za malíkem

² Pohyb zápěstí směrem za hřbetem ruky



Obr. 4. Odvíčkování vsedě

Z hlediska ergonomie vychází poloha vstojе vzhledem ke zdraví páteře lépe. Na Obr. 5 je znázorněno odvíčkování vstojе s využitím přípravku na uchycení rámků. Při výběru odvíčkovacího stolu je důležitá jeho výška, tak aby výsledná pracovní rovina byla v optimální pracovní výšce. Dle nařízení vlády č. 361 vyplývá z této pracovní polohy zlepšení ergonomie pohybu v oblasti rukou, lokte i zad. Zlepšení pracovní polohy přispívá následně ke snížení únavy těchto oblastí. Poloha zápěstí levé ruky se zde nemění, jedná se tedy stále o značně namáhanou část těla. Avšak oproti poloze vsedě dlouhodobá poloha vstojе způsobuje únavu dolních končetin.

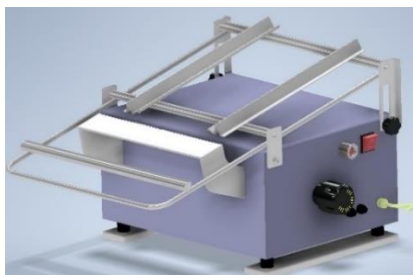


Obr. 5. Odvíčkování vstojе

3 Technické řešení

Celkovou změnu pracovních pohybů při odvíčkování přinesla automatizace. Změna charakteru práce ulevila opakovaně, či dlouhodobě zatěžovaným částem těla jako jsou ruce, zápěstí, ramena a záda. Nepřirozený pohyb při ručním odvíčkování tak nahradilo pouhé zakládání rámků, případně posuv rámků ve stroji. S vyšším stupněm automatizace ubývá množství potřebné práce pro odvíčkování plástu. Použití odvíčkovacího zařízení navíc výrazně zvyšuje rychlost odvíčkování plástu.

Typ odvíčkovacího zařízení se obvykle volí dle počtu chovaných včelstev. Odvíčkovací zařízení z Obr. 6 a Obr. 7 jsou vhodná do 100 chovaných včelstev. Dražší zařízení z Obr. 8 mohou využít např. velkochovatelé s více jak 100 včelstvy. Pro velkochovatele dále existují zařízení s automatickým podavačem a odeběračem rámků. Tato zařízení nabízejí firmy jako je například Lyson, Lega, Konigin.



Obr. 6. Horizontální odvíčkovací zařízení



Obr. 7. Odvíčkovací zařízení s válcovými noži [4]



Obr. 8. Odvíčkovací zařízení s řetězovým podavačem [5]

Manipulaci s nástavky, případně s celými úly si lze také usnadnit pomocí jeřábů, balancerů, vozíků nebo jiných speciálních zdvihacích systémů. Co se týče zvedacích zařízení, pro daný účel jsou vhodné elektrické kladkostroje a elektrické či pneumatické balancéry. Spolu se zvedacím zařízením je dobré pořídit i vozík a přípravek na uchycení nástavků viz Obr. 9. Výhodou výše zmíněných balancérů je přesná a rychlá manipulace s břemenem, kdy operátor vykonává pohyb s břemenem bez nutnosti používat tlačítka na ovladači. Elektrické a pneumatické balancéry dokáží pomocí senzorů měnit sílu zdvihu na základě aktuálně zavěšeného břemene. Toto vyvážení sil má na břemeno levitující vliv. Operátorovi následně stačí použít minimální sílu pro potřebnou manipulaci. Mezi výrobce elektrických balancérů patří například firmy Zasche, Demag, Toyo, Binar nebo Indeva. Balancér s nosností 80 kg až 125 kg může vyjít na 130 000 Kč bez DPH a výše. Pneumatický balancér o nosnosti 68 kg nabízí například firma Ingersoll Rand za cenu 70 000 Kč bez DPH. Oproti elektrickým balancérům mají nevýhodu v požadavku na přívod stlačeného vzduchu. Z ekonomického důvodu se investice do těchto zařízení vyplatí spíše velkochovatelům. Je však potřeba upozornit, že balancéry pracující na pružinovém principu nejsou vhodným technickým řešením pro hledané účely, přestože jsou výrazně levnější. Toto vychází z konstrukce balancéru, kdy se na požadovanou hmotnost břemene nejprve nastaví příslušné předpětí v pružině. Po uvolnění břemene z přípravku však dochází k nebezpečnému vrácení pružiny do původního uvolněného stavu.

Elektrické kladkostroje se nabízí v různých variantách, kde je z pohledu produktivity práce zajímavým parametrem rychlost zdvihu. Elektrické rychlozdvihací kladkostroje od firmy Tawi nebo Verlinde dosahují rychlosti zdvihu až 40 m/min. Rychlozdvihací kladkostroje se ovšem kvůli složitější technice prodávají kolem 200 000 Kč bez DPH. Vhodné varianty kladkostrojů pro menší chovatele nabízejí například firmy Demag, Kito, GIS nebo Yale. V produktovém katalogu lze nalézt elektrické kladkostroje s nosností 60 kg, rychlostí zdvihu od 20 m/min až 30 m/min, jejichž cena začíná na 34 000 Kč bez DPH. Tato zařízení nabízejí odpovídající rychlost zdvihu postačující pro produktivní práci při manipulaci s břemeny. Při výběru je možné vybrat také dvourychlostní kladkostroje, kdy pomalejší rychlost operátor používá k přesné manipulaci. Na rozdíl od balancérů je u kladkostrojů potřeba využívat ovladač. Pro pohodlnou práci se doporučuje umístit ovladač do konstrukce přípravku na uchycení nástavků.

Běžné elektrické kladkostroje s rychlostí zdvihu okolo 8 m/min jsou vhodné pro trpělivější včelaře, kteří chovají kolem 10 včelstev. Cena těchto kladkostrojů se pohybuje okolo 5 000 Kč.



Obr. 9. Ukázkový příklad využití zdvihacího zařízení ve včelíně

Závěr

Ergonomie je důležitým faktorem v mnoha oborech a včelařství není výjimkou. V článku byly probrány rizikové faktory ve včelařství, konkrétně manipulace s břemeny a nevyhovující pracovní polohy. Krátce bylo také poukázáno na riziko dehydratace. V další části byla provedena ergonomická analýza vybraných úkonů ve včelařství s využitím simulačního programu Siemens Tecnomatix Jack 9.0. V rámci vyhodnocení namáhavosti zvedání nástavků byly použity metody OWAS, LBA a NIOSH. Pro vyhodnocení pracovních poloh jak při manipulaci s nástavky, tak při odvíčkování bylo použito nařízení vlády č. 361/2007 Sb. Pro zlepšení ergonomie ve včelařství je v článku poukázáno na možná technická řešení. Zmíněná zařízení nejenže snižují únavu, ale v případě odvíčkování výrazně zvyšují i produktivitu práce. Využití manipulačních zařízení ve včelařství umožňuje starším včelařům se slabší fyzickou zdatností nadále pokračovat v jejich oblíbené činnosti.

Literatura

- [1] TOPAL, Erkan a kol. A Critical Point in Beekeeping: Beekeepers' Health. Bulletin of UASVM Food Science and Technology [online]. Cluj-Napoca, 2019. [vid. 26.05.2022]. ISSN 2344-5300. Dostupné z: doi:10.15835/buasvmcn-fst:2018.0021
- [2] FELS, D.I.; BLACKLER, A.; COOK, D. a FOTH, A. Ergonomics in apiculture: A case study based on inspecting movable frame hives for healthy bee activities. Heliyon [online]. 2019. [vid. 26.05.2022]. ISSN 24058440. Dostupné z: doi:10.1016/j.heliyon.2019.e01973
- [3] ErgoPlus team. Workplace Ergonomics. ErgoPlus [online]. [vid. 26.05.2022]. Dostupné z: <https://ergo-plus.com/workplace-ergonomics/>
- [4] LEGA [online]. LEGA s.r.l. [vid. 26.05.2022]. Dostupné z: <https://www.legaitaly.com/en/products>
- [5] LYSON [online]. LYSON-CZ s.r.o. [vid. 26.05.2022]. Dostupné z: <https://lyson.cz/342-odvickovaci-zarizeni?order=product.price.desc&page=2>
- [6] NETÍK, Tomáš. Ekonomické a ergonomické aspekty při modernizaci včelína. Praha, 2022. Bakalářská práce. ČVUT v Praze, Fakulta strojní

Kanceláře budoucnosti z hlediska ergonomie a optimalizace pracovního prostředí

Jan Holočí¹, Lucie Hrbáčková, Eva Juříčková

¹ Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta managementu a ekonomiky, Ústav průmyslového inženýrství a informačních systémů, Mostní 5139, 760 01, Zlín, lhrbackova@utb.cz, holoci@utb.cz, jurickova@utb.cz

Abstrakt: Tento článek je věnován tématu kanceláře budoucnosti, které se v poslední době čím dál tím více dostává do podvědomí společností, a to i díky externích globálním vlivům. Zvýšené nároky na digitální komunikaci, flexibilní pracovní stanice a střídavou práci doma se stávají soudobými trendy administrativních pracovníků. Hlavním cílem tohoto článku je představení těchto kanceláří v kontextu ergonomie, mentální hygieny práce, správného layoutu kanceláře, trhem nabízených zdravotně ergonomických prostředků a soudobých globálních trendů působících na práci v administrativě. Autoři článku použili metodu kvalitativního výzkumu ve formě checklistů a polostrukturované rozhovory s pracovníky vybraného administrativního procesu. Důvodem vytvoření kanceláří budoucnosti je snížení pracovní zátěže a zdravotních potíží u pracovníků, zvýšení motivace pracovat pro danou firmu a zvýšení produktivity práce. Tato studie může být přínosná pro firmy jako ukázková studie pro nastavení kanceláře budoucnosti pro svoje zaměstnance. Hlavní výsledky tohoto článku jsou postupové kroky pro vytvoření kanceláře budoucnosti a prvky, které by tato kancelář budoucnosti měla obsahovat.

Klíčová slova: Ergonomie, kanceláře budoucnosti, administrativa, pracovní prostředí

Úvod

V současnosti se svět nachází v turbulentním prostředí plné globálních změn. Tyto změny byly nastartovány čtvrtou průmyslovou revolucí, která firmy podnítila k digitalizaci a automatizaci svých procesů. Digitalizace procesů měla zásadní vliv také na člověka jako pracovní prvek v procesu, a to zejména ve zvýšeném požadavku na kvalifikaci v oblasti zvýšení odborných znalostí a zdatností s informačními technologiemi. Díky automatizaci došlo k snížení zátěže repetitivních činností, které se vyskytují zejména u pracovníků ve výrobě a způsobují nemoci z povolání. Druhou zásadní výzvou pro firemní prostředí bylo onemocnění Covid-19, které vyvolalo potřebu změny v komunikaci mezi pracovníky, rozšíření práce doma a vytvoření mobilních pracovních stanic (stolů) s cílem snížit náročnost a náklady na administrativní prostory. Zatímco některé společnosti na tyto externí aspekty aktivně reagují a neustále se posouvají dopředu, jiné firmy zůstávají resistantní k těmto trendům, což má za následek nejen snížení výkonnosti procesů, ale bohužel negativní vliv na zdraví pracovníků ve formě stále se zvyšujících zdravotních problémů u pracovníků nebo již samotného vzniku nemocí z povolání. Tento článek má poukázat na důležitost věnovat se pracovnímu prostředí u administrativních pracovníků, a to zejména z důvodu zvyšující se četnosti zdravotních problémů vyvolaných statickou a často nevhodnou prací vsedě a přetěžování se vedoucí v některých případech až k pracovnímu vyhoření. Pro firmy je přínosné se začít zabývat nejen ergonomií ve výrobě, ale také v kancelářích, kde jejich zaměstnanci nesplňují požadavky vyplývající z doporučení Státního zdravotního ústavu a dalších legislativních požadavků. Toto nevhodné pracovní prostředí má za následek poškozování zdraví pracovníků a zároveň snížení jejich výkonu z dlouhodobého hlediska.

Velmi zajímavý pohled v této oblasti sdílí [21], který ve své práci uvádí, že u každé kanceláře při návrhu by neměly být opomíjeny tři základní, ale zároveň velmi prosté oblasti. První oblastí je obecné rozložení celého layoutu. Už při navrhování je zcela zásadní důkladně promyslet o jaký typ kanceláří se bude jednat. Budou to open-space kanceláře anebo soukromé kanceláře. Druhá oblast se přímo váže k dané práci, která bude v kanceláři vykonávána. V tomto bodě se totiž určuje, zda kancelář a patřičné místo bude přiděleno konkrétnímu člověku anebo to bude volné místo k sezení pro kohokoliv, kdo to bude

zrovna potřebovat. Třetí oblastí je vytvoření takového prostředí, ve kterém zaměstnanci budou sami chtít pracovat a trávit svůj čas. Tento bod by měl především redukovat aktuální trend práce z domu, kaváren apod. Oproti tomu už před více jak 20 lety, v roce 2001 autor [26] ve své knize uvedl deset nejdůležitějších klíčových vlastností, které by měly disponovat v každé kanceláři. Jednotlivě těmito vlastnostmi jsou:

1. Schopnost vykonávat samostatnou práci bez rozptylování;
2. Podpora pro improvizované interakce
3. Podpora nerušených skupinových setkání a prací
4. Pohodlné pracovní prostředí, **ergonomie** a dostatek prostoru pro potřebné pracovní nástroje
5. Možnost pracovat skoro „vedle sebe“ a kdykoliv mít možnost vstoupit do rozhovoru
6. Nachází se poblíž anebo je přímo v dosahu spolupracovníků
7. Pracoviště má **vhodná místa** pro přestávky (**relaxační zóny**)
8. Pracoviště nabízí přístup k potřebné technologii
9. Kvalitní osvětlení a přísun denního světla
10. Možnost kontrolování teploty a kvality vzduchu v místnosti

Věděli jste? Už před tolika lety byla skloňována důležitost ergonomie pro pohodlí a optimální výkonnost člověka a jak to vypadá v kancelářích dnes? Málo prostoru, špatné nastavení micro-layoutu, židle nepodporující základní zakřivení páteře, velmi často také umístění klimatizace nad něčími zády či nastavení pracovního stolu proti oknu. Toto jsou rizika vnější, ale existují i vnitřní. Ty se nejvíce vztahují např. k dlouhému pracovnímu vyčerpání v jedné statické poloze, repetitivním pohybům či práci v nepřírodných polohách [8]. To vše a mnohem více je každodenní rutinou ne desítek, ani stovek, ale tisíců THP pracovníků po celém světě [2]. Tato situace je o to víc politování hodná, když si uvědomíme, že výše uvedená rizika opravdu mají určitou „váhu“ a ve velké míře způsobují různé nemoci pohybového aparátu, které mohou v nejhorších případech přerůst až do podoby nemoci z povolání [7].

Možná si teď kladete otázku: „Jak to můžeme změnit?“ popřípadě „A jaké tedy budou kanceláře budoucnosti?“. Autor Harris [19] je přesvědčen, že se kanceláře budoucnosti ponесou především ve jméno špičkových technologií, jejichž cílem bude danou práci ulehčit či jí udělat více „user-friendly“. Tento názor podporuje i Grubert [20], který věří, že využití technologií virtuální reality (VR) v kontextu montovaných displejů na hlavu umožní zcela nové kancelářské zážitky při práci. Na druhou stranu při budování kanceláří budoucnosti nemůžeme začínat s moderními technologiemi jako je virtuální a augmentovaná realita. Nejprve je potřeba postavit solidní a pevné základy, na kterých se postupně bude dát stavět. Takovým pomyslným základem je rozhodně ergonomie práce, ale i prostředí. Druhým krokem může být úprava layoutu, která se odráží právě od předešlé ergonomie. Třetím krokem je vytvoření si správných návyků souvisejících s hygienou práce a pravidelnými přestávkami spojenými s protažením a cvičením. Posledním krokem bude implementace moderních konceptů tzv. relaxačních zón a špičkových technologií.

1 Literární rešerše

Ergonomie v kanceláři lze rozdělit do dvou oblastí, které se vzájemně prolínají a následně vytvářejí finální podobu celého layoutu pracoviště. První oblast, lze charakterizovat jako evaluaci pracovního prostředí, především z hlediska fyzických objektů, které nás ovlivňují. Oproti tomu druhá oblast je více méně soustředěna pouze na člověka, jeho potřeby a racionalitu pracovní činnosti. Tento postup byl zmapován autorem Chim [15], který vytvořil ergonomický kancelářský program s názvem FITS, přičemž každé písmeno z názvu představuje konkrétní činnost.

- (F)urniture (nábytek) – se zabývá správným vyhodnocením a výběrem vhodného nábytku.
- (I)ndividual (individuální) – tato část je věnována individuálními posouzení dané pracovní stanice
- (T)rainning (trénink) – zde je věnována pozornost důkladnému proškolení a vzdělávání zaměstnanců
- (S)tretching (strečink) – posledním bodem FITS jsou strečinková cvičení a systém přestávek určených k protažení a nabrání sil.

1.1 Micro-layout kanceláře

Při prvním zamyšlení nad vhodným nábytkem do kanceláře jsou v současnosti i v blízké budoucnosti zcela zásadní dvě věci – židle a pracovní stůl. Autor [6] ve své publikaci dopodrobna řeší problematiku vhodné židle z pohledu ergonomie. Zde je potřeba si uvědomit, že to, že židle „ergonomická“ je vybavená bederní a krční opěrkou s nastavitelnými područkami z ní automaticky nedělá vhodnou židli pro všechny [11]. Každý z nás je unikátní svou výškou, tělesnými proporcemi, predispozicemi apod. a u těchto záležitostí je zcela zásadní vybrat takovou židli, která výše uvedené prvky sice má, ale primárně musí být pro nás pohodlná. Na druhou stranu můžeme mít k dispozici sebelepší židli, ale pokud neumíme nebo alespoň nemáme povědomí o správném sezení, tak je nám tato vymoženost v podstatě k ničemu [24].

Oproti tomu výškově nastavitelný stůl se může lišit jeden od druhého ve svém designu a způsobu vysouvání/zasouvání, avšak vždycky pozitivně ovlivní zdraví člověka. V kancelářích budoucnosti by měl být zcela běžně nastavený systém kdy je kancelářská práce rozdělena na výkon vsedě a vstoje, přičemž se tyto polohy neustále mění. Není potřeba zde mít pevně nastavený režim, protože může být někomu nevyhovující [25]. Nicméně je potřeba brát důraz na pravidelnost přestávek spojených s protažením a změnou práce vsedě a vstoje. U obou těchto případů je zcela zásadní, aby byl vždy k dispozici vzdělaný odborník (fyzioterapeut), který zaměstnancům pomůže se základním nastavením pracoviště. Zároveň pravidelnými konzultacemi může zaměstnance vzdělávat i v jiných oblastech jako např. správné dýchání, aktivace hlubokého stabilizačního systému či pravidelného protahování vedoucího k eliminaci nadměrnému přetěžování. V neposlední řadě takovýto odborník dokáže poradit i na poli ergonomických doplňků jako např. vertikální myš, ergonomická podložka na nohy apod.

1.2 Relaxační zóny

Koncept relaxačních zón je čím dál tím více populární a v budoucnosti by jednoznačně měl tvořit základ kanceláří budoucnosti. Tento koncept lze nejlépe charakterizovat jako místnost, která je určena zaměstnancům k rychlé a efektivní regeneraci. V praxi má tato místnost hned několik využití a podob. Zaprvé z hlediska využití se může jednat o místnost, kam o pracovní přestávce zavítají pracovníci, kteří jsou vyčerpaní, unavení a potřebují přestávku s obnovou, aby mohly po ukončení přestávky pokračovat ve své práci. Na druhou stranu druhým typickým příkladem jsou lidé, kteří čelí silnější formě psychické zátěže v podobě (stresu, úzkosti, strach apod.). Jen pro představu v roce 2016 se uskutečnil celo Evropský průzkum, který odhalil, že **až 36 % evropských pracovníků** je vystaveno **nadměrnému stresu** skoro každý den [23]. Jako příčina tohoto stresu byl uveden tlak a nastavování velmi přísných finálních milníků jejich práce. V případě, že chceme odbourat tento stress je zapotřebí vytvořit takové prostředí které dokáže navodit velmi příjemnou a uvolňující atmosféru, kde se člověk může po psychické stránce dát dohromady a eliminovat negativní vlivy. Toto pracovní prostředí relaxačních zón byl například využit v průběhu pandemie COVID-19 u zaměstnanců nemocnic k lepšímu zvládnutí stresu a velmi náročných psychických situací [5].

1.3 Moderní technologie v kancelářích

Při současné rychlosti technologického vývoje, lze předpokládat, že do 3 až 5 let budou v kancelářích k dispozici moderní technologie, příkladu virtuální a augmentová realita. V rámci moderní terminologie bychom mohly tento koncept označit jako smart office. Jak uvádí [30] takovéto systémy by se měly v budoucnu soustředit především na fyziologické signály, které lze objektivně měřit a určit tak úroveň daného stresu či jiné zátěže. Mezi nejlepší signály k měření lze zařadit srdeční frekvence (HR), variabilita srdeční frekvence (HRV) extrahovaných z EKG, ale i vzorce chování, držení těla, způsobu psaní či řeči. Na druhou stranu lze na kanceláře budoucnosti přihlížet i z jiného úhlu. Autor [4] se snaží vyvinout energeticky soběstačný systém, který by na základě monitoringu zaměstnanců korigoval jednotlivé činnosti. Například na základě dat by určil kdy, jak a jaká konferenční místnost musí být vytápěna dle plánu anebo kdy a v jakém množství předat el. energii zaměstnancům. Tuto teorii potvrzuje i [12], který uvádí, že inteligentní systém řízení udržitelných zdrojů dokáže v budoucnosti např. zlepšit recirkulaci vzduchu nebo UV dezinfekci vzduchu, která může mít pozitivní dopady na zdraví pracovníků. Oproti tomu Ayoko [29] vidí značný potenciál ve virtuální realitě, skrze kterou by se v budoucnosti mohlo kolaborovat a pracovat jak vzdáleně, tak i na místě v kancelářích.

Nicméně je potřeba si uvědomit, že budoucnost není pouze ve virtuální realitě či SMART systémech. Již v současnosti existují technologie, které jsou uživatelsky velmi příjemné na ovládání a zároveň dokážou myslet na zdraví člověka. Autorka [22] představila ergonomickou aplikaci, která skrze mobil/tablet dokáže analyzovat dané pracoviště i s člověkem a následně nabídne adekvátní postup, jak layout upravit, aby byl více přívětivý pro zdraví člověka. Podobnou cestou se vydal i [27], který vytvořil systém MAS (Motion Analysis System), díky němuž využívá systém kamer a technologie optického motion capture bez markerů k zaznamenání jednotlivých pohybů člověka, které mohou být následně vyhodnocené dle nejrůznějších ergonomických metod (RULA, REBA, NIOSH). Zde je potřeba zmínit, že tento systém je zatím využívám u operátorů, nicméně je logické, že stejné přístupy se dají využít i v kancelářích.

Studie uvádí různé poznatky o kancelářích budoucnosti nebo práci v kanceláři, ale žádná se nezabývá nastavením všech prvků, které by měly kanceláře budoucnosti tvořit. Této problematice je věnován tento článek.

2 Metodologie výzkumu

Tato studie je postavena na kvalitativním výzkumu. Autoři článku použili případovou studii, která slouží jako vzorový příklad pro definování prvků, které jsou klíčové pro nastavení kanceláře budoucnosti. Byla vybrána jedna kancelář se 3 pracovníci, které vykonávají administrativní činnost a jejich pracovní poloha je vsedě. Autoři článku využívají v této případové studii checklisty z podkladů Státního zdravotního ústavu pro zjištění aktuálního stavu dodržování ergonomických principů pro práci vsedě a pro zjištění zdravotních problémů spojených s přetěžováním vymezených částí těla. Dále jsou použité polostrukturované rozhovory s cílem zjistit nevhodně nastavené prvky v současné kanceláři a podněty, které by si pracovníci představovaly v návrhu nové kanceláře.

Na základě literární rešerše byly zvoleny následující oblasti, které byly auditovány na vybraném pracovišti:

- Layout pracoviště – osvětlení, přísun denního světla, umístění stolů, oken a dveří, teplota a kvalita vzduchu v kanceláři, hluk v kanceláři
- Ergonomické prvky práce vsedě, aktuální zdravotní pomůcky používané při práci vsedě
- Duševní hygiena pro výkon práce a možné zdravotní obtíže související s výkonem práce
- Nové trendy – nové technologie pro výkon práce, mobilní pracovní stanice, otevřené kanceláře, relaxační zóny

Cílem výzkumu je stanovit hlavní prvky, které by kancelář budoucnosti měla obsahovat a postupové kroky, které povedou k vytvoření takovéto kanceláře.

3 Výsledky výzkumu a diskuze

V rámci kvalitativního výzkumu byla vybrána jedna administrativní kancelář, ve které pracují tři pracovníce. Jde o administrativní proces – podpora a zajištění obchodu. Charakter této práce je 8 hodinová pracovní doba, práce u počítače, nutnost zvedat telefony od kolegů, pracovníce používají k výkonu práce počítač, poznámky ze sešitu a telefon.

3.1 Layout pracoviště a pracovní prostředí

Pro analýzu layoutu pracoviště a parametrů pracovního prostředí byly použité otázky v rámci strukturovaného rozhovoru připravené a položené pracovnícím. Byl zjišťován aktuální stav rozmístění kanceláře (layout), teplota a světlo v kanceláři. Výsledky tohoto dotazování jsou uvedené v tabulce Tab.1.

Tab. 1. Layout a parametry pracovního prostředí – současná situace (autoři článku)

Layout kanceláře	Dveře jsou umístěné zády k pracovnícím – otáčí krk a hlavu	Monitor je umístěný před oknem – slunce svítí do očí	Jedno místo je pro pracovníci, která chodí nepravidelně	Uprostřed místnosti konferenční stůl, který se nevyužívá
Teplota v kanceláři	V zimě je v kanceláři přijatelně, cca 23 stupňů	Před okny je plechová střecha, tedy v létě vysoká teplota v kanceláři	Klimatizace fouká přímo na pracovníce	
Světlo v kanceláři	Okna jsou na západ. Od 12 hodin poledne svítí slunce do oken	Z důvodu monitorů před okny, nejdou okna otevřít dokořán a jednorázově vyvětrat	Od 12hodin jsou zatažené žaluzie. Tedy je nutné zapnout umělé osvětlení	Denní, přirozené světlo pouze půl pracovní doby

Z dotazování vyplývá, že layout není aktuálně vhodně sestavený a bude potřebovat změnu. Problémem jsou dveře umístěné zády k pracovnícím, monitor proti oknu a klimatizace, která proudí na pracovníce. Pracovníce se necítí v kanceláři bezpečně a pohodlně.

3.2 Ergonomie v kanceláři

Pro zjištění ergonomických principů při práci vsedě byl vykonán audit dle ergonomických checklistů a nových metod práce při hodnocení ergonomických rizik podle [16]. Při práci vsedě byly auditovány u všech tří pracovníc tato kritéria: pracovní výška rukou, výška displeje, tloušťka povrchu pracovní desky, hloubka a šířka prostoru pro kolena, prostor pro stehna, vzdálenost provádění práce, hloubka prostoru pro nohy, vzdálenost zadní části prostoru pro nohy a výška prostoru pro nohy.

Jediné kritérium, které bylo mimo stanovené hranice byla vzdálenost provádění práce, tzn. vzdálená klávesnice daleko od okraje stolu, obrázek Obr. 1. Pracovníce po dobu pracovní doby používají poznámky, resp. zápisky. To je důvodem vzdálené klávesnice, která následně způsobuje vychýlení páteře a předklon. Dalším nedostatkem byla nevyhovující opěrka pro loket, která nelze nastavit dle správné výšky ruky k pracovní desce.

Kritéria	Doporuč. rozměry	Výsledek měření	Přijatelné
G. Vzdálenost provádění práce	2,21–10 cm	14, 32-35, 39 cm	ano ne
H. Hloubka prostoru pro nohy	15 cm	30 cm	ano ne
I. Vzdálenost zadní části prostoru pro nohy	61 cm	65-80 cm	ano ne
J. Výška prostoru pro nohy	15 cm	30 cm	ano ne

Obr. 1. Kritéria pro checklist pro práci vsedě u monitoru – vybraná kritéria (autoři článku)

3.3 Zdravotní obtíže související s výkonem statické činnosti

Pracovnice vykonávají 8 hodinovou pracovní dobu. Pracovnice 1 pracuje na této pozici již 7 let. Pracovnice 2 vykonává tuto činnost 1 rok po mateřské dovolené a pracovnice 3 pracuje ve firmě na administrativní pozici již 18 let. Pracovnice vykonávají statickou činnost, která má dle výsledků hodnocení pohybového aparátu negativní vliv z dlouhodobého hlediska. Čím více let jsou pracovnice v uvedené pracovní poloze, tím více problémů s pohybovým aparátem mají v závislosti na dominantní ruku, kterou používají pro práci s myší. Pro zjištění únavy a bolesti pohybového aparátu byl použitý checklist z ergonomických checklistů Státního zdravotního ústavu [16].

Dominantní ruka	Pracovnice 1		Pracovnice 2		Pracovnice 3	
	Vlevo	Vpravo	Vlevo	Vpravo	Vlevo	Vpravo
Krk	1	2	1	1	3	2
Ramena	1	2-3	1	1	3	2
Horní část zad	1	1	1	1	3	2
Bederní část zad	2	2	0	0	2	2
Paže	1	2	0	0	0	0
Lokty	0	0	0	0	2	2
Předloktí	0	1	0	1	0	0
Zápěstí a ruce	1	1	0	2	3	2
Kyčle	1	2	0	1	1	1
Kolena	1	1	2	2	2	1
Bérce	1	1	0	0	1	1
Nohy	1	1	0	0	2	2

Únava a bolest 0 žádnou, 1 mírnou, 2 průměrnou, 3 silnou, 4 nadměrnou

Obr. 2. Hodnocení pohybového aparátu (autoři článku)

3.4 Nové trendy

Z hlediska nových trendů používaných v analyzované kanceláři bylo zjištěno, že firma využívá konceptu bezpapírové dokumentace, tedy pracoviště je čisté a přehledné. Každá pracovnice má dva monitory. Pro vzdálenou komunikaci používají komunikační platformu MS Teams.

3.5 Diskuze k zásadním prvkům kanceláře budoucnosti

Gjerland [21] upozorňuje na první zásadní skutečnost při navrhování kanceláří, která bude utvářet layout kanceláře. Tato skutečnost je rozhodnutí, zda půjde o open-space kancelář anebo soukromou kancelář. U tohoto bodu musíme zhodnotit možnosti firmy z hlediska administrativních prostor, resp. firemní kulturu a očekávání managementu a dále potřeb zaměstnanců, kteří budou v kanceláři sedět. Je nutné zajistit koncentraci pracovníků a zamezit možnému hluku v kanceláři. V případě otevřené kanceláře lze zvuk přehradit kartonovými přepážkami nebo plexisklem. Další bod, který autor Gjerland [21] zmiňuje, je rozhodnutí, zda vytvořená pracovní místa budou pro konkrétní pracovníky anebo půjde

o mobilní pracovní stoly, které může obsadit kdokoli. Státní zdravotní ústav zmiňuje ve svých výchovných materiálech, že umístění monitoru by nemělo být proti oknu a také ne naproti oknu, ale kolmo k oknu, kvůli odleskům [17]. Vytvořit vhodný layout kanceláře, který bude vyhovovat všem pracovníkům z kanceláře je úvodním prvkem kanceláře budoucnosti.

Dalším krokem je zaměření se na mikro prvek, a to zajištění správné pracovní pozice po celou dobu pracovní doby. Nemoci z povolání a zdravotní problémy z výkonu práce mohou plynout z dlouhodobého pracovního vytížení práci v jedné statické poloze, repetitivním pohybům či práci v nepřírodných polohách [13]. Zachování ergonomických principů pro práci vsedě lze dosáhnout vytvořením standardu, resp. vizuální návody nebo videa pro nastavení pravidel pro práci vsedě. Součástí takovýchto jednobodových lekcí je důkladné proškolení pracovníků, aby rozuměli zdravotním rizikům při výkonu svojí činnosti. Klidně může být tato část doplněná o spolupráci s ergonomem či fyzioterapeutem, který dokáže vysvětlit důsledky nevhodného sezení a ukázat pracovníkům a nastavit jim ergonomickou židli a správný posed u počítače. Ergonomická židle je vybavená bederní a krční opěrkou s nastavitelnými područkami, ale je nutné mít povědomí o správném sezení a židle musí být pohodlná pro daného pracovníka, který na ní sedí [1]. Cobaleda [25] doporučuje kombinovat práci vsedě a vstoje. Mezi další použitelné zdravotnické pomůcky může patřit ergonomická myš vertikální, podnožka pro nohy, klekací ergonomická židle, balanční židle, ergonomická zdravotní opěrka předloktí, balanční polštářky nebo jiné podsedačky na kancelářskou židli, opěrka hlavy nebo bederní opěrka zad. Zde je nutné si uvědomit důležitost střídání těchto zdravotních pomůcek v případě podsedáků, balančních nebo klekacích židlí v kratších intervalech v průběhu pracovní doby i s kombinací práce vstoje.

Hygienu práce je nutnou součástí vyvážené pracovní doby. Z provedených studií vyplývá, že je možné držet koncentraci 15-50 minut a následně je vhodné pro zajištění efektivity práce zapojit 10-15ti minutovou přestávku [18; 28]. Práce bez přestávek není v celkovém důsledku efektivní z hlediska vyprodukovaných výsledků. Pro tuto relaxaci lze využít relaxační místnosti nebo zóny. Jde o prostory, které jsou určené pro regeneraci zaměstnanců při psychické zátěži prací a statické pracovní poloze. Z hlediska fyzické podoby a designu se pro návrhy relaxačních zón meze nekladou. Některé společnosti, zejména zahraniční, využívají tyto prostory ke krátkodobému spánku ve speciálních kójičkách, které dokážou být odhlučněné se zabudovanými reproduktory k navození spánkové/meditační atmosféry a vybavené masážním zařízením pro celkovou úlevu těla. Na druhou stranu pro představu jiné zóny jsou vybaveny různými hrami jak fyzickými (šipky nebo basketball), tak i digitálními v podobě konzolí a interaktivních video-her, kde člověk skrze chytrý mobil či motion cameru může tancovat, hrát bowling či závodit s kolegy v autech. Obecně je největší přidanou hodnotou relaxačních zón z hlediska ergonomie to, že zaměstnanci dostanou prostředky a prostor k tomu, aby vykompenzovali statické a nepřírodné polohy během práce jakoukoliv relaxační či pohybovou aktivitou [14].

Chim [15] zmiňuje jako prvním bodem pro vytvoření vhodné kanceláře právě vhodný výběr vhodného nábytku. Design kanceláře spojený s výběrem nábytku a stylu musí být zkontrolován s pracovníky, kteří budou kancelář obývat. Zda si zaměstnanci vyberou nábytek v africkém stylu či čistém designu záleží na nich, nicméně by se firma měla ujednotit na nějakých společných zásadách designu kanceláří.

Posledním prvkem kanceláře budoucnosti je využívání moderních technologií, které jsou současným globálním trendem. Ruvimova [3] vidí virtuální realitu jako klíčový prvek pro zachování soustředěnosti, pracovní pohody (flow) a ničím nerušené práce zejména v prostředí open offices – otevřených kanceláří. Ayoko [29] zmiňuje využití virtuální reality pro práci vzdáleně mimo kancelář. Autor [9] ve své práci uvádí, že z hlediska technologie budou budoucí kancelářské prostředí založena na principu inteligentních systémů. Tento koncept si lze představit jako proces neustálého monitorování pracovníka, sbírání a evaluace dat o jeho náladách, přání a potřebách dle požadovaného pracovního výkonu, které následně systém promítne do prostředí [10]. S těmito získanými daty následně můžeme aktivně pracovat na výstavbě „ideálního“ pracovního místa budoucnosti.

4 Závěr

Na základě uvedených informací v tomto článku je závěrem představen stručný akční plán ve třech bodech, které v případě splnění přinesou maximální užitek, jak člověku, tak společnosti v jakékoliv podobě realizace v kontextu kanceláří budoucnosti s ohledem na ergonomii a zdraví člověka.

1. Správný výběr architektů a interiérových designérů

Tento bod je zcela zásadní pro úspěch bodů následujících. Je potřeba zvolit ty profesionály, kteří již od začátku rozumí potřebám pracovníků a jejich druhu práce natolik, aby okolní interiér i prostředí celkově odráželo tendenci společnosti nabídnout nejlepší možné podmínky. Zároveň je potřeba dát si pozor na „pozlátko“. Dnes společnosti rády oslovují více ateliérů a posléze pouze vybírají po vizuální stránce a originalitě kde je láká ono „pozlátko“. A právě proto je zcela zásadní vyhledat profesionály, kteří neřeší pouze vzhled, ale i funkčnost. Dokážou jasně a srozumitelně popsat jaký dopad může mít toto prostředí na produktivitu, zdraví i celkovou spokojenost člověka.

2. Layout a vhodný výběr dostupného vybavení

Druhým bodem je jednoznačně dostupné vybavení. Zde lze uplatnit makro i mikro pohled. Z makro pohledu nás určitě zajímá: umístění oken, světel, vzduchotechniky vůči pracovníky, kolik lidí bude v kanceláři, jakou podlahu zvolit (PVC, koberec, dlažba). Oproti tomu z mikro pohledu řešíme: bude místo určeno jednomu konkrétnímu pracovníkovi anebo bude k dispozici pro všechny, výškově nastavitelný stůl nebo fixní stůl v určité pozici (vsedě, vestoje), bude monitor stacionární či na pohyblivém držáku, bude k dispozici ergonomická židle pro práci vsedě i židle pro případné opření ve stoje atd. Na Obrázku 3, lze vidět výše uvedené příklady mikro pohledu.



Obr. 3. Ergo židle, pohyblivý držák monitoru, výškově nastavitelný stůl (www.ergoworkingspace.cz)

3. Synergie mezi prostředím a člověkem

Posledním bodem je synergie mezi nově vytvořeným prostředím a člověkem. Jakákoliv, byť sebemenší změna je většině lidí vždy nepříjemná a od počátku člověk zastává pozici odporu. Zejména v oblasti ergonomie je tento stav markantní. Je totiž opravdu těžké, až zprvu nemyslitelné, přeučit dospělého člověka co celý život špatně sedí a devastuje si zdraví, jak správně sedět a jak střídát práci vestoje a vsedě, aby ulevil sám sobě a svému zdraví. I proto by společnost měla disponovat takovou filozofií, která člověka ve změně podpoří a zároveň bude kontrolovat a dohlížet na to, aby bylo dosaženo požadovaného stavu. Protože to že, společnost zainvestuje své prostředky do nového pracovního prostředí okamžitě neznamená, že lidé jsou na tuto změnu připraveni a plně využijí dostupných vymožeností ke svému prospěchu. Ba naopak tyto vymoženosti tíhnou spíše k laxnosti a pohodlí, a ne k řádu a disciplíně, která musí být konstantně udržitelná po dobu, než si lidé samy zvyknou. I proto by zde společnosti měli plně implementovat pravidlo 21/90. Kdy po 21 dnech vzniká zvyk, ale až po 90 dnech vzniká životní styl.

Literatura

- [1] UNDERWOOD, Diana a Ruth SIMS. Do office workers adjust their chairs? End-user knowledge, use and barriers to chair adjustment. *Applied Ergonomics* [online]. 2019, 77, 100-106 [cit. 2022-01-27]. ISSN 00036870. Dostupné z: doi:10.1016/j.apergo.2018.12.007
- [2] SHIKDAR, Ashraf A. a Mahmoud A. AL-KINDI. Office Ergonomics: Deficiencies in Computer Workstation Design. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics* [online]. 2015, 13(2), 215-223 [cit. 2022-01-27]. ISSN 1080-3548. Dostupné z: doi:10.1080/10803548.2007.11076722
- [3] RUVIMOVA, Anastasia, Junhyeok KIM, Thomas FRITZ, Mark HANCOCK a David C. SHEPHERD. "Transport Me Away": Fostering Flow in Open Offices through Virtual Reality. In: *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* [online]. New York, NY, USA: ACM, 2020, 2020-04-21, s. 1-14 [cit. 2022-01-27]. ISBN 9781450367080. Dostupné z: doi:10.1145/3313831.3376724
- [4] ROTTONDI, Cristina, Markus DUCHON, Dagmar KOSS, Andrei PALAMARCIUC, Alessandro PITÍ, Giacomo VERTICALE a Bernhard SCHÄTZ. An Energy Management Service for the Smart Office. *Energies* [online]. 8(10), 11667-11684 [cit. 2022-01-29]. ISSN 1996-1073. Dostupné z: doi:10.3390/en81011667
- [5] PUTRINO, David, Jonathan RIPP, Joseph E. HERRERA, Mar CORTES, Christopher KELLNER, Dahlia RIZK a Kristen DAMS-O'CONNOR. Multisensory, Nature-Inspired Recharge Rooms Yield Short-Term Reductions in Perceived Stress Among Frontline Healthcare Workers. *Frontiers in Psychology* [online]. 11 [cit. 2022-01-28]. ISSN 1664-1078. Dostupné z: doi:10.3389/fpsyg.2020.560833
- [6] PETERI, Virve. Bad Enough Ergonomics. *SAGE Open* [online]. 2017, 7(1) [cit. 2022-01-27]. ISSN 2158-2440. Dostupné z: doi:10.1177/2158244016685135
- [7] PEREIRA, Michelle, Tracy COMANS, Gisela SJØGAARD, Leon STRAKER, Markus MELLOH, Shaun O'LEARY, Xiaoqi CHEN a Venerina JOHNSTON. The impact of workplace ergonomics and neck-specific exercise versus ergonomics and health promotion interventions on office worker productivity: A cluster-randomized trial. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health* [online]. 2019, 45(1), 42-52 [cit. 2022-01-26]. ISSN 0355-3140. Dostupné z: doi:10.5271/sjweh.3760
- [8] OZDEMIR, Filiz a Seyma TOY. Evaluation of scapular dyskinesis and ergonomic risk level in office workers. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics* [online]. 2021, 27(4), 1193-1198 [cit. 2022-01-26]. ISSN 1080-3548. Dostupné z: doi:10.1080/10803548.2020.1757307
- [9] NANAYAKKARA, Kusal Tharinda, Sara Jane WILKINSON a Sumita GHOSH. Future office layouts for large organisations: workplace specialist and design firms' perspective. *Journal of Corporate Real Estate* [online]. 23(2), 69-86 [cit. 2022-01-28]. ISSN 1463-001X. Dostupné z: doi:10.1108/JCRE-02-2020-0012
- [10] MUÑOZ, Sergio, Oscar ARAQUE, J. SÁNCHEZ-RADA a Carlos IGLESIAS. An Emotion Aware Task Automation Architecture Based on Semantic Technologies for Smart Offices. *Sensors* [online]. 18(5) [cit. 2022-01-29]. ISSN 1424-8220. Dostupné z: doi:10.3390/s18051499
- [11] MUELLER, Guenter F. a Marc HASSENZAHN. Sitting Comfort of Ergonomic Office Chairs—Developed Versus Intuitive Evaluation. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics* [online]. 2015, 16(3), 369-374 [cit. 2022-01-27]. ISSN 1080-3548. Dostupné z: doi:10.1080/10803548.2010.11076853
- [12] KOZUSZNIK, M. W., A. SORIANO a J. M.ª PEIRÓ. Comportamiento del usuario en Oficinas Inteligentes y Sostenibles (SSO). *Informes de la Construcción* [online]. 69(548) [cit. 2022-01-29]. ISSN 1988-3234. Dostupné z: doi:10.3989/id.55194
- [13] KLUAY-ON, Pimporn a Montakarn CHAIKUMARN. Construct validity, internal consistency and test-retest reliability of ergonomic risk assessment for musculoskeletal disorders in office workers (ERAMO). *Theoretical Issues in Ergonomics Science* [online]. 2022, 23(1), 121-130 [cit. 2022-01-26]. ISSN 1463-922X. Dostupné z: doi:10.1080/1463922X.2021.1922780
- [14] JONES, Victoria L., Francisco I. SALGADO GARCÍA, Logan M. BREWER, Andrea PÉREZ-MUÑOZ, Lauren A.-M. SCHENCK, Zhiqi YOU a Frank ANDRASIK. The relaxation zone: Initial analysis of stress

- management services for university students. *Journal of American College Health [online]*. 1-9 [cit. 2022-02-05]. ISSN 0744-8481. Dostupné z: doi:10.1080/07448481.2021.1960846
- [15] CHIM, Justine M.Y. *The FITS model office ergonomics program: A model for best practice*. *Work [online]*. 2014, 48(4), 495-501 [cit. 2022-01-27]. ISSN 10519815. Dostupné z: doi:10.3233/WOR-131806
- [16] HLÁVKOVÁ, Jana a Alena VALEČKOVÁ. *Ergonomické checklisty a nové metody práce při hodnocení ergonomických rizik: metodický materiál Národního referenčního pracoviště pro fyziologii a psychofyziologii práce*. Praha: Státní zdravotní ústav, 2007. ISBN 978-80-7071-289-4.
- [17] HLADKÝ, A. *Děti a dospělý před obrazovkou*. Praha: Státní zdravotní ústav, 2004. Dostupné z: http://www.szu.cz/uploads/documents/czpz/edice/letaky_pdfs
- [18] HAVRÁNEK, L. *Doba digitální. Interní školící materiály*. 2021.
- [19] HARRIS, Rob. *The changing nature of the workplace and the future of office space*. *Journal of Property Investment & Finance [online]*. 2015, 33(5), 424-435 [cit. 2022-01-27]. ISSN 1463-578X. Dostupné z: doi:10.1108/JPIF-05-2015-0029
- [20] GRUBERT, Jens, Eyal OFEK, Michel PAHUD, Per Ola KRISTENSSON, Frank STEINICKE a Christian SANDOR. *The Office of the Future: Virtual, Portable, and Global*. *IEEE Computer Graphics and Applications [online]*. 2018, 38(6), 125-133 [cit. 2022-01-27]. ISSN 0272-1716. Dostupné z: doi:10.1109/MCG.2018.2875609
- [21] GJERLAND, A., E. SØILAND a F. THUEN. *Office concepts: A scoping review*. *Building and Environment [online]*. 2019, 163 [cit. 2022-01-26]. ISSN 03601323. Dostupné z: doi:10.1016/j.buildenv.2019.106294
- [22] GAŠOVÁ, Martina, Martin GAŠO a Andrej ŠTEFÁNIK. *Advanced Industrial Tools of Ergonomics Based on Industry 4.0 Concept*. *Procedia Engineering [online]*. 2017, 192, 219-224 [cit. 2021-10-12]. ISSN 18777058. Dostupné z: doi:10.1016/j.proeng.2017.06.038
- [23] *European Foundation for the Improvement of Living and Working Conditions Sixth European Working Conditions Survey - Overview Report, No. November Publications Office of the European Union, Luxembourg (2016)*
- [24] DULINA, Ľuboslav, Arkadiusz GOLA, Martin GAŠO, Blanka HORVÁTHOVÁ, Eleonóra BIGOŠOVÁ, Miroslava BARBUŠOVÁ, Dariusz PLINTA a Jiří KYNCL. *Influence of Various Types of Office Desk Chair for Dynamizing the Operation Assessed by Raster Stereography*. *Applied Sciences [online]*. 2021, 11(11) [cit. 2022-01-27]. ISSN 2076-3417. Dostupné z: doi:10.3390/app11114910
- [25] COBALEDA CORDERO, A., U. RAHE, H. WALLBAUM, Q. JIN a M. FOROORAGHI. *Smart and Sustainable Offices (SSO): Presentación de un enfoque holístico para implementar la próxima generación de oficinas*. *Informes de la Construcción [online]*. 69(548) [cit. 2022-01-29]. ISSN 1988-3234. Dostupné z: doi:10.3989/id.55278
- [26] BRIL, M., WEIDERMAN, S. and BOSTI Associates (2001), *Disproving Widespread Myths about Workplace Design*, Kimball International, Jasper, IN
- [27] BORTOLINI, Marco, Maurizio FACCIO, Mauro GAMBERI a Francesco PILATI. *Motion Analysis System (MAS) for production and ergonomics assessment in the manufacturing processes*. *Computers & Industrial Engineering [online]*. 2020, 139 [cit. 2021-5-25]. ISSN 03608352. Dostupné z: doi:10.1016/j.cie.2018.10.046
- [28] BANBURY, SP a DC BERRY. *Office noise and employee concentration: Identifying causes of disruption and potential improvements*. *Ergonomics [online]*. 2010, 48(1), 25-37 [cit. 2022-02-05]. ISSN 0014-0139. Dostupné z: doi:10.1080/00140130412331311390
- [29] AYOKO, Oluremi B a Neal M ASHKANASY. *The physical environment of office work: Future open plan offices*. *Australian Journal of Management [online]*. 45(3), 488-506 [cit. 2022-01-28]. ISSN 0312-8962. Dostupné z: doi:10.1177/0312896220921913
- [30] ALBERDI, Ane, Asier AZTIRIA, Adrian BASARAB a Diane J. COOK. *Using smart offices to predict occupational stress*. *International Journal of Industrial Ergonomics [online]*. 67, 13-26 [cit. 2022-01-29]. ISSN 01698141. Dostupné z: doi:10.1016/j.ergon.2018.04.005

Návrh automatické linky pro lepení magnetů

Petr Syrový¹, Martin Nečas¹, Michal Kaňák¹, Tomáš Kelner¹, Martin Kyncl¹, Jiří Kyncl¹

¹ České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní, Technická 4, 166 07 Praha 6, Czech Republic, petr.syrovy@cvut.cz

Abstrakt: Článek se zabývá návrhem a vývojem automatické linky sloužící k lepení permanentních magnetů na rotorové pakety. V úvodu článku je provedena ergonomická analýza, která hodnotí současný stav výrobního procesu ve společnosti. Následně je proveden návrh konstrukce a layoutu výrobní linky, která nahrazuje ergonomicky nevhodná pracoviště z úvodní analýzy. V závěru je provedeno technicko-ekonomické hodnocení stanovující ergonomický přínos investice a hodnotící dobu návratnosti investice.

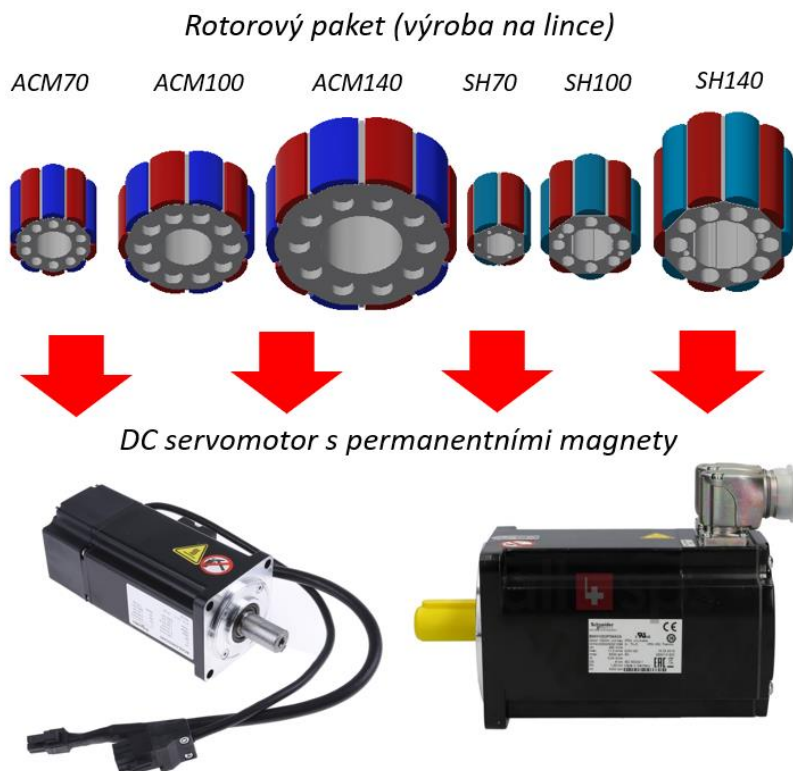
Klíčová slova: Ergonomie, DC servomotor, magnet, paket, automatizace

Úvod

Následující článek popisuje návrh a vývoj linky pro automatizované lepení magnetů pro 6 typů rotorů používaných v DC servomotorech. Vzhledem k současné situaci na trhu (nárůst podílu automatizace ve výrobních, nárůst podílu elektromobility v dopravě) se stávají DC servomotory stále více poptávaným produktem, který z trhu vytlačuje motory asynchronní. Tento fakt má za následek předpoklad narůstajících objemů výroby, která v současnosti vykazuje minimální podíl automatizace a vystavuje zaměstnance firem rizikové fyzické a psychické zátěži.

1 Zadání a cíle projektu

Cílem projektu bylo vytvoření moderní linky, splňující ergonomické standardy, obsluhované jedním zaměstnancem (včetně logistiky a obslužných prací), která bude provádět lepení permanentních NdFeB magnetů na rotorové pakety vyrobené z lisovaných plechů z transformátorové oceli. Jedná se celkem o 6 různých geometrických provedení jednoho tvarového výrobku (statorový paket), který je po vytváření a nalisování hřídele použit pro pohon DC servomotorů. Modely jednotlivých výrobků lze vidět na Obr. 1.



Obr. 1. Typy rotorových paketů vyráběných na lince a konečný výrobek

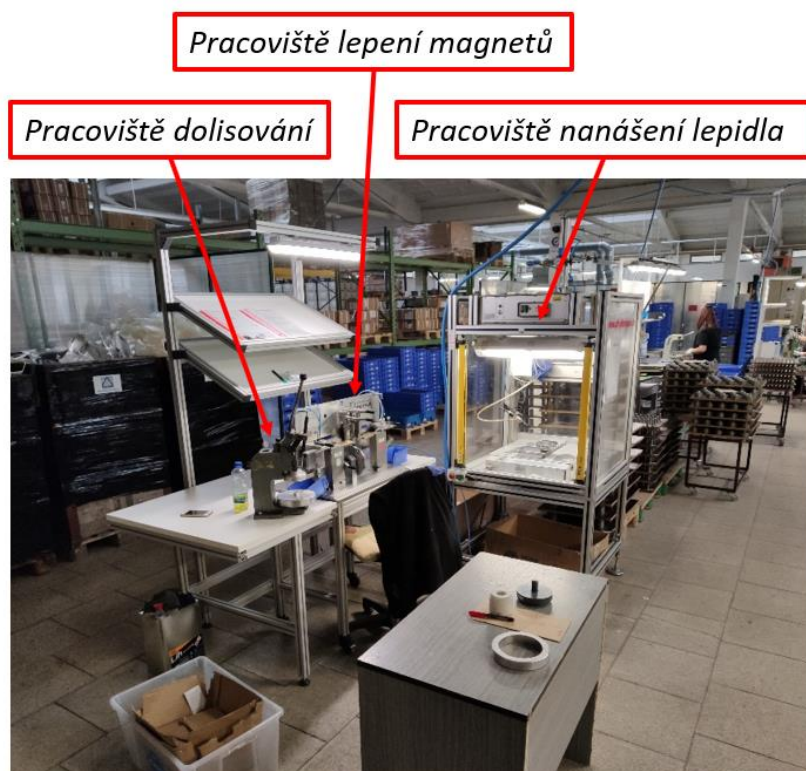
Dle zadání musí jít o univerzálně přestavitelnou linku, s krátkými seřizovacími časy a unifikovanými přípravky. Zároveň, musí linka splňovat bezpečnostní a ergonomické standardy definované normou ČSN EN 361 a dílčími bezpečnostními normami pro provoz a bezpečnost strojních zařízení. V rámci návrhu proběhla v prvním kroku úvodní analýza, kterou popisuje kapitola 2.

2 Úvodní analýza

V rámci úvodní analýzy byl proveden rozbor výrobního procesu, zároveň byla provedena analýza nevhodných poloh operátora a výpočet počtu pracovních pohybů pro 1 operátora. Dílčí body úvodní analýzy jsou popsány níže.

Prvním bodem byla analýza stávajícího pracoviště ručního lepení magnetů, které lze vidět společně s popisem na Obr. 2. Pracoviště se skládá ze tří oddělených pracovních stanic. Prvním pracovištěm je „pracoviště nanesení lepidla“. Operátor vkládá paket do buňky a spustí automatický cyklus nanesení lepidla. Na druhém pracovišti obsluhuje operátor ruční přípravek, kam vkládá magnety a stlačením dvou pák provede jejich přiložení na paket. Na třetím pracovišti je hotový paket vložen do ručního lisu, kde je zarovnán a dolisován.

Z hlediska analýzy pracovních poloh, vyplývá se současného stavu několik ergonomických problémů. Jedná se především o nevhodnou výšku pracovní roviny, nevhodnou pracovní židli, nevhodné dosahové vzdálenosti (častá flexe svalů ramen a předloktí) při obsluze strojů a potřeba operátora 4x se otočit v jednom taktu.



Obr.2: Stávající pracoviště lepení magnetů

Dalším bodem byl výpočet počtu pracovních pohybů za 1 směnu pro jednoho pracovníka. Pracovní postup, včetně napočítaného počtu pohybů lze vidět na Obr.3.

Rotor SH 100			
Operace	Název operace	Čas operace [min]	Čas operace [s]
10	Lepení magnetů	0,88	52,8
20	Vytvrzení tepelné	0,03	1,8
30	Nasazení komponentů lisováním	0,23	13,8
40	Lepení komponentů	0,18	10,8
50	Balení výrobků	0,2	12
999	Výstupní kontrola	0	0
SUMA		1,52	91,2

1. Nanesení lepidla
2. Přiložení magnetů
3. Dolisování

- **Suma pohybů za směnu (bez logistiky)**
 - Levá ruka: 17 440
 - Pravá ruka: 20 710
- **Maximální počet pohybů za směnu dle ČSN EN 361**
 - 21 800 pro 9 % F_{max} – Hranice únosnosti

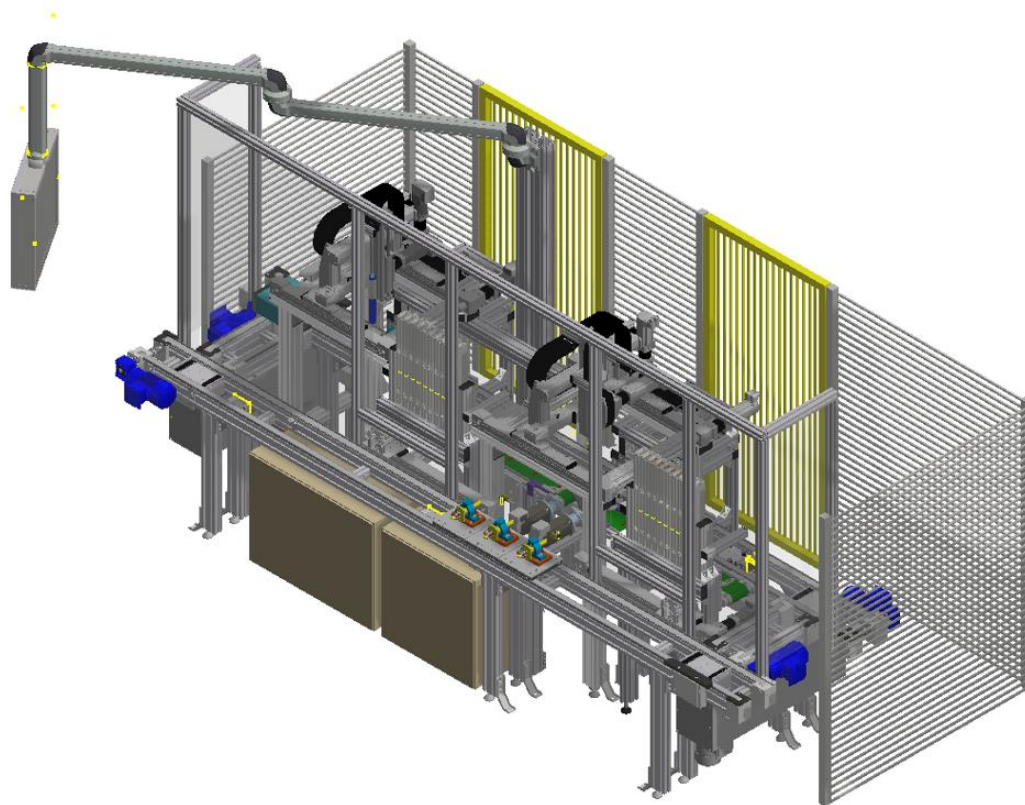
Obr.3. Výpočet počtu pohybů

Pro potřeby analýzy byl proveden odhad silového namáhání a následně byl výsledek porovnán s normou ČSN EN 361. Z výsledků je patrné, že především počet pohybů pro pravou ruku při odhadovaném silovém zatížení se nachází na hranici dovolené legislativním rámcem. V analýze nejsou započítány pohyby, které operátor provádí v rámci přípravy a logistiky na pracovišti. Pokud by byly tyto pohyby zahrnuty v analýze, pravděpodobně by byl limit normy překročen.

Výsledky analýz ukazují, že vzhledem ke statické i dynamické zátěži operátora je nutné okamžité nápravné opatření, tak aby se předešlo riziku vzniku nemoci z povolání a zároveň byla zvýšena produktivita výrobního procesu.

3 Návrh linky

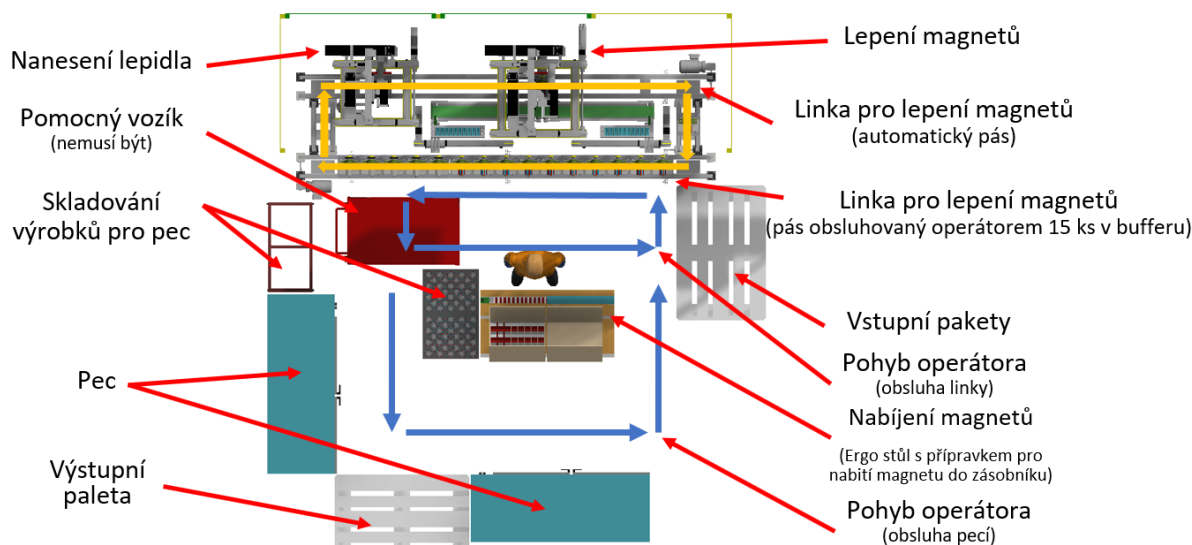
Po zhodnocení výsledků analýz byl proveden návrh automatické linky, která bude obsluhována jedním operátorem, který zároveň zajišťuje i logistiku a přípravné práce v okolí linky. Vizualizaci linky, včetně bezpečnostních prvků lze vidět na Obr.4.



Obr.4. Vizualizace linky

Linka je tvořena oběžným pásovým dopravníkem, který je obsluhován 1 operátorem a 2 pracovními stanicemi osazenými roboty s efektory, umístěnými uvnitř krytování. Přítomnost operátora u linky je nutná 1 x za 4 min. Operátor v mezičase provádí přípravné práce a zároveň má možnost občerstvení, případně přestávky v rámci tzv. „Microbreak“. Vzhledem k nutnosti otáčení a obsluhy několika pracovních rovin je linka navržena pro práci ve stoje, případně polosedu, s optimalizovanou výškou pracovní roviny pro operátora (žena 165 cm). Dále je optimalizována i výška ovládacího a zobrazovacího panelu, který má operátor umístěn ve výšce očí (160 cm). Linka je osazena bezpečnostními senzory eliminujícími jakékoliv riziko pro obsluhu.

Výrobní systém obsahuje kromě navržené linky několik dalších pracovišť, která byla součástí původního výrobního systému. Jedná se o pece k vytvrzení lepidla a dále pracoviště, kde operátor prostřednictvím přípravků připravuje magnety pro vložení do linky. Layout celého výrobního procesu a systému je na Obr.5.



Obr.5. Layout výrobního systému

V rámci dílčích obslužných činností provádí operátor přípravu magnetů a také zakládání palet s hotovými výrobky do pecí. Linka je dále vybavena několika odkládacími místy sloužícími jako buffer před vstupem výrobků do pecí, případně jako buffer na hotové výrobky. Značení příslušných přípravků a jejich zaskladnění je určeno štítkováním jednotlivých dílů.

V současné fázi projektu je linka ve fázi zkušebního testování a odladění drobných chyb. Úspěšně probíhají testy s výrobky řad 70 a 100. Firma také přemýšlí o nákupu kontinuální vytvrzovací pece, která by umožnila automatizovat celý výrobní proces.

4 Technicko-ekonomické hodnocení

Před spuštěním výroby jednotlivých komponent linky byl proveden odhad ergonomických a ekonomických důsledků implementace linky do výroby. První byl proveden přibližný výpočet počtu pohybů pro 1 operátora, který bude linku obsluhovat, včetně pohybů zahrnujících obsluhu a logistiku. Tento odhad je vidět v Tab.1.

Tab. 1. Odhad počtu pohybů operátora obsluhujícího linku

Činnost	Pohyby		Opakování	Pohyby	
	Levá	Pravá		SUMA-levá	SUMA-pravá
Nasazení paketu	1	5	1044	1044	5220
Vyjmutí paketu a kontrola	4	7	1044	4176	7308
Zásobníky pro magnety	23	35	100	2300	3500
Logistika-pakety	40	40	1	40	40
Logistika-magnety	80	80	10	800	800
Úklid a údržba	300	300	2	600	600
SUMA				8960	17468

Odhad ukazuje výrazné snížení počtu pohybů pro levou ruku, konkrétně o 48 %. Počet pohybů pro pravou ruku byl snížen o 19 %. Dále bylo sníženo riziko vzniku nemoci z povolání při výrobě rotorových paketů o 75 % vzhledem k eliminaci 3 zaměstnanců z výrobního procesu. Zaměstnanci ve firmě zastanou jiné, ergonomicky optimalizované výrobní procesy.

Ekonomické hodnocení pracuje s úsporou 3 zaměstnanců a využitím linky pouze v 1. pracovní směně. Úspora byla stanovena na mzdách zaměstnanců (500 000 Kč / 1 zaměstnanec / 1 rok) vztahených k výrobnímu procesu. Při úspoře 3 zaměstnanců je doba návratnosti investice stanovena na 1,67 roku. Vzhledem k plánovanému nárůstu objemu výroby je pak optimistická doba návratnosti pro 1 směnný provoz stanovena na 1,38 roku (vyšší takt linky).

Závěr

Článek popsal proces návrhu a vývoje automatizované výrobní linky sloužící k lepení permanentních magnetů na rotorové pakety, které jsou používány v DC servomotorech. Návrh linky vychází z úvodní analýzy, která identifikuje ergonomické nedostatky a následné zhodnocení současného stavu. Na základě současného stavu je navržena automatická linka, která eliminuje bezpečnostní a ergonomická rizika vyplývající z obsluhy původních pracovišť. V závěru je provedeno technicko-ekonomické hodnocení, které hodnotí zlepšení ergonomie pracoviště a stanovuje dobu návratnosti investice.

Literatura

- [1] Nařízení vlády č. 361/2007 Sb. 8. Praha, 2020.
- [2] Košturiak, Prof. John. 2014. Lean Enterprise - Illusion and Reality. Lean manufacturing and logistics. [Online] www.mmspektrum.com, April 15, 2014. Also available from: <https://www.mmspektrum.com/clanek/stihly-podnik-iluze-a-realita.html>.
- [3] Chundela, Lubor. 2013. Ergonomie. Praha : Nakladatelství ČVUT, 2013. 978-80-01-05173-3.
- [4] Masaaki, Imai. 2008. Gemba Kaizen. [translated] Vladimír Paulíny. Brno : Computer Press, a.s., 2008. 80-251-0850-3.

Príspevok k využívaní pasívnych exoskeletov pri zvyšovaní výkonnosti pracovníkov v priemysle

Daniela Onofrejevová¹, Roman Ovčárik¹, Peter Uhrin¹, Alena Vožňáková¹

¹ Technická univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta, Letná 1/9, 042 00 Košice-Sever, Slovak Republic, email: daniela.onofrejova@tuke.sk, roman.ovcarik@student.tuke.sk, peter.uhrin@student.tuke.sk, alena.voznakova@student.tuke.sk

Abstrakt: Performance of employees decreases with increasing age, while the average age of employees increases. The variable assortment for different groups of customers in the production process requires an individual approach and frequent process settings, including workplace ergonomics. Exoskeletons could serve as a suitable technical means to eliminate ergonomic risk in the framework of prevention and protection of health at work. Exoskeletons are designed to support warehouse workers in handling heavy loads or uncomfortable positions with the least possible load on their bodies. Excessive load on parts of the body often causes health problems that can lead to incapacity for work. The objective of our contribution was to compare passive exoskeletons respecting the supporting body area. Next, quantitative assessment of ergonomic risk was described in the automotive assembly workplace analysing job without and with use of exoskeleton. The goal is to prove whether passive exoskeleton Chairless chair can be an effective tool in prevention of musculoskeletal disorders resulting from work in standing position.

Key words: Exoskeletons, support, performance, health prevention, ergonomic risk assessment

Úvod

Štatistickým úradom Slovenskej republiky evidujeme 2 531 300 pracujúcich osôb za rok 2020. V Slovenskej republike bolo v roku 2020 hlásených 254 novozistených prípadov chorôb z povolania. Na celkovom počte sa muži podieľali 53,5 % a ženy 46,5 %. Oproti predchádzajúcemu roku sa celkový počet chorôb z povolania znížil o 93 na 254 prípadov, čo je najnižšia hodnota za sledované obdobie od roku 2001 (v roku 2001 bolo 577 chorôb z povolania). Došlo tiež k poklesu incidencie po prepočítaní na 100 000 pracujúcich z 13,4 v roku 2019 na 10,0 v roku 2020. V roku 2020 neboli hlásené žiadne ohrozenia chorobou z povolania [1]. Najčastejšie hlásenou chorobou z povolania bolo ochorenie končatín z dlhodobého, nadmerného a jednostranného zaťaženia (52,4 % zo všetkých hlásených chorôb z povolania v SR), infekčné, prenosné a parazitárne ochorenie (11,4 %) a choroby z vibrácií (9,4 %). Chorobou z povolania boli za sledované obdobie najčastejšie postihnutí pracujúci medzi 50. – 54. rokom života, nasledovala veková skupina 45 – 49-ročných a 55 – 59 ročných [1]. Poškodenia podporno-pohybovej sústavy predstavujú najčastejší problém súvisiaci s prácou v Európe. Takmer 24 % zamestnancov zo štátov EÚ uvádza, že trpí bolesťami chrbta a 22 % sa sťažuje na bolesti svalov. Obidva problémy sa častejšie vyskytujú v nových členských štátoch a to 39 % oproti 36 % starých členských štátoch [2].

V sklade musia zamestnanci častokrát vykonávať fyzicky náročné úlohy, či už zdvíhanie bremien alebo ich manipuláciu. Z dlhodobého hľadiska to môže spôsobiť u pracovníkov v sklade preťaženie tela a spôsobiť značné zdravotné komplikácie. Kým na klasické zdvíhanie predmetov je možné využiť štandardnú mechanizáciu, ako napríklad vysokozdvížné vozíky či roboty. Komplexnejšie zdvíhanie pri ktorom je potrebná aj rotácia nie je v silách týchto strojov. Exoskelet kombinuje silu stroja s motorickými schopnosťami človeka. [3]

Svetové výskumné štúdie sa zameriavajú na manipuláciu a mapovanie procesu manipulácie s tovarom vážiacim nad 15 kilogramov. Pri experimentoch pracovníci používajú exoskelet napríklad při činnosti

vyberania tovaru z obalu a jeho následného ukladania na palety. Skúmajú ako exoskelet podporuje jednotlivé sekvencie pohybov. [3]

1 Exoskelety

Exoskelet je nositeľné zariadenie alebo konštrukcia, ktorá zvyšuje, umožňuje, pomáha a/alebo zlepšuje fyzickú aktivitu prostredníctvom mechanickej interakcie s telom [4]. Existuje niekoľko klasifikácií exoskeletov. Podľa princípu akcie sa členia na [4], [5]: aktívne exoskelety, pasívne exoskelety.

Aktívne zariadenia používajú externý zdroj energie, kým mechanické pasívne exoskelety sa spoliehajú na kinetickú energiu a ľudskú silu. Exoskelety možno tiež klasifikovať podľa zamerania podpory ľudských končatín na [5], [6], [7]:

- exoskelety horných končatín (vrátane, alebo bez rúk),
- exoskelety dolných končatín,
- celotelové exoskelety.

Rozdiel medzi aktívnymi a pasívnymi exoskeletmi na základe ich aplikácie spočíva v tom, že robotické (aktívne) zariadenia nahrádzajú ľudskú silu, zatiaľ čo mechanické exoskelety (pasívne) vychádzajú z poznatkov robotiky a biomechatroniky v záujme rozšírenia príležitostí človeka pri vykonávaní rôznych pohybových činností [4], [6], [8]. Exoskelety sú pomocné nosné konštrukcie upevnené na tele, ktoré podporujú jednotlivé pohyby prostredníctvom elektronických mechanizmov. Sú navrhnuté tak, aby podporovali zamestnancov v továrni pri manipulácii s ťažkými bremenami pri čo najnižšej záťaži ich tela. Pri ich používaní sú odľahčené najmä kríže a chrbtové svalstvo. Nadmerná záťaž týchto častí tela často spôsobuje zdravotné problémy, ktoré môžu viesť až k práceneschopnosti. [9]

Vývoj technológie exoskeletov, ktorá v spojení s ľudským telom násobí silu človeka, siaha do šesťdesiatych rokov minulého storočia. Začiatky súviseli najmä s potrebami armády. Neskôr japonské firmy experimentovali, ako by táto technológia mohla pomôcť starnúcej populácii a skvalitniť život zdravotne postihnutým. Ale až po tom, ako sa o exoskelety začali zaujímať svetové spoločnosti ako napríklad Siemens, Boeing či Ford, sa vytvoril priestor na ich využitie aj v priemyselnej výrobe. Zareagovali viaceré startupy a pustili sa do vývoja zariadení, ktoré majú šancu uplatniť sa vo výrobných halách. Výsledkom je lepšie držanie tela, vyššia bezpečnosť práce, menej zdravotných ťažkostí spôsobených prácou, menej absencií v práci a najmä lepší pracovný výkon aj u starších zamestnancov. [10]

1.1 Exoskelety pre horné končatiny

V súčasnosti existuje veľké množstvo exoskeletov, ktoré majú veľké využitie v rôznych sférach života ako napríklad v priemysle, zdravotníctve alebo potravinárstve.

SKELEX 360 - XFR [11] je nepoháňaný exoskelet, ktorý nesie váhu ramien proti gravitácii. Pri správnom používaní zariadenia pracovník pociťuje stav bezťažky v rukách, čím sa zmierni únava pri úlohách, ktoré si vyžadujú neustále zdvíhanie rúk dopredu alebo nad hlavou. Zariadenie funguje na princípe gravitačného vyvažovania, pri uvoľnených pažiach, ktoré spočívajú pri boku, nevytvára žiadnu silu a postupne zvyšuje podporu pri zdvíhaní paží nahor. Umožňuje tiež nastaviť mieru podpory poskytovanej zariadením individuálne pre každé rameno, podľa preferencií užívateľa. Tento exoskelet má približne 2,5 kg. Podporná sila je 1 až 4,9kg pre každú ruku. Únavový test bol vykonaný až na 1 000 000 cyklov a jeho teplotné rozhranie je -20°C až 40°C. [11]

Paexo Shoulder [12] podporuje zamestnancov v priemysle, vo výrobe a logistike a v namáhavých činnostiach. Hmotnosť zdvihnutých rúk sa prenáša na boky pomocou techniky mechanickeho ťahania lanka. To citelne chráni svaly a kĺby v oblasti ramien a aktivity nad hlavou možno vykonávať oveľa pohodlnejšie. Paexo Shoulder je exoskelet, ktorý nevyžaduje prísun energie, a preto je mimoriadne ľahký. Nosí sa pri tele, podobne ako batoh a umožňuje plnú voľnosť pohybu. Dizajn ramena Paexo je založený na prirodzených pohyboch človeka; je vhodný v automobilovom priemysle. [12]

Aktívny exoskelet VI – Bot [13] je ľudské rozhranie na zachytenie pohybu a silovú interakciu. Systém je upevnený v štyroch bodoch na ľudskom tele a môže interagovať s používateľom v hornej časti ramena, nadlaktia a predlaktia. Štyri ľudské upevňovacie body sú spojené prostredníctvom kinematickej štruktúry s deviatimi stupňami voľnosti. Šesť z týchto kĺbov je ovládaných hydraulicky a jeden je ovládaný pneumaticky. Kombinácia hydraulického a pneumatického ovládania ponúka možnosť prispôbiť tuhosť systému rôznym motorickým schopnostiam užívateľa. Hydraulické ovládanie sa vykonáva pomocou lamelových pohonov, ktoré sú ovládané pomocou proporcionálneho ventilu na reguláciu prietoku a tlaku. Vzájomné pôsobenie sily je merané snímačmi sily v upevňovacích bodoch človeka a snímačmi tlaku v hydraulickom okruhu. Exoskelet je spätne ovládateľný a dá sa použiť aj v režime voľného chodu. Hmotnosť tohto exoskeletu je 15kg, príkon hydraulického agregátu je 400W. Ovládanie ventilov prebieha vďaka Indukčnému lineárnemu snímaču polohy. Rozmery tohto exoskeletu sú 920 x 400 x 580 mm. [13]

1.2 Exoskelety pre dolné končatiny

Prenosné zariadenie Chairless chair [16], ktoré nevyzerá ako stolička a umožňuje na ňom sedieť kedykoľvek a kdekoľvek užívateľ chce (Obr. 1). Toto flexibilné, ergonomické zariadenie siaha od bokov až po zadné strany chodidiel. Prispôsobí sa rôznym telesným veľkostiam a bezpečnostnej obuvi [14]. Použitie je pre zamestnancov výrobných firiem, ktorí musia pri práci dlho stáť a niekedy sa zohnúť do neprirodzených polôh, aby mohli zostaviť výrobok. Je to pasívny exoskelet.



Obr 1. Chairless Chair [16]

Nositeľné roboty dolnej časti tela [17] alebo exoskelety dolných končatín sa v poslednom desaťročí rýchlo vyvinuli. Tieto zariadenia možno rozdeliť do troch rôznych kategórií: pomocné exoskelety, rehabilitačné exoskelety a augmentačné exoskelety. Exoskelety z prvých dvoch kategórií sú určené na použitie u ľudí s neurologickými ochoreniami alebo u starších ľudí. Asistenčné exoskelety sa zameriavajú hlavne na používateľov, ktorí natrvalo stratili svoju mobilitu. Tieto exoskelety pomáhajú/nahrádzajú poškodené časti používateľov a umožňujú používateľom žiť/správať sa ako zdraví ľudia pri nosení zariadení. Pre tento typ exoskeletu je najbežnejšou kombináciou presné riadenie polohy pomocou elektromotorov. Alternatívne sú rehabilitačné exoskelety určené na použitie pacientmi so zdravotným postihnutím, ktoré je možné zotaviť pomocou terapie a tréningu [7]. Cieľom týchto systémov je vytvoriť interakcie s používateľmi s cieľom ich rehabilitácie, aby nakoniec mohli normálne fungovať bez zariadenia. Tento typ exoskeletu často používa riadenie impedancie na vytvorenie odporových síl pre tréning. Tretia kategória, augmentačné exoskelety, pomáha hlavne zdravým užívateľom. Cieľom týchto exoskeletov je umožniť vykonávanie úloh, ktoré by telesne zdatný jedinec za normálnych okolností nebol schopný, alebo znížiť úsilie potrebné na vykonanie úloh (nižšie metabolické náklady). V tejto kategórii sa často vyskytuje pozitívna spätná väzba alebo kontrola sily, pretože zariadenie musí sledovať pohyb užívateľa [7].

1.3 Exoskelety pre chrbát



Exoskelety na podporu chrbta podporujú bedrovú chrbticu pri zdvíhaní alebo držaní bremena. Exoskelet Paexo Back [18] bol vyvinutý v spolupráci s logistickými expertmi a zamestnancami v skladových a baliacich distribučných centrách. Exoskelet funguje na biomechanickom princípe: záťaž sa odoberá na ramene ako batoh a pomocou podpornej konštrukcie exoskeletu sa prenáša na stehná. Zásobník energie absorbuje silu pri ohýbaní a opäť ju uvoľňuje pri zdvíhaní. Exoskelet Laevo [19] je určený na prevenciu, liečbu alebo zmiernenie bolesti krížov. Tento exoskelet sa nesmie používať, ak má užívateľ: kardiostimulátor, prsné implantáty, odstránené axilárne lymfatické uzliny. LiftSuit [20] je ľahký, textilný exoskelet, váži 0,9 kg. Podporuje chrbtové a bedrové svaly pri zdvíhaní predmetov pod úrovňou bokov alebo pri práci v predklone. Je určený na zníženie pracovnej záťaže, svalovej únavy a vyčerpania. LiftSuit je podporný systém, ktorý svojim užívateľom poskytuje podporu chrbtovým a bedrovým svalom. Ako nositeľný exoskelet, ktorý sa nosí ako oblečenie, môže byť použitý v mnohých situáciách, kde nie je možné použiť tradičné prostriedky, ako sú žeriavy alebo dopravné pásy, napr. v nákladných priestoroch alebo budovách lietadla.

2 Porovnanie exoskeletov na základe ich mechanických parametrov

2.1 Porovnanie vybraných exoskeletov horných končatín

SKELEX 360 na základe vybraných kritérií sa javí ako najvhodnejší z exoskeletov uvedených v tabuľke 1. Pre overenie jeho účinnosti na reálnom pracovisku v priemysle je vhodná analýza formou kvantifikácie ergonomického rizika prostredníctvom bezdrôtového nositeľného senzorického systému Captiv.

Tab 1. Porovnanie exoskeletov pre horné končatiny [11]

Exoskelet	SKELEX 360 – XFR <i>Je zadán neplatný pramen.</i>	PAEXO Shoulder <i>Je zadán neplatný pramen.</i>	VI – Bot <i>Je zadán neplatný pramen.</i>
Obrázok			
Váha	2,5 kg	2 kg	15kg
Rozmery	620 x 390 x 320 mm	600 x 400 x 340 mm	920 x 400 x 580 mm
Výška tela	150 - 190 cm	160 -190 cm	160 – 190 cm
Podporná sila	1 – 4,9 kg	6 kg	35 kg
Hodnotenie	9/10	6/10	4/10

2.2 Porovnanie vybraných exoskeletov dolných končatín

Parametre exoskeletu dolných končatín Chairless chair je dostupné v tabuľke 2. Porovnanie pasívnych exoskeletov pre dolné končatiny nie je dostupné z dôvodu nedostatku informácií k pasívnym exoskeletom.




Tab. 2. Technické údaje exoskeletu Chairless chair [15]

Veľkosť (pás)	60 cm - 86 cm
Použiteľné pre používateľov	1,50 m - 2,00 m
Hmotnosť zariadenia	2,95 kg
Max. nosnosť	120 kg

2.3 Porovnanie exoskeletov chrbta

Porovnanie pasívnych exoskeletov chrbta je dostupné v tabuľke 3.

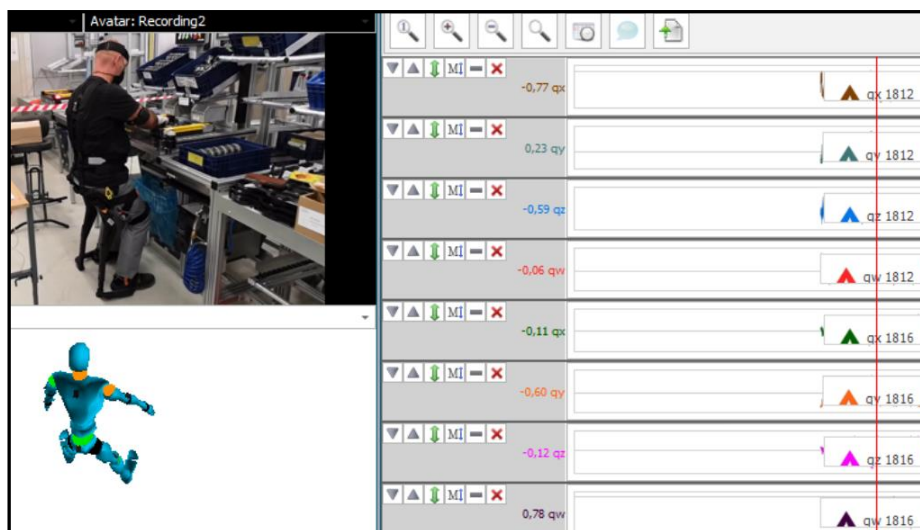
Tab.3. Porovnanie pasívnych exoskeletov chrbta

Názov	Obrázok	Popis
PAXEO Back		<ul style="list-style-type: none"> - Odoberaná záťaž je na ramenách - Podpora až do 25 kilogramov
LAEVO V2		<ul style="list-style-type: none"> - Hmotnosť 2,8 kilogramu - Záťaž až do 15 kilogramov - Výška užívateľa 156-196 centimetrov
Auxivo LiftSuit		<ul style="list-style-type: none"> - Textilný exoskelet - Hmotnosť 0,9 kilogramu

3 Meranie fyzickej záťaže pri používaní exoskeletu multisenzorickým bezdrôtovým nositeľným systémom Captiv

Bezdrôtový nositeľný senzorický systém Captiv [21] je flexibilný, škálovateľný nástroj na meranie a analýzu pre ergonomiu, analýzu pracoviska, bezpečnosť pri práci, prototypovanie, výskum. CAPTIV sa používa ako jednoduchý softvér na analýzu pracovných činností na základe synchronizácie videoanalýzy, spolu s komplexným multimodálnym meracím systémom. Meranie parametrov zabezpečujú bezdrôtové snímače pohybu na báze inerciálnej meracej jednotky (IMU – Inertial Motion Unit). Merania sú dostupné s dosahom 15 metrov v reálnom čase. Namerané údaje sa zobrazujú aj prostredníctvom 3D avatara v Captiv, ktorý dokáže zobrazíť a prehrať skutočné animácie prostredníctvom zelenej/oranžovej/červenej farby na základe plne prispôsobiteľných prahových hodnôt pre referenčné uhly. Semafor pre hodnotenie ergonomického rizika pre zelenú farbu znamená vhodné parametre; oranžová farba znamená podmienene prijateľné riziko a odporúča sa zmena činnosti a červená

farba znamená nevhodnú aktivitu s okamžitou potrebou nápravy. Zástupca Captiv – avatar predstavuje vizualizáciu nameraných údajov o fyzickej záťaži, prekračujúcej prahové hodnoty v sledovaných kĺboch.



Obr 2. Chairless Chair [vlastné spracovanie]

Cieľom nášho experimentu bolo analyzovať fyzickú záťaž sledovaním pracovného postoja človeka v stoji na pracovisku v automobilovom priemysle, vyhodnotením dĺžky zotrvania jednotlivých segmentov tela v nevhodných pracovných polohách, ktoré z dlhodobého hľadiska vedú k vysokej miere rizika vývoja muskuloskeletálnych ochorení. Je známe, že dlhodobé státie v práci (predovšetkým na jednom mieste) zvyšuje riziko bolestí krížov a kardiovaskulárnych problémov [22],[23]. Chceli sme zistiť, či používanie exoskeletu dolnej časti tela Chairless chair 2.0 (CC 2.0) na vybranom pracovisku v stoji s opakovanými úlohami môže znížiť ergonomické riziko. Merania bez exoskeletu (STOJ) boli porovnávané s meraniami s exoskeletom so 4 pracovníkmi. Úlohou pracovníkov bolo zmontovať montážne hniezdo umiestnením vonkajšieho a vnútorného krúžku a vložení kovového kameňa do označených otvorov v čase 0,94 minút (takt).

4 Praktická časť

Súhrnom všetkých údajov získaných z experimentov so štyrmi pracovníkmi po štatistickom vyhodnotení sú nasledovné priemerné výsledky. Krk sa zdal byť kritickým segmentom tela v sledovanej úlohe. Pohyb krku bol väčšinou v zelenej zóne (55,5 %), s výnimkou pracovníka 1, ktorý veľa času strávil v červenej oblasti (10,4 %); najhoršia situácia bola pri flexii/extenzii krku. Situácia sa výrazne zlepšila pri použití exoskeletu; krk bol v zelenej zóne pre 66,7 %, oranžová zóna klesla na 26,7 % a červená z 10,4 % na 6,5 % (pozri tabuľku 4). Spodná časť chrbta bola takmer celý čas v optimálnej zelenej zóne (93,1 % meranie STOJ a 95,9 % meranie EXO); červená zóna bola eliminovaná pri použití exoskeletu (pozri tabuľku 4).

Pravé a ľavé rameno pracovalo väčšinou v zelenej zóne (viac ako 70 %); pri práci s exoskeletom však situácia priniesla vyššie riziko a čas strávený v oranžovej zóne sa zvýšil pre pravé rameno z 18,6 % na 19,0 % a pre ľavé z 15,9 % na 26,7 %. Okrem toho sa značný čas strávil v červenej zóne – pravé rameno 8,6 % a dokonca aj s exoskeletom 9,0 %, ľavé rameno 6,4 % a 8,6 % s exoskeletom. Najhoršia situácia bola identifikovaná pri horizontálnej vnútornej/vonkajšej rotácii pre obe ramená. Dôvodom môže byť výška pracovného stola. Pri práci v sede (EXO) mal stôl stále rovnakú výšku ako pri meraní STOJ, čím sa narušili optimálne ergonomické podmienky.

Pravý bok bol väčšinou v zelenej zóne (94,6 %), ale výsledky sa zhoršili počas EXO experimentu na 83,7 %, s určitým časom stráveným v červenej zóne (8,2 %). Podobne (tabuľka 4) bol ľavý bok 89,7 % v zelenej zóne počas STOJA a 72,8 % počas EXO a 6,2 % v červenej zóne počas EXO. Najhoršia situácia bola pri vnútornej/vonkajšej rotácii bedra. Môže to byť spôsobené obmedzeným časom na prispôbenie sa práci s exoskeletom.

Tab. 4. Overenie normality súboru nameraných pohybových dát sa vykonáva pomocou Shapiro-Wilkovho testu normality. Pre každý súbor sme testovali nulovú hypotézu: „Rozdelenie vzorky je normálne.“ Ak bola p-hodnota menšia ako hladina významnosti α , potom bola nulová hypotéza zamietnutá a distribúcia bola nenormálna.

Kĺb/Priemer \bar{x} [%]	Zelená oblasť		Oranžová oblasť		Červená oblasť	
	STOJ	EXO	STOJ	EXO	STOJ	EXO
Krk	55.5	66.7	34.1	26.7	10.4	6.5
Spodná časť chrbta	93.1	95.9	6.8	4.1	0.1	0.0
Pravé plece	72.8	72.0	18.6	19.0	8.6	9.0
Ľavé plece	77.7 ¹	61.1 ¹	15.9 ¹	26.7 ¹	6.4	8.6
Pravé bedro	94.6	83.7	5.4	8.0	0.0	8.2
Ľavé bedro	89.7 ¹	72.8 ¹	10.1 ¹	21.0 ¹	0.2	6.2 ¹

¹ Hodnoty so signifikantným vplyvom na výsledky.

V súhrne možno povedať, že naše experimenty odôvodnili pozitívny vplyv exoskeletu CC 2.0 na zlepšenie ergonomických podmienok na hodnotenom montážnom pracovisku. Ako sa uvádza v [24], viac ako 30 % času zmeny v oranžovej oblasti vytvára vysoké riziko vzniku MSD. V našom prípade všetky segmenty pri nosení exoskeletu strávili nižší čas v oranžovej zóne.

Záver

Tento príspevok mal za cieľ doplniť experimentálny výskum ochorení muskuloskeletálneho systému (MSD) z dôvodu ich vysokého výskytu v priemysle a dôležitosti ich prevencie v rámci bezpečnosti a ochrany zdravia pri práci. Pravidelné sledovanie pracovných pozícií v odvetví pomáha znižovať alebo predchádzať riziku úrazov a chorôb z povolania a poskytuje komfort a efektívny výkon pri práci. Exoskelety sa môžu stať perspektívnym prostriedkom na prekonávanie nerovnomerných výkonov pracovníkov, ktoré často vyplývajú z postupujúcich vekových alebo rodových rozdielov, a tak sa môžu stať perspektívnym nástrojom pri správnom režime ich použitia a vhodnosti jednotlivých typov pre konkrétne pracovné činnosti. Naša stratégia prevencie MSD sa zameriava na vyhodnocovanie ergonomických rizík v slovenských továrňach pomocou vedeckých nástrojov s nositeľným bezdrôtovým meracím systémom Captiv.

PodĎakování

Príspevok bol vypracovaný v rámci riešenia grantového projektu Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky APVV-19-0367 a projektu KEGA 009TUKE-4/2020.

Literatura

- [1] NCZI: Národné centrum zdravotníckych informácií: Choroby z povolania 2020. Správa k publikovaným výstupom. 2021.
- [2] Musculoskeletal disorders, [online]. [cit. 17.2.2016]. Dostupné na internete: <<https://osha.europa.eu/en/themes/musculoskeletal-disorders>>.
- [3] www.sciencedirect.com. [Online] <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978012814659000011>.
- [4] Ruiz-Olaya, A. F., et al.: Handbook of Biomechanics: Chapter Eight - Upper and Low Extremity Exoskeletons. Academic Press 2019 (ISBN 978-0-12-812539-7).
- [5] Onofrejšová, D., Balážiková, M.: Minimalizácia fyzickej záťaže na pracoviskách v priemysle použitím exoskeletov. In: Bezpečná práca: dvojmesačník pre teóriu a prax bezpečnosti práce. Bratislava (Slovensko): Anastázia Bezáková - A+Z Roč. 52, č. 1 (2021), s. 1-6, [print]. ISSN 0322-8347. Prístup: <https://www.bezpecnapraca.sk/obsahy/1-2021/index.php>
- [6] Pons, J. L.: Wearable Robots: Biomechatronic Exoskeletons, John Willey & Sons, Ltd, England, 2008 (ISBN 978-0-470-5194-4).

- [7] Onofrejšová, D., Balážiková M., Šebo, J.: ERGONOMIA. Základné metódy a prostriedky, Košice: Strojnícka fakulta, Technická univerzita, 2021.
- [8] Šimšík, D. a kol.: Rehabilitačné inžinierstvo. Edícia vedeckej a odbornej literatúry – SJF TU v Košiciach, Košice, 2011, ISBN 978-80-553-0559-2, s. 390.
- [9] *www.posterus.sk*. [Online] <http://www.posterus.sk/?p=17708>.
- [10] „<https://www.nextech.sk/a/Exoskeleton-nezmeni-cloveka-na-robotu>,“ [Online].
- [11] *www.skelex.com/skelex-360-xfr/*. [Online] <https://www.skelex.com/skelex-360-xfr/>.
- [12] *www.paexo.com*. <https://paexo.com/paexo-shoulder/?lang=en>. [Online]
- [13] *www.robotik.dfki-bremen.de*. [Online] <https://robotik.dfki-bremen.de/en/research/robot-systems/exoskelett-aktiv-vi/>.
- [14] „<https://www.bailiwickexpress.com/jsy/life/technology/chairless-chair-wearable-device-will-let-you-sit-anywhere-you-want/>,“ [Online].
- [15] „<https://www.robotshop.com/en/chairless-chair-20-m.html>,“ [Online].
- [16] „<https://www.homecrux.com/wearable-chairs-wont-let-you-go-weak-in-the-knees/107220/>,“ [Online].
- [17] „<https://www.mdpi.com/1424-8220/15/11/27738>,“ [Online].
- [18] <https://paexo.com/paexo-back/?lang=en>
- [19] <https://static1.squarespace.com/static/5f7d9bb22f1bc82b03f6f1b0/t/5f995ebd9b16be70ef97bb49/1603886792050/V2.57+User+manual.pdf>
- [20] <https://www.auxivo.com/liftsuit>
- [21] Tea CAPTIV Softvér, Verzia 1.5; User Manual; Tea: Nancy-Brabois, Francúzsko, 2021.
- [22] Waters, T.R.; Dick, R.B. Evidence of Health Risks Associated with Prolonged Standing at Work and Intervention Effectiveness. *Rehabil. Nurs.* 2015, 40, 148–165.
- [23] Robertson, M.M.; Ciriello, V.M.; Garabet, A. Office ergonomics training and a sit-stand workstation: Effects on musculoskeletal and visual symptoms and performance of office workers. *Appl. Ergon.* 2012, 44, 73–85.
- [24] Zákon Slovenskej republiky č. 124/2006 Z.z. o bezpečnosti a ochrane zdravia pri práci. <https://zakony.judikaty.info/predpis/zakon-124/2006> (získané 10 Januára 2022).

Technologie Motion Capture v ergonomii

Pavel Vránek¹, Filip Rybníkář, Ilona Kačerová, Yauheniya Anapreyenka

¹ Západočeská univerzita v Plzni, Univerzitní 2732/8, 301 00 Plzeň, vranek@kpv.zcu.cz

Abstrakt: Tento článek je zaměřen na využití technologie Motion Capture v oblasti ergonomie. Tato technologie umožňuje zaznamenat pracovní pohyb a rozsahy úhlů končetin vůči stanovené rovině měřené osoby v každém okamžiku. Výstupem této publikace je vyhodnocení poloh pracovníka na vybraných pracovištích s ohledem na ergonomii pracoviště a bezpečnost práce dle české legislativy. Pomocí technologie MoCap lze posoudit vhodnost pracoviště pro zaměstnance a na základě výstupů provést potřebné změny, které vedou ke zlepšení pracovních podmínek.

Klíčová slova: Motion Capture, kinematický oblek, ergonomie, průmysl

Úvod

Ve výrobním procesu se často vyskytují chyby a nedostatky, které způsobují ztráty ve výrobě, zdravotní problémy zaměstnanců a ovlivňují kvalitu výrobků. Motion Capture oblek umožňuje zaznamenávat pracovní pohyby pracovníka v reálném čase a zpracovávat data o pohybech v animačních programech. Na základě zaznamenaných pohybů lze pracoviště optimalizovat tak, aby byla snížena fyzická zátěž zaměstnanců. Technologie zaznamenání pohybů pomocí obleku představuje inovativní přístup pro měření ergonomie pracoviště. Koncept řešení spočívá v zaznamenání poloh pracovníka na pracovišti pomocí moderní technologie MoCap a následné analýze výstupů z hlediska přijatelnosti pracovních poloh. Hlavním cílem je ověření dodržení ergonomických požadavků a bezpečnostních omezení v souladu s českými právními předpisy. Zaznamenaná animace slouží jako podklad pro optimalizaci pracoviště a vytvoření doporučení pro pracovníky, které umožní eliminovat ergonomicky nevhodné pohyby.

1 Popis měření pomocí technologie Motion Capture

Před měřením jsou získány informace o vybrané pracovní pozici se zaměřením na pracovní náplň. Měření je provedeno v reálném čase na reálném pracovišti. Před zahájením měření je zjištěna váha a výška probanda. Dané parametry jsou potřebné pro kalibraci obleku. Pro snímání pohybů je použit oblek se senzory, jehož pomocí lze převést pohyby do počítače. [1] Pohyby ve virtuálním prostředí jsou zaznamenány pomocí vlastní aplikace vybraného Motion Capture obleku a jsou poté převedeny do aplikace Unity. Obrázek 2 zobrazuje digitální model člověka v aplikaci vybraného obleku.



Obrázek 1: Digitální model pracovníka

Po měření pohybů je celý záznam podroben analýze nástrojem vytvořeným v software Unity, který umožňuje získat dat o rozsazích úhlů jednotlivých končetin vůči zadané rovině. Získané hodnoty jsou posléze porovnány a vyhodnoceny dle definovaných parametrů korespondujícími s ergonomickými limity stanovenými českou legislativou, případně interními standardy společnosti.

1.1 Postup měření

Pracovník, který vykonává úkol, má na sobě kinematický oblek Motion Capture, který přenáší reálný pohyb do virtuálního prostředí. Oblek je tvořen páskami, na kterých jsou umístěny senzory. Dané senzory jsou připojeny bezdrátově k routeru. [2] Celý pohyb je přenášen do speciální aplikace, která shromažďuje data o pohybech pracovníka v reálném čase.

Tato data jsou následně přepočítávána a vyhodnocována pomocí nástroje, který byl vyvinut a parametricky nastaven dle české legislativy NV 361/2007 Sb., která popisuje pracovní polohy a jejich ergonomickou vhodnost pro práci. Aplikace vyhodnocuje polohy krku, trupu a horních končetin při práci na zvoleném pracovišti. Pro podrobnější analýzu jsou pohyby krku a trupu pracovníka rozděleny na flexi/extenzi, abdukci/redukci a rotaci. Pohyby pravé a levé paže lze obdobně rozdělit na flexi/extenzi a abdukci/extenzi. Podle českého zákona jsou polohy přijatelné, podmíněně přijatelné a nepřijatelné, nepřijatelné pracovní polohy jsou omezeny na dobu 30 minut, podmíněně přijatelné polohy jsou omezeny na dobu 160 minut za průměrnou osmihodinovou směnu. [3]

Díky vysokému množství zaznamenávaných dat (až 120 snímků za sekundu) je dosaženo vyšší úrovně přesnosti ve srovnání s jinými metodami. Softwarová aplikace, která je určena pro analýzu zaznamenaných dat, poskytuje přehled měřené pracovní pozice a identifikuje úzká místa. Třístupňové členění nadpisů není žádoucí.

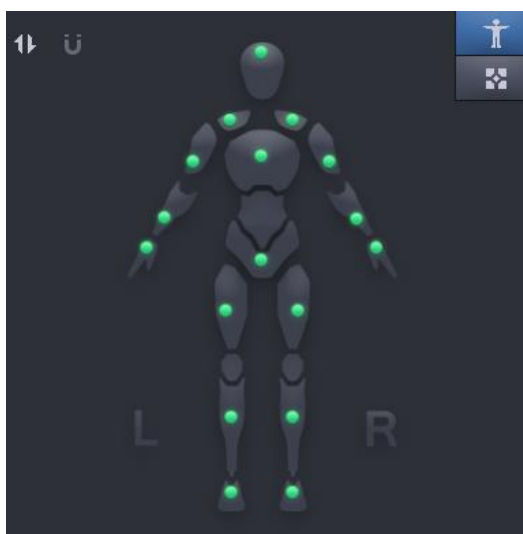
1.2 Optimalizace pracoviště

Technologie Motion Capture umožňuje vytvořit přehled o nejčastěji se vyskytujících polohách pracovníka a odhalit nedostatky na pracovišti. Na základě analýzy záznamu pracovník zjistí, jaké pohyby nejsou v přijatelném rozsahu hodnot. V rámci hodnocení poloh lze identifikovat problematické oblasti procesu a poté je optimalizovat. Výhodou této inovativní technologie je možnost propojení s virtuální realitou. Model pracoviště ve virtuální realitě umožňuje testování parametrů pracoviště v koncepční fázi a provádění úprav za účelem zlepšení ergonomie pracovního místa. [4]

Na vyhodnocení měření lze navázat tvorbou standardů pracovních činností. Dané vyhodnocení může zároveň sloužit jako podklad pro školení zaměstnanců.

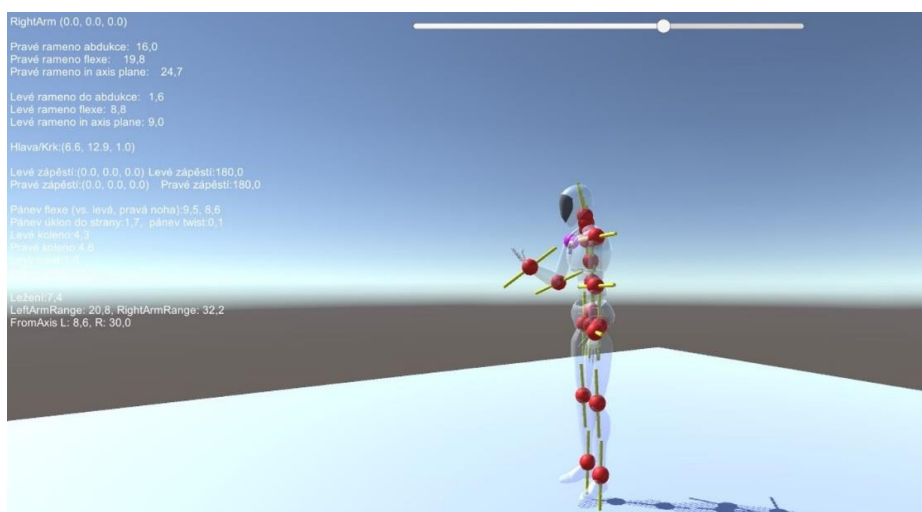
2 Průběh měření na pracovišti

V rámci projektu jsou vytipovány pracovní pozice a k tomu přiřazeny pracovníci. Pro zaznamenání poloh je použit oblek od společnosti Noitom, který tvoří 17 senzorů. Každý senzor má svoji danou polohu. Sensory jsou umístěny na hlavu, trup, horní končetiny a nohy. [5] Tyto senzory slouží pro snímání pracovních pohybů. Reálné pohyby jsou rovnou převedeny do digitálního modelu v počítači. Umístění senzorů je znázorněno na obrázku 2. Před měřením vždy proběhne kalibrace pro zajištění přesnosti měření. Dále je potřeba zvolit frekvenci, která je přímo úměrná rychlosti záznamu. Po celou dobu měření je k počítači připojen router. Zaznamenané sekvence pohybů jsou uloženy ve formátu fbx. [6] Pro zpracování naměřených hodnot je potřeba transformace dat do formátu kompatibilního s nástrojem Microsoft Excel. Pro převedení dat do textového formátu je použit vytvořený a naprogramovaný nástroj v aplikaci Unity App.



Obrázek 2: Umístění senzorů

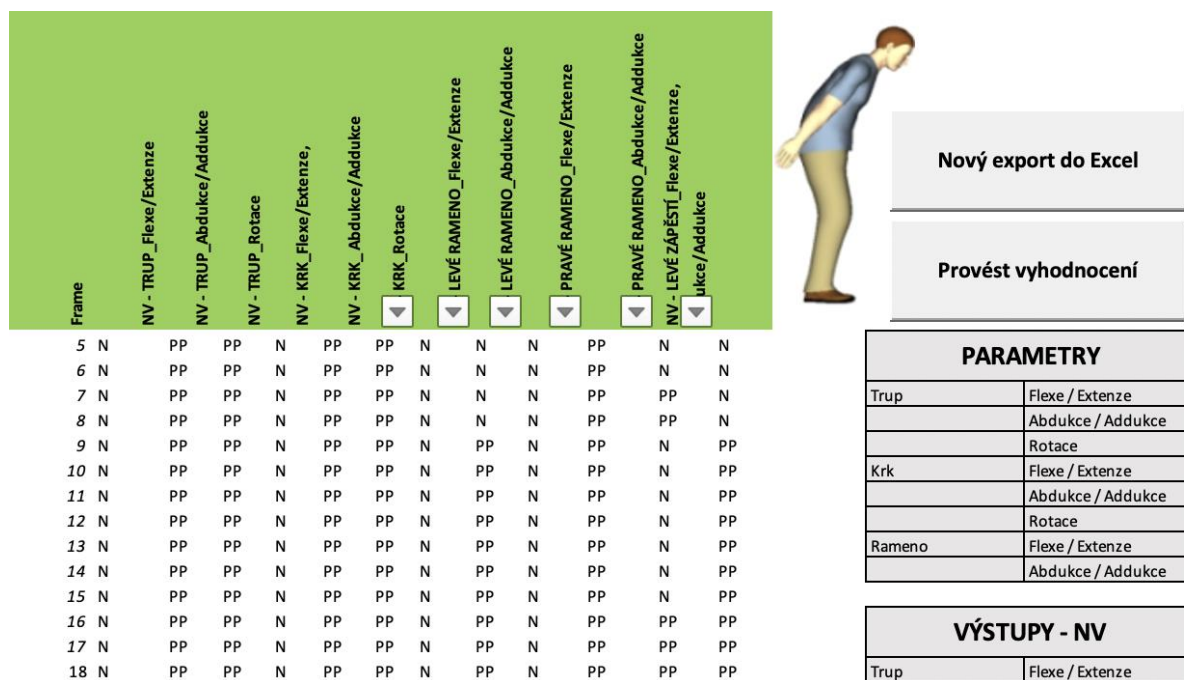
Pro záznam v reálném čase je použita aplikace Axis rovněž od společnosti Noitom, jež byla vytvořena přímo pro oblek od zajišťuje přímou kompatibilitu zařízení. Tato aplikace představuje virtuální prostředí pro znázornění reálných pohybů na digitálním prostředí.



Obrázek 3: Aplikace Unity Hub

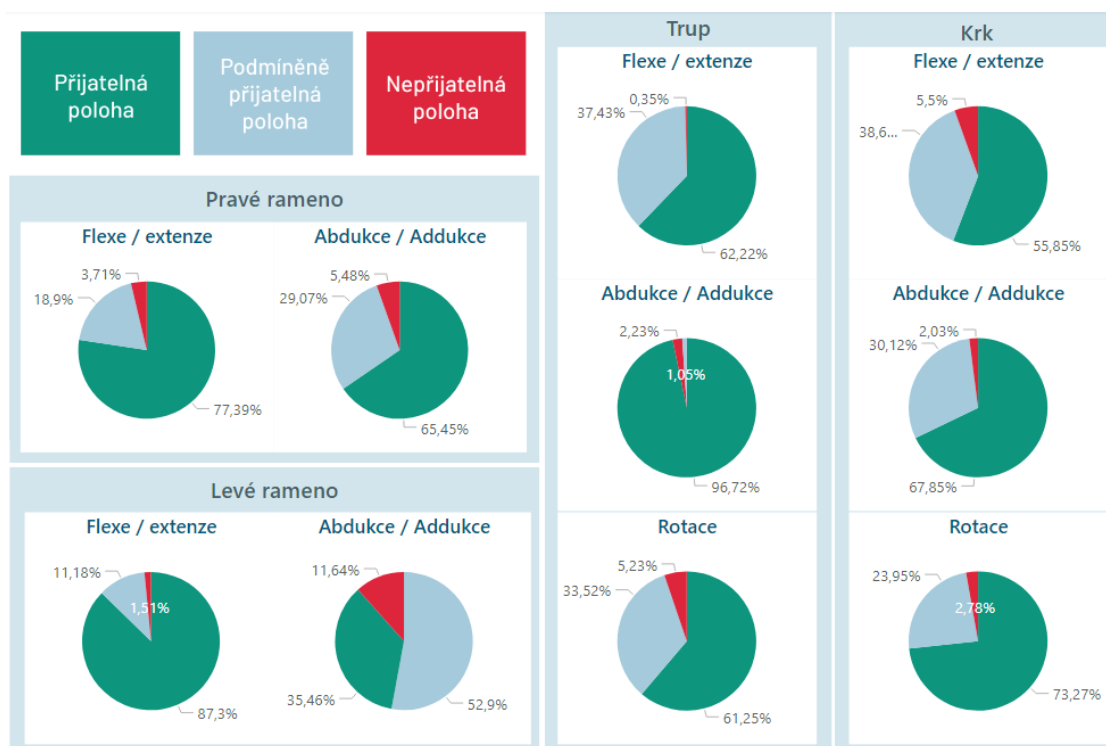
Jak již bylo zmíněno, nezbytnou součástí celého řešení je nástroj pro vyhodnocení výsledků měření, který byl vytvořen v prostředí MS Excel s nadstavbou v programovacím jazyku Visual Basic for Application (VBA). Po převedení do textového formátu jsou data nahrána do tohoto nástroje. Každý řádek v Excelu představuje jeden snímek. Počet snímků závisí na nastavené frekvenci snímání (rozsah 30 snímků za vteřinu až 120 snímků za vteřinu). Účelem nástroje je porovnání každého snímku se stanovenými limity. Jedná se o limity stanovené českou legislativou. Dle potřeby zákazníka lze použít interní limity společnosti.

Každý snímek je zařazen do přijatelné, nepřijatelné anebo podmíněně přijatelné polohy. Tato analýza je provedena zvlášť pro krk, trup a ramena. Výstupem je tedy počet snímků pro každou skupinu. Pro lepší znázornění výsledků jsou vytvořeny koláčové grafy, které vyjadřují procentuální zastoupení pracovních poloh.



Obrázek 4: Vyhodnocovací nástroj

Dané výsledky ve formě grafů jsou podkladem pro kategorizaci práce. Při překročení stanovených limitů je potřeba se zaměřit na danou pracovní pozici a navrhnout nápravná opatření k zamezení nepřijatelných pohybů. Jedná se o změnu layoutu pracovního místa, standardizaci pracovních úkonů, změnu pracovního postupu, školení pracovníků apod.



Obrázek 5: Grafické zastoupení poloh pro vybranou pozici

Uvedená metoda je zároveň vhodná pro testování digitálních modelů pracovišť, která zatím neexistují fyzicky. V tom případě by se jednalo o propojení metody Motion Capture a virtuální reality.

Závěr

Pomocí vhodného nástroje pro zlepšení ergonomických podmínek lze minimalizovat nedostatky na pracovišti. MoCap oblek umožňuje zachytit pohyby končetin a poté tyto pohyby transformovat do digitalizovaného prostředí. Získaná analýza digitalizovaných pohybů je podkladem pro tvorbu doporučení pro pracovníky a zároveň pro změnu vybavení a prostorového uspořádání pracovního místa. Zlepšení pracoviště z ergonomického hlediska přispívá ke zvýšení bezpečnosti, zvýšení pracovního výkonu a snížení únavy zaměstnanců. Pomocí navržených opatření lze zároveň snížit počet nemocí z povolání.

Postup celého řešení je standardizovaný a lze jej jednoduše upravovat a aplikovat opakovaně podle požadavků zákazníka. Cílem do budoucna je zrychlení vyhodnocení naměřených hodnot, aby byla zvýšena efektivita procesu hodnocení.

Prostřednictvím pokročilé technologie, která je založena na efektivním zaznamenání poloh zaměstnanců, jsou pracovní polohy vyhodnocovány v souladu s českou legislativou. Zaznamenaná data byla zanalyzována pomocí vyvinuté aplikace respektující zadaná kritéria dle NV 361/2007 Sb. Jedná se o porovnání skutečných pohybů s nastavenými limity dle českého zákona. Ověření bylo provedeno zvláště pro krk, trup a horní končetiny.

Měření pomocí kinematického obleku je také podkladem pro návrh úprav na pracovišti s cílem zlepšit pracovní podmínky pro personál a ulehčit práci. Správným návrhem pracoviště se minimalizují nedostatky na pracovišti. Optimalizace stanovišť z hlediska ergonomie je spojena se zvýšením bezpečnosti a snížením únavy pracovníků a vede ke zvýšení jejich výkonnosti. Pomocí softwaru pro hodnocení měření lze snadno provádět analýzu údajů získaných při měřeních a porovnávat je se zadanými limity.

Poděkování

Tento článek byl vytvořen za podpory interního grantu Západočeské univerzity číslo SGS-2021-028 s názvem Vývojové a tréninkové prostředky pro interakci člověka a kyber-fyzického výrobního systému (Developmental and training tools for the interaction of man and the cyber-physical production system).

Literatura

- [1] Li, X. and Zheng, H. (2021). Target detection algorithm for dance moving images based on sensor and motion capture data. *Microprocessors and Microsystems*, vol. 81.
- [2] Marin, J., Blanco, T., Marin, J. *Octopus: A Design Methodology for Motion Capture Wearables*. Multidisciplinary Digital Publishing Institute. 2017.
- [3] *Zákony pro lidi* (2021). Coll. Government Regulation Laying Down Conditions for Occupational Health Protection [online]. [cit.2021-11-14]. Available at: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2007-361>.
- [4] Gregor, M., Horejsi, P. and Michal, Š. (2015). Case study: Motion capture for ergonomics. In *Innovation Vision 2020: from Regional Development Sustainability to Global Economic Growth*, pp. 468–476.
- [5] Li, X. and Zheng, H. (2021). Target detection algorithm for dance moving images based on sensor and motion capture data. *Microprocessors and Microsystems*, vol. 81.
- [6] Menolotto, M., Komaris, D.-S., Tedesco, S., O'Flynn, B. and Walsh, M. (2020). Motion Capture Technology in Industrial Applications: A Systematic Review. *Sensors*, vol. 20.

Využití kolaborativního robota v reálné aplikaci

Martin Nečas¹, Petr Syrový¹, Michal Kaňák¹, Lukáš Pelikán¹, Jiří Kyncl¹

¹ České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní, Technická 4, 166 07 Praha 6, Czech Republic, m.necas@fs.cvut.cz

Abstrakt: Článek se zabývá automatizací rozměrové kontroly na souřadnicovém měřicím stroji (CMM) za využití kolaborativního robota. Automatizací rozměrové kontroly je možné minimalizovat kapacitu zaměstnanců a zvýšit opakovatelnost a produktivitu měření součástí v sériové výrobě. V rámci realizace pracoviště byl zvolen předmět kontroly a navrženy příslušné přípravky, potřebné vybavení pracoviště a varianty uspořádání pracoviště. Součástí realizace pracoviště bylo vytvoření programu robota za účelem plné automatizace procesu, včetně zakládání výrobku a jeho umístění po kontrole součásti v závislosti na výsledku měření.

Klíčová slova: Automatizace kontroly kvality, kolaborativní pracoviště, Souřadnicový měřicí stroj

Úvod

Cílem tohoto článku je návrh a realizace automatizovaného pracoviště rozměrové kontroly na souřadnicovém měřicí stroji (CMM) za využití kolaborativního robota. V první části článku jsou stručně popsány základy kolaborativní robotiky. V další části se článek zabývá návrhem pracoviště na základě vstupních parametrů projektu, následně zjednodušenou verifikací zvolené varianty pomocí SW RobotStudio, určeného k programování robotů ABB. V závěru článku je popsán proces vytvoření programu pracoviště automatizované kontroly, díky kterému mohlo dojít k realizaci.

1 Kolaborativní robotika

Průmyslové roboty jsou vnímány jako člověku nebezpečná zařízení, které člověka vlivem jeho nepozornosti mohou zranit, nebo dokonce usmrtit. Z bezpečnostního hlediska bylo v minulosti nejsnadnějším řešením člověka z pracovního prostoru robota eliminovat, aby se zabránilo možné nehodě, nejčastěji pak prostřednictvím bezpečnostního oplocení. Avšak pro plné a produktivní zapojení robotů v některých montážních oblastech bylo nutné čas od času povolit zásah člověka v prostoru robota. To bylo jedním z hlavních důvodů vzniku kolaborativní robotiky, která dovoluje a definuje sdílení společného prostoru pro člověka a robota. [1], [2], [3]

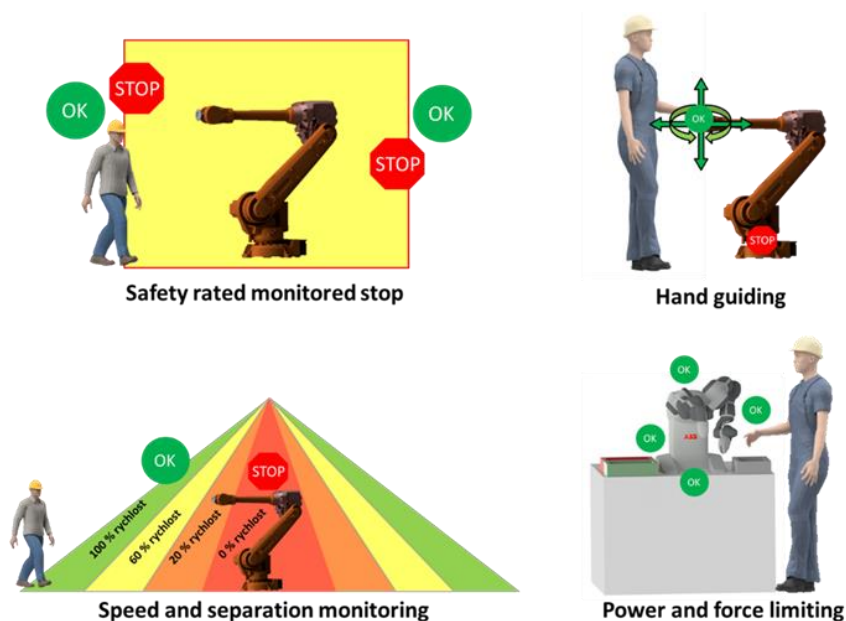
Hlavním smyslem kolaborativních robotů je spolupráce (kooperace) s člověkem. Důležité je zdůraznit, že při kolaboraci dochází mezi robotem a člověkem k vzájemné spolupráci ve společném pracovním prostoru. Mnoho lidí se domnívá, že jakýkoliv robot bez oplocení je kolaborativní a je určen pro práci s lidmi. V případě použití přídatných bezpečnostních prvků splňujících bezpečnostní pokyny ISO 10218 se sice bude jednat o kolaborativní pracoviště, ale ne o robota určeného ke spolupráci s lidmi. Nekolaborativní robot na kolaborativních pracovištích se během výskytu člověka v jeho blízkosti zastaví a nesmí se pohybovat, dokud člověk prostor neopustí. Existuje několik typů zajištění bezpečnosti kolaborativního pracoviště, ovšem doposud pouze jeden typ je určen pro spolupráci s člověkem bez přídatných bezpečnostních prvků. [1], [2], [3]

1.1 Bezpečnost a typy kolaborativních pracovišť

V současnosti bezpečnostní požadavky průmyslových systémů kolaborativních robotů a pracovního prostředí specifikují normy ISO 10218. V normě jsou popsány celkem čtyři módy sdílení prostoru mezi člověkem a robotem. Novinkou je technická specifikace ISO/TS 15066, která doporučuje vhodné limity a omezení kolaborativních robotů tak, aby bylo možné kontrolovat riziko. ISO/TS 15066 poprvé uvádí

například maximální limity dovolené síly a rychlosti kolaborativních robotů s omezenou silou vycházející z provedené studie „bolesti“ na 29 místech lidského těla.[1], [4]

Mezi v normě popsané typy sdílení prostoru člověka a robot na kolaborativním pracovišti patří tyto čtyři zobrazené na Obr.1.



Obr. 1 Typy kolaborativního pracoviště

“Safety rated monitored stop” nabízí pouze možnost vstupu člověka do pracovního prostoru robota s jeho okamžitým zastavením. Druhý typ, “Hand guiding” je používán pro manuální navádění robota a je využíván především pro učení pohybu robota, který je následně opakován. V případě použití typu “Speed and separation monitoring” robot již nemusí být v uzavřené kleci ze všech stran. Prostor určený pro vstup člověka je členěn do několika zón, které jsou monitorovány kombinací více bezpečnostních prvků (laser skenery, kamerové systémy, apod). Dle vstupu do jednotlivých zón robot nejprve zpomaluje až úplně zastavuje. Kolaborativní pracoviště využívající typ “Power and force limiting” jsou jediné, které jsou vybaveny přímo kolaborativními roboty, kde se člověk i robot mohou pohybovat současně ve sdíleném prostoru. Robot každým motorem (osou) dokáže monitorovat jeho zatížení a jakmile narazí do jakékoliv překážky okamžitě zastaví. Z důvodu nutnosti rychlého zastavení se omezuje rychlost, nebo nosnost břemene robota, aby nedošlo k ohrožení operátora.[1], [3], [5]

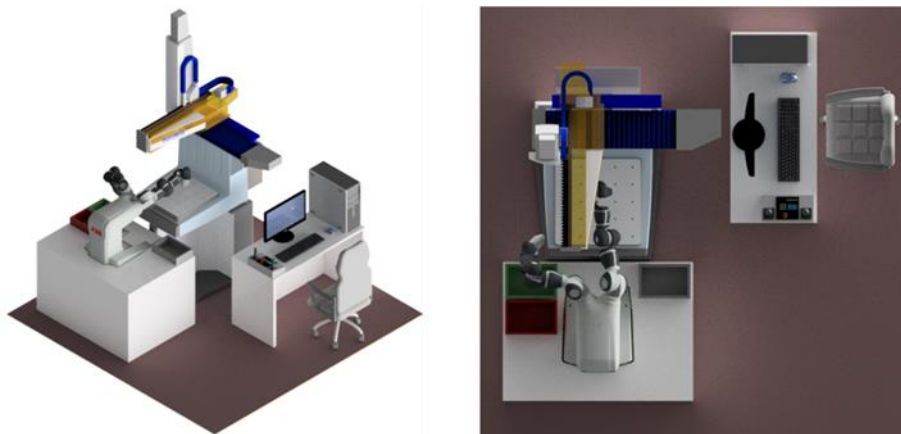
2 Návrh kolaborativního pracoviště kontroly

Prvním krokem při návrhu bylo určení vhodné pozice a orientace robota vůči souřadnicovému měřicímu stroji (dále CMM). Jako nejvhodnější pozice vzhledem k dosahovým vzdálenostem robota byla zvolena pozice „face-to-face“, tedy oba stroje naproti sobě. Pro určený předmět kontroly byly vybrány vhodné transportní boxy, ze kterých robot součástky snadno odebere a znovu je umístí dle výsledků měření. Vstupní boxy (přepravky) byly šedé a robot zakládá do zelených a červených podle toho, zda díly vyhovovali stanoveným požadavkům z technické dokumentace.

2.1 Návrh finální varianty uspořádání pracoviště

Díky stanovené pozici a orientaci obou strojů vůči sobě a určení transportních přepravek mohl následovat komplexní proces návrhu celého pracoviště. Návrh probíhal s využitím SW (software) CAD a SW pro programování robotů, tak aby výsledný stůl vyhovoval především dosahovým vzdálenostem robota. Díky této kombinaci SW bylo možné určit nejvhodnější pozici robota ve všech osách

kartézského souřadného systému (i v ose Z) a určit také vhodnou výšku stolu. Další rozměry stolu (x a y) byly určeny dle umístění přepravek na stůl tak, aby robot zvládl v jedné konfiguraci nástroje obsáhnout celé pole dílů v přepravce. Na základě těchto stanovených rozměrů byl navržen stůl na míru pro vybraného kolaborativního robota YuMi od ABB. Stůl robota a stroj vůči sobě nebyly nijak pevně vymezeny z důvodu možnosti doladění pozice stolu vůči CMM a následnému kotvení stolu k podlaze. Zároveň v měřícím prostoru CMM byl pouze jeden target (pozice) s využitím offsetů pro jednoduchost úpravy pozice a doladění procesu viz Obr. 2.



Obr. 2 Vizualizace finální varianty pracoviště

2.2 Další vybavení pracoviště

Pro kompletaci pracoviště byl navržen menší stůl pro počítačovou sestavu k ovládání a náhledu měření CMM. Navrženy byly také paralelní prsty robota, přípravky pro umístění dílců v pracovním prostoru CMM a plastové blistry pro zajištění přesné pozice dílů v přepravkách. Všechny přípravky a prsty robota byly vyrobeny s využitím 3D tisku pro rychlý prototyping a možnost testování. Nejprve bylo v plánu původní prototypy nahradit obráběnými díly, nicméně kromě přípravku v pracovním prostoru robota nakonec zůstalo vše pouze 3D tištěné. Ten musel být nahrazen kovovým z důvodu teplotní a tvarové stability. Prsty a blistry nebyly nijak výrazně zatěžovány a jejich plastová verze byla více než dostatečná a u prstů zároveň bezpečnější pro obsluhu robota. Navržené díly jsou zobrazeny na Obr. 3.

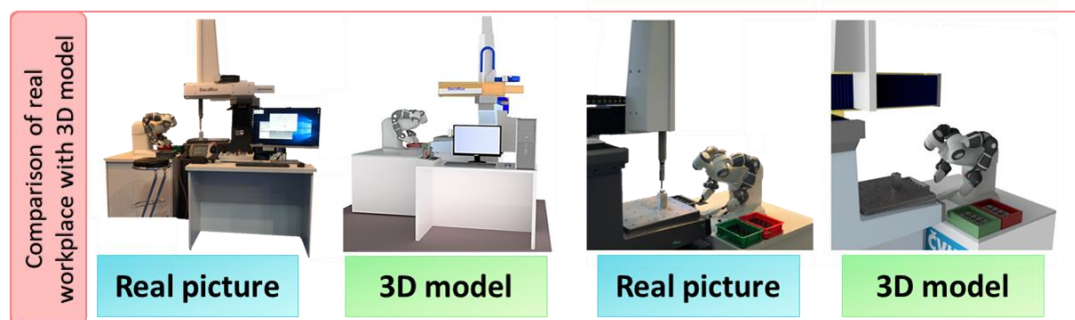


Obr. 3 Další vybavení pracoviště

3 Tvorba programu robota

Program robota byl vytvořen s využitím kombinace offline (SW) a online programování s použitím ovládacího panelu FlexPendant. Pro každý prvek na pracovišti byla určena pouze jedna základní pozice a zbylé pozice (targety) roboty byly určovány s využitím vhodných cyklů a offsetů robota vůči daným základním pozicím. Díky tomu byla základní struktura programu poměrně jednoduchá a bylo možné ji jednoduše upravit změnou základního bodu, v případě natočení přípravků ještě změnou orientace

lokálního souřadného systému. Pohyb rukou byl synchronizován s využitím synchronizačních programovacích funkcí robota jako jsou např. „SyncMoveOn“, nebo „WaitSyncTask“. Pro komunikaci a zamezení kolize robota s měřicí sondou CMM byly využity digitální vstupy a výstupy, kde robot po obdržení signálu od CMM ještě před vstupem do pracovního prostoru stroje zkontroloval další bezpečnost digitální vstup, který signalizoval, zda sonda je opravdu v domácí („home“) pozici. V případě chybějícího dílu v jakémkoliv přípravku robot pomocí odměřování v prstech poznal, zda je díl přítomný nebo není a v případě potřeby rozsvícením digitálních led pásků upozornil operátora pracoviště. Výsledné pracoviště a jeho porovnání s modelem je zobrazeno na Obr. 4.



Obr. 4 Porovnání modelu a reálného pracoviště kontroly kvality

Závěr

Popsaný proces návrhu a tvorby programu robota vedli k realizaci pracoviště okamžitě použitelného pro průmyslovou automatickou kontrolu kvality dílů. Motivací pro realizaci byla aktuální potřeba daného řešení z důvodu absence kvalifikovaných pracovníků kontroly kvality, která omezuje především větší společnosti. Bylo vytvořeno plně automatické propojení dvou strojů a celé řešení bylo verifikováno s využitím vhodných SW a odladěno přímo na reálném procesu kontroly kvality.

Literatura

- [1] ROBOTIQ. COBOTS EBOOK: Collaborative Robots Buyer's Guide [online]. 7th. b.r., 66 s. [cit. 2019-03-20]. Dostupné z: <https://blog.robotiq.com/hubfs/COBOT%20EBOOK%20FINAL.pdf>
- [2] DUCHOSLAV, Petr. Co je to kolaborativní robot? 5 věcí, které byste o něm měli vědět. Factory Automation [online]. 2017 [cit. 2019-03-21]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/co-je-to-kolaborativni-robot-5-veci-ktere-byste-o-nem-meli-vedet/>
- [3] HAVLE, Otto. Kolaborativní robotika: Dočasná móda, nebo trvalý trend? [online]. b.r. [cit. 2019-03-25]. Dostupné z: http://www.controlengcesko.com/index.php?id=47&no_cache=1&tx_ttnews%5btt_news%5d=6755&cHash=544e46c0f9&type=98
- [4] Úvod do ISO/TS 15066. Atp journal [online]. b.r. [cit. 2019-03-25]. Dostupné z: https://www.atpjournalsk/rubriky/prehľadove-clanky/uvod-do-iso-ts-15066.html?page_id=24990
- [5] What Does Collaborative Robot Mean ?. Robotiq [online]. 2015 [cit. 2019-03-25]. Dostupné z: <https://blog.robotiq.com/what-does-collaborative-robot-mean>
- [6] VILLANI, Valeria, Fabio PINI, Francesco LEALI a Cristian SECCHI. Survey on human–robot collaboration in industrial settings: Safety, intuitive interfaces and applications. Mechatronics [online]. 2018, 55, 248-266 [cit. 2019-03-25]. DOI:10.1016/j.mechatronics.2018.02.009. ISSN 09574158. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0957415818300321>

Využití moderních metod a technologií při zlepšování ergonomie práce

Magdalena Šoltysová a tým Premedis s.r.o.

Studentka 2. ročníku 3.LF UK Praha

Abstrakt: ergonomické projekty jsou důležitým nástrojem pro zlepšování ergonomického designu výrobních linek a pracovišť. Využití moderních technologií, postupů a metodik považuji za velmi důležité. V ČR bohužel v praxi stále převažují zastaralé postupy a přístroje. Věřím, že nastupující generace studentů a ergonomů tuto situaci zlepší a bude používat moderní trendy odpovídající 21. století.

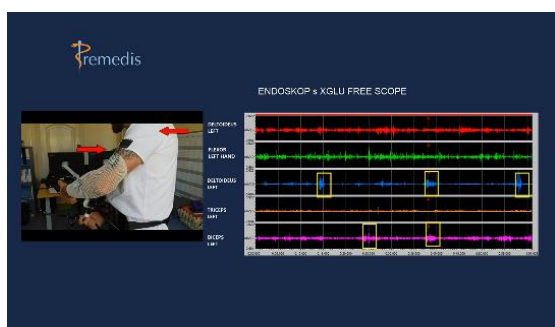
Klíčová slova: ergonomické projekty, moderní metody a technologie, pracovní pohoda

Úvod:

Ergonomie práce je základním nástrojem ke snižování pracovní zátěže zaměstnanců zejména v odvětvích, kde základním pracovním prostředkem zůstává používání svalového aparátu horních končetin. Jedná se především o dlouhodobou fyzickou zátěž při práci ve výrobních a zpracovatelských závodech v různých oborech průmyslu nejen v ČR. Pro zlepšení této situace je potřeba větší efektivita a kvalita vstupních analýz a mnohem větší důraz na návrh a hlavně aplikaci technických či organizačních opatření v praxi.

1 Moderní způsob řešení ergonomických projektů

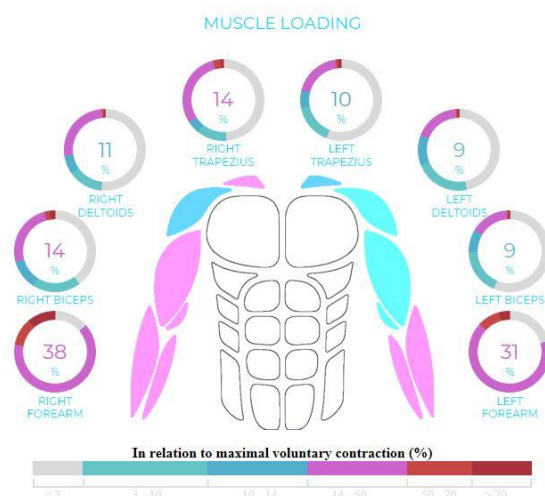
Moderní přístup při realizaci ergonomických projektů preferuje používání inovativních technologií a metodik, které se zaměřují na rychlé vyhledání kritických míst a umožňují v krátkém čase najít a posoudit vhodná technická či ozdravná opatření. S využitím Biometrics DataLite System, Myontec EMG Muscle Activity Measuring Technology a Premedis MSDs Risk Analysis provádíme celou řadu ergonomických analýz a studií za účelem optimalizace ERGO designu výrobních pracovišť a procesů, eliminace rizika přetěžování pohybového aparátu a prevence nemocí z povolání.



Obr. 1 DataLite_ XGLU holder – nižší svalová zátěž



Obr. 2 Myontec EMG analýza běhu na zpevněné cestě



Obr. 3 Myontec EMG měření – příklad výsledku

Zlepšení ergonomického designu pracoviště a zavedení optimálních ergonomických postupů v technologii výroby vede ke snížení časové expozice v nepříjemných pracovních polohách (až o 7% pracovního fondu v roce), snižuje počet repetitivních pohybů často o více než 600.000 pohybů/rok u jednoho operátora, zvyšuje kvalitu a efektivitu výroby a je jedním z klíčových nástrojů pro skutečnou ochranu zdraví zaměstnanců. V rámci studia na 3. LF UK jsem měla možnost se podílet na realizaci projektů za účelem ergonomické optimalizace. Mimo jiné jsme posuzovali efekt používání Exoskeletonu při manipulaci s výrobkem, vliv zlepšeného designu endoskopu na zátěž horních končetin endoskopistů, posouzení zátěže při různých způsobech uchopení a manipulace nebo efekt zlepšeného ergonomického designu na eliminaci nepříjemných poloh a počtu pohybů. Velmi zajímavá byla i spolupráce na hodnocení efektivity svalové práce při běhu na zpevněných cestách a v lesním terénu u reprezentantů ČR v orientačním běhu během jejich přípravy na Mistrovství světa v roce 2021.

Ve všech uvedených případech jsme s využitím moderních technologií a přístupů našli vhodná řešení pro následné zlepšení a spolehlivě prokázali účinnost doporučených ergonomických opatření.

2 Závěr:

Na základě našich zkušeností můžeme jednoznačně konstatovat, že investice do optimalizace ergonomie výrobních pracovišť mají vysoký efekt a přínos pro zaměstnance i zaměstnavatele. Hlavním výsledkem úspěšných ERGO projektů je eliminace skutečných příčin přetěžování pohybového aparátu a omezení rizika vzniku nemocí z povolání. Využití moderních přístrojů a technologií výrazně zvyšuje efektivitu a kvalitu ergonomických analýz, umožňuje najít vhodná ozdravná opatření, a hlavně v krátkém čase ověřit jejich přínos pro zdraví a výkonnost pracovníků či sportovců.

Zhodnocení náročnosti fyzické práce během vyvětřování stromů

Luboš Staněk¹, Radomír Ulrich¹

¹ Mendelova univerzita v Brně, Lesnická a dřevařská fakulta, Ústav techniky, Zemědělská 3, 61300 Brno, email: lubos.stanek@mendelu.cz; radomir.ulrich@mendelu.cz

Abstrakt: Tato práce se zabývá poukázáním na fyzickou náročnost ručního vyvětřování stromů na stojato. Jedná se o dílčí část výzkumného projektu, jehož cílem je navrhnout, vyvinout a otestovat nový stroj na vyvětřování stromů. Za tímto účelem bylo vybráno dvacet stromů, které jeden pracovník vyvětřoval za využití ruční pilky a žebříku. Pro získání dat o náročnosti fyzické práce, byl použit tzv. sporttester Garmin, který sestává z přijímače signálu ve formě náramkových hodinek a z hrudního snímače, který představuje analyzátor a vysílač tepové frekvence. V rámci měření byla zaznamenávána tepová frekvence, teplota v místě měření a pohyb pracovníka po lesním porostu. Ze zjištěných dat byly hodnoceny další dílčí údaje. Výsledky měření mj. ukázaly, že ruční vyvětřování stromů na stojato se řadí do kategorie hodnot fyzické zátěže s označením „Střední nároky“ a svalový výkon pracovníka lze označit jako „Mírný“.

Klíčová slova: vyvětřování, fyzická zátěž, Garmin, sporttester, srdeční tepová frekvence

Úvod

Vyvětřování lze provádět buďto pomocí pracovních plošin či vystoupením do koruny stromu pomocí lanových technik, běžně nazývaných jako „stromolezení“. Volba použité metody do značné míry závisí na dostupnosti stromu. Stromolezectví je preferováno tam, kde jsou požadovány cílené a selektivní zásahy do větví stromů a tam, kde jsou stromy ve stíněných prostorách, kam se nedostane technika [1]. Obě zmíněné techniky se v případě vyvětřování stromů v lesním hospodářství v drtivé většině nevyužívají, a to především z ekonomických důvodů. Jedná se o techniky, jež jsou využívány v urbanizovaném prostředí. Proces vyvětřování v lesním prostředí je realizován nejčastěji za pomoci ruční vyvětřovací pilky, případně tzv. šplhacími pilami.

Vyvětřování se provádí z různých důvodů např. pro zlepšení formy růstu stromu, zmírnění strukturálních problémů (jako je odstraňování mrtvého dřeva), zvyšování nasazení koruny, preventivní opatření proti škůdcům nebo chorobám [2] a v případě stromů, které rostou v městském prostředí i z důvodu snižování rizika selhání a řešení konfliktů s infrastrukturou (budovy, elektrické kabely, dopravní značky a světla atd.) [2].

V lesním hospodářství je vyvětřování označováno jako tzv. pěstební postup, který zlepšuje kvalitu dřeva (větvě určují frekvenci a velikost suků, které budou přítomny ve finálně zpracovaném dřevě) a ovlivňuje i kvalitu a cenu řeziva. Velikost a četnost suků jsou nejdůležitějšími determinanty kvality dřeva pro produkci řeziva [3]. Rovněž také odstraněné větve narušují kontinuitu potencionálního hořlavého materiálu [4] v podobě dřevní hmoty při lesních požárech. Konkrétně vyvětřováním ovlivňujeme výšku nasazení koruny a tím snižuje vertikální kontinuitu tohoto hořlavého materiálu [5] v případě požáru. Tato modifikace paliva brání vertikálnímu rozvoji povrchových požárů hořících přes vyvětvené porosty a snižuje pravděpodobnost vznícení větví v koruně stromu [6], čímž omezuje potenciál pro vysoce intenzivní korunové požáry [7], což je významné, jelikož korunní požáry jsou nejintenzivnějším typem požáru, které se rychle šíří, a proto je obtížné a nebezpečné je zadržet [8].

V lesnictví mají všechny pěstební postupy vliv na vlastnosti dřeva a následně na jeho tržní hodnotu. V případě vyvětřování je důležité načasování a intenzita řezu. Tyhle faktory mohou mít velký vliv na rozsah větvení a tím i na konečný produkt [9, 10]. Ideální řez by měl být prováděn tak, aby se minimalizovalo množství odstraněné koruny, zároveň aby se ochránil fotosyntetický aparát dřeviny a snížily se provozní náklady [11]. Řez má také silný vliv na strukturu stromu. Obecně platí, že těžké

prořezávání zelených větví snižuje fotosyntetickou kapacitu stromů, snižuje jejich růst [12] a produkuje více válcovitých stromů [13].

V rámci našeho výzkumu jsme se zaměřili na ruční vyvětřování dvaceti stojících stromů druhu borovice lesní (*Pinus sylvestris*). Péče o borovice je velmi náročná a komplexní a je zapotřebí profesionálního přístupu k jejímu obhospodařování [1]. U borovice je zapotřebí provádět vyvětřování hlavně z důvodu odstranění spodních větví, které mají přirozeně tendenci klesat a opadávat, a eliminovat odumřelé dřevo v koruně [1].

Cílem tohoto výzkumu je porovnat fyzickou namáhavost pracovníka, který provádí ruční vyvětřování stojících stromů pilkou s vyvětřováním stojících stromů za využití šplhací pily. Záměrem celého výzkumu je navrhnout, vyvinout, otestovat a uvést na trh nový stroj, který bude určený k vyvětřování stromů za účelem snížení namáhavosti lidské práce. Tento příspěvek představuje dílčí část tohoto výzkumu, konkrétně popis a přehled ručního vyvětřování stojících stromů pracovníkem. Pracovník nejprve vyvětřoval ručně deset stromů ze země za využití tzv. pinohy (pilka na teleskopické násadě) a deset stromů ruční pilkou, přičemž vyvětřování prováděl ze žebříku do výšky cca 5 metrů.

1 Metodika

Měření probíhalo v lesním porostu, který je v majetku Školního lesního podniku Masarykův les Křtiny v katastrálním území obce Bílovice nad Svitavou. Měřeným pracovníkem byl muž ve věku 49 let s tělesnou výškou 185 kg a tělesnou hmotností 112 kg. Jeho index tělesné hmotnosti (BMI – body mass index) činí hodnotu 32,72, což v hodnocení BMI představuje „Střední nadváhu“. Tento pracovník prováděl vyvětřování u všech námi měřených stromů. Proto níže popsané výsledky odpovídají pouze jednomu, a to právě tomuto pracovníkovi.

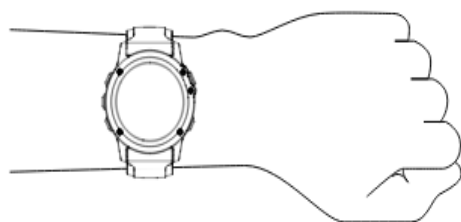
Měření bylo realizováno v čase od 9:25 hodin po dobu 2 h 31 min. 14 s, a to dne 7. června 2021, kdy průměrná venkovní teplota (během doby měření) dosahovala hodnoty 21,1 °C s tím, že bylo polojasno. Průměrná rychlost větru činila 4 km/h (1,11 m/s). Vlhkost vzduchu byla 54 %.

V rámci našeho měření byly zjišťovány, měřeny a následně vyhodnoceny námi vybrané ukazatele, jejichž detailní rozbor s konkrétními výsledky je popsán níže.

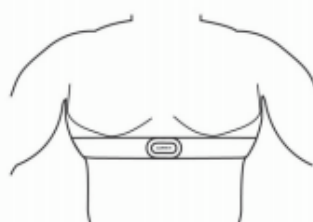
1.1 Tepová frekvence

Tepová frekvence vyjadřuje počet srdečních tepů za 1 minutu (vyjadřuje kolikrát se srdce za 1 minutu stáhne a uvolní). Rovněž představuje jednoduchý ukazatel zatížení organismu čili intenzity (náročnosti) právě prováděné aktivity pohybu. Za normální tepovou frekvenci v klidovém stavu po dovršení deseti let věku se dle Amerického Institutu národního zdraví (National Institutes of Health - NIH) považuje hodnota 60 až 100 tepů za minutu.

Při získávání a snímání údajů o tepové frekvenci byl použit tzv. sporttester Garmin, který sestává z přijímače signálu, jenž je ve formě náramkových hodinek s computerovým displejem, a z hrudního snímače, který představuje analyzátor a vysílač tepové frekvence. Náramkové hodinky byly po celou dobu snímání nasazené a pevně upevněné nad zápěstní kosti levé ruky pracovníka, který prováděl činnost vyvětřování (Obr. 1). Hrudní snímač srdečního tepu měl pracovník umístěn na těle přímo na kůži těsně pod hrudní kostí tak, aby při vykonávaných pohybech v rámci své pracovní činnosti zůstal tento pás na požadovaném místě a nedošlo k jeho posunutí či uvolnění (Obr. 2).



Obr. 1. Umístění hodinek Garmin [14]



Obr. 2. Umístění hrudního snímače [14]

2 Výsledky

Jak již bylo uvedeno výše, v rámci měření byl pracovník podroben měření po dobu 2 h 31 min. 14 s, přičemž jeho průměrná tepová frekvence činila 111 t/min. a nejvyšší hodnota srdeční tepová frekvence představovala hodnotu 150 t/min (Obr. 3).



Obr. 3. Hodnoty srdeční tepové frekvence

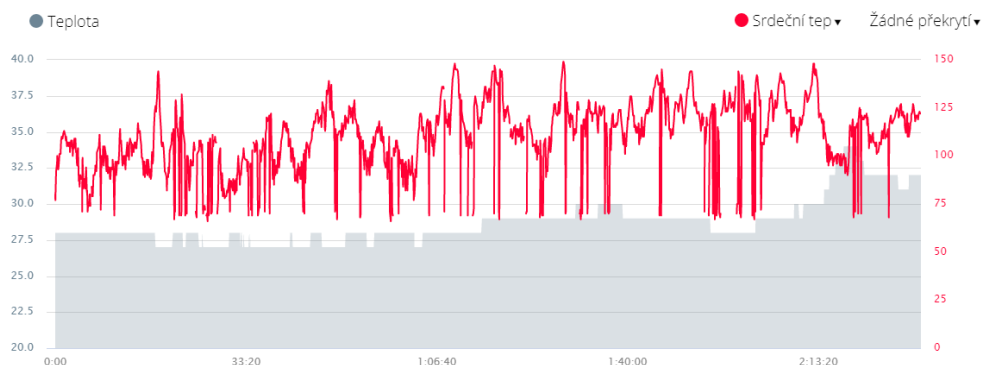
Dle [15] lze zařadit námi naměřené průměrné hodnoty tepové frekvence do třetí kategorie (z celkových pěti, přičemž první kategorie představuje „Žádné nároky“ a pátá kategorie představuje „Mimořádně vysoké nároky“) hodnot fyzické zátěže jako „**Střední nároky**“. Svalový výkon pracovníka během pracovní činnosti vyvětřování stromů označujeme dle [16] jako „**Mírný**“. Podrobný přehled svalového výkonu představuje Tab. 1.

Tab. 1 Výkon srdce v závislosti na fyzickém zatížení (dle [16])

Svalový výkon	Srdeční frekvence za min.	Minutový energetický výdaj [kJ] (brutto)
Klid (sed)	70	4,2-6,3
Malý	75-95	6,7-16,7
Mírný	96-115	17,2-25,1
Střední	116-130	25,5-37,6
Velký	131-150	38,1-50,2
Velmi velký	nad 150	nad 50,66

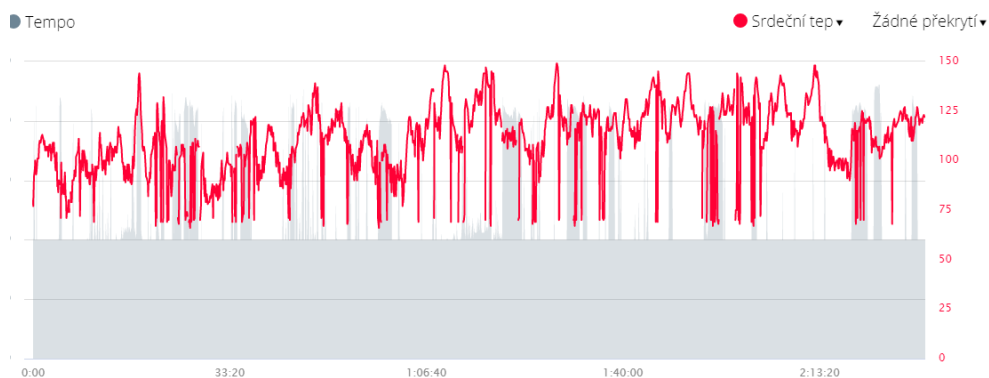
Jak již bylo uvedeno, hrudní snímač měl pracovník umístěný na těle přímo na kůži těsně pod hrudní kostí. Tento snímač zaznamenával mj. i teplotu těla v místě jeho umístění, čili pod hrudní kostí. Při prováděném měření byla zaznamenána průměrná teplota v místě měření 29,0 °C, nejnižší hodnota byla 27,0 °C a maximální naměřená teplota činila 34,0 °C. Přičemž průměrná venkovní teplota činila

21,1 °C. Následující graf představuje průběh zaznamenané teploty na hrudi pracovníka s překrytím zaznamenaných hodnot srdeční tepové frekvence (Obr. 4).



Obr. 4. Průběh teploty v místě měření a srdeční tepové frekvence

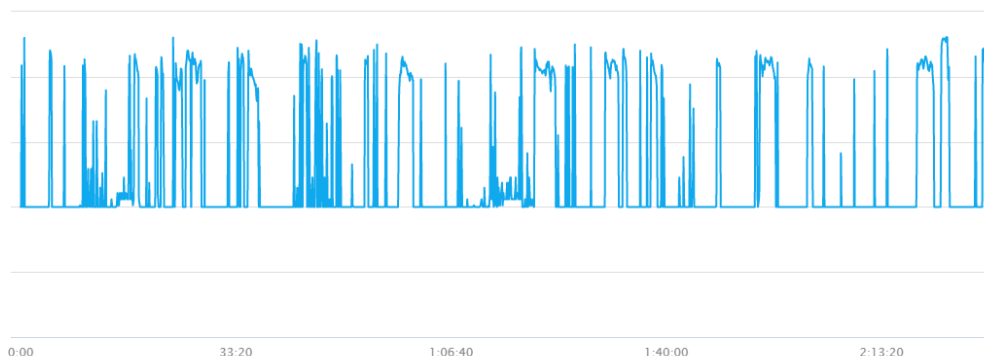
Následující obrázek (Obr. 5) představuje průběh srdeční tepové frekvence měřeného pracovníka v závislosti na jeho vykonávané pracovní činnosti vyvětvování během pozorovaného měření. Hodnoty „Tempo“ (označené šedou barvou) představují pohyb pracovníka. Čím je tato hodnota větší, představuje pohyb pracovníka a s tím i související rychlost chůze. Naopak pokud je tato hodnota vodorovná s osou x, pracovník v daný moment stál na místě a prováděl vyvětvování. Z grafu je tedy patrné, že pracovník měl vyšší hodnoty srdeční tepové frekvence právě v době, kdy prováděl vyvětvování.



Obr. 5. Srdeční frekvence pracovníka v závislosti na jeho pohybu

2.1 Pohyb pracovníka během provádění pracovní činnosti vyvětvování

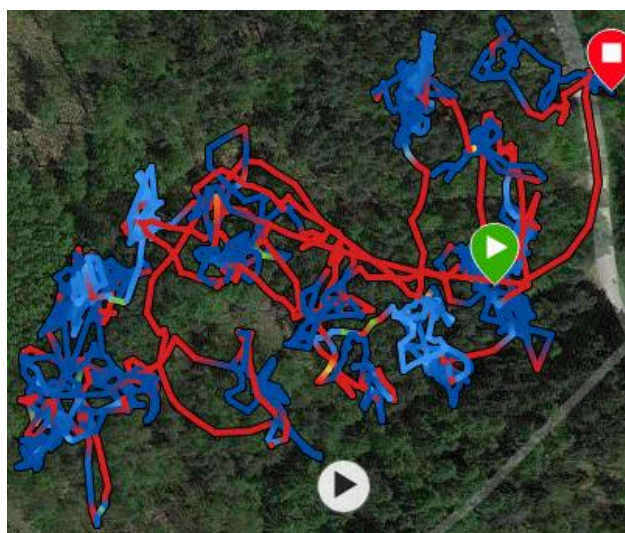
Během měření se pracovník po lesním porostu pohyboval průměrnou rychlostí 1,6 km/h (včetně vykonávání pracovní operace, tj. vyvětvování, kdy pracovník stál na místě a nepohyboval se). Průměrná rychlost pohybu pracovníka (pouze pohyb bez činnosti vyvětvování) činila 6,9 km/h. Celkový čas pohybu pracovníka představuje Obr. 6.



Obr. 6. Pohyb pracovníka

Lokalitu, po které se pracovník pohyboval, představuje Obr. 7. Během celé doby měření pracovník nachodil 4,14 km, přičemž jeho průměrné tempo pohybu činilo 36:28 min/km.

Z Obr. 7 lze vyčíst oblasti, kde se nacházely stromy, které byly předmětem činnosti vyvětvování. V jejich oblasti se pracovník pohyboval velmi pomalu, případně stál na místě (označené modrou barvou). Naopak červená barva na obrázku (rychlejší pohyb) znázorňuje trasu pracovníka, po které se pohyboval za účelem dostavení se k vyvětvovanému stromu.



Obr. 7. Trasa pohybu pracovníka po lesním porostu

Závěr

Podstatou tohoto výzkumu je mj. poukázat na fyzickou náročnost ručního vyvětvování stromů na stojato. Z tohoto důvodu bylo vybráno 20 stojících vzrostlých stromů, na kterých jeden pracovník prováděl ořezání jejich větví. Dvacet stromů trvalo jednomu pracovníkovi ořezat 2 hodiny a 31 minut. Během zaznamenané doby v rámci ručního vyvětvování se pracovník pohyboval průměrnou rychlostí 1,6 km/h, tzn. včetně vykonávání pracovní operace vyvětvování, kdy pracovník stál na místě a nepohyboval se. Celkem pracovník nachodil 4,14 km. Průměrná rychlost pohybu pracovníka (bez přestávek a pracovních operací) byla zaznamenána 6,9 km/h. Jeho průměrná tepová frekvence činila hodnotu 111 tepů/minutu, což charakterizuje dle metodiky [16] svalový výkon jako „Mírný“ a dle metodiky [15] zařazujeme námi naměřené průměrné hodnoty tepové frekvence do třetí kategorie hodnot fyzické zátěže s označením „Střední nároky“.

Tento příspěvek představuje dílčí část výzkumu, jehož cílem je mj. porovnat fyzickou náročnost mezi ručním vyvětčováním (člověk) (Obr. 8 a 9) a vyvětčováním za pomoci šplhací pily (stroj) (Obr. 10). V době tvorby tohoto příspěvku jsou k dispozici pouze zaznamenaná data týkající se vyvětování stojících stromů pracovníkem za využití pinohy. Data z vyvětování šplhací pilou nejsou momentálně k dispozici. Avšak předpokladem těchto dvou srovnání je menší fyzická namáhavost, jakožto i mj. méně pohybů horních končetin pracovníka, při „strojovém“ vyvětování.

Poděkování

Tento příspěvek je výsledkem řešení výzkumného projektu: TAČR TREND 1 „Víceúčelový vyvětovací stroj“ č. projektu: FW 01010178; doba realizace: 3/2020 do 6/2023.

Literatura

- [1] BIOCCA, Marcello; GALLO, Pietro; SPERANDIO, Giulio. *Technical and economic analysis of Stone pine (Pinus pinea L.) maintenance in urban areas*. Trees, Forests and People. 2021, 6. DOI: 10.1016/j.tfp.2021.100162. ISSN 26667193.
- [2] BIOCCA, Marcello; BORTOLINI, Lucia. *Macchine e tecniche per il verde urbano. Realizzazione, cura e manutenzione delle aree verdi*. Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria – CREA (Ed.), Roma, Italy, 2019; 234 pp. ISBN 9788833850108.
- [3] HAYGREEN, J.G.; BOWYER, J.L. *Forest products and wood science: an introduction (3rd edn)*. Iowa State University Press, Iowa, USA, 1996, 484. ISBN: 978-0813822563.
- [4] HEVIA, Andrea; CRABIFFOSSE, Alejandra; ÁLVAREZ-GONZÁLEZ, J.G.; RUIZ-GONZÁLEZ, A.D.; MAJADA, Juan. *Assessing the effect of pruning and thinning on crown fire hazard in young Atlantic maritime pine forests*. Journal of Environmental Management. 2018, 205, 9-17. DOI:10.1016/j.jenvman.2017.09.051. ISSN 03014797
- [5] SCOTT, J.H.; REINHARDT, E.D. *Effects of Alternative Treatments on Canopy Fuel Characteristics in Five Conifer Stands*. USDA Forest Service Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-203. 2007.
- [6] GRAHAM, R.T.; McCAFFREY, Sarah; JAIN, T.B. *Science Basis for Changing Forest Structure to Modify Wildfire Behaviour and Severity*. U.S., Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Fort Collins, CO. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-120, 2004.
- [7] CRUZ, M.G.; ALEXANDER, M.E.; FERNANDES, P.M. *Development of a model system to predict wildfire behaviour in pine plantations*. Aust. For. 2008, 71(2), 113-121. DOI: 10.1080/00049158.2008.10676278.
- [8] RUIZ-GONZÁLEZ, A.D.; ÁLVAREZ-GONZÁLEZ, J.G. *Canopy bulk density and canopy base height equations for assessing crown fire hazard in Pinus radiata plantations*. Can. J. For. Res., 2011, 41, 839-850. DOI: doi.org/10.1139/x10-237.
- [9] GORT, Jaume; ZUBIZARRETA-GERENDIAIN, Ane; PELTOLA, Heli; KILPELÄINEN, Antti; PULKKINEN, Pertti; JAATINEN, Raimo; KELLOMÄKI, Seppo. *Differences in branch characteristics of Scots pine (Pinus sylvestris L.) genetic entries grown at different spacing*. Annals of Forest Science. 2010, 67(7), 705-705. DOI: 10.1051/forest/2010030
- [10] CARSON, S.D.; COWN, D.J.; MCKINLEY, R.B.; MOORE, J.R. *Effects of site, silviculture and seedlot on wood density and estimated wood stiffness in radiata pine at mid-rotation*. New Zealand Journal of Forestry Science. 2014, 44(1), 26. DOI: 10.1186/s40490-014-0026-3.
- [11] VOGT, Jess; HAUER, Richard; FISCHER, B.C. *The costs of maintaining and not maintaining the urban forest: a review of the urban forestry and arboriculture literature*. Arboric. Urban For. 2015, 41, 293-323. DOI: 10.48044/jauf.2015.027
- [12] NEILSEN, W.A.; PINKARD, E.A. *Effects of green pruning on growth of Pinus radiata*. Canadian Journal Forest Research. 2003, 33, 2067-2073. DOI: 10.1139/x03-131.
- [13] ZOBEL, B.J.; Van BUIJTENEN, J.P. *Wood variation: its causes and control*. Springer-Verlag, Berlin, Germany, 1989, 363. ISBN: 978-3-642-74069-5.

- [14] Garmin. [www8.garmin.com](https://www8.garmin.com/manuals/webhelp/fenix5plus/CS-CZ/GUID-C8E25FD1-3499-4B5C-B45F-C4BF88283284-homepage.html) [online]. [cit. 2022-03-22]. Dostupné z: <https://www8.garmin.com/manuals/webhelp/fenix5plus/CS-CZ/GUID-C8E25FD1-3499-4B5C-B45F-C4BF88283284-homepage.html>
- [15] PETR, J. Ergonomická hlediska v těžebně – výrobním procesu. In: ŠVENDA, A. a kol. Technologie a příprava výroby dříví v LH ČSR. Praha, 1983, 204 – 225.
- [16] HUBAČ, M. Kvantitatívne hodnotenie zaťaženia dynamickou prácou. Pr. Lekárstvo. 1978, 30, 128–138.

Přílohy



Obr. 8. Ruční vyvětřování za použití pinohy



Obr. 9. Ruční vyvětřování ze žebříku



Obr. 10. Nový prototyp šplhací pily

Vstupní data nejen pro ergo-analýzy při designu

Jan Vavruška¹

¹ *Technická univerzita v Liberci, Fakulta strojní, Studentská 2, 461 17 Liberec, Czech Republic, jan.vavruska@tul.cz*

Abstrakt: Zabýváme se projektováním a optimalizací výrobních pracovišť a snažíme se zejména předcházet MSDs, zaváděním nápravných opatření pro zlepšení manipulace s těžkými břemeny a zlepšení pracovních poloh. Nyní se zaměřujeme na přípravnou fázi pro simulaci s digitálním modelem člověka a následnou interaktivitu při navrhování nápravných opatření z pohledu pohybové ekonomie a ergonomie. Naším aktuálním cílem je identifikovat potenciální nedostatky simulací s digitálním modelem člověka. Nejprve se zaměřujeme na předvýrobní fázi návrhu pracoviště nebo produktu, kdy ještě není k dispozici reálný objekt zájmu. Tedy je nutné využít virtuální prototyp nebo fyzický model využívaný při 3P simulacích. Pomocí srovnání vstupů pro virtuální počítačovou simulaci a vstupů pro analytické posuzování chceme eliminovat vliv na kvalitu ergonomických analýz obou přístupů.

Klíčová slova: VID, MOCAP, ergonomie, simulace, 3P.

Úvod

Při zpracování ergonomických analýz se nejčastěji používají dvě metody, analytická a simulační. Analytická metoda je historicky starší „tradiční“ a používají ji, při provádění kontrol již existujících pracovišť, statutární orgány. Analytická metoda je založena na využití kontrolních formulářů a měření. V řadě případů jsou i při designu nových pracovišť hodnoceny interakce člověka na pracovišti v relativně zpozděných fázích procesu pomocí 3P modelů ve fyzickém měřítku [1]. Ještě častěji bývají odborníci na ergonomii osloveni až poté, co se na pracovišti objevily problémy. Konzultace jsou realizovány na základě zkoumání hlášení z provozu a záznamech o zraněních a jiných událostí. Není divu, že je v těchto případech ergonomické hodnocení integrace lidského faktoru na skutečném pracovišti označováno jako časově náročné a nákladné [2].

Nyní se však stávají opět více dostupné nové technologie DHM, XR a MOCAP, které podporují inženýrství založené na počítačových simulacích. Simulace v raných fázích projektu pomáhají řešit problematiku ergonomie pro-aktivním způsobem. Nové technologie umožňují simulovat pracoviště a vykonávané úkoly ještě předtím, než jsou zařízení fyzicky na místě [3]. Přesouváme se tedy již do fáze návrhu pracoviště s digitálním modelem člověka (Digital Human Model – DHM).

Obvykle se studují a porovnávají oba přístupy z hlediska přesnosti záznamů činnosti člověka, správného výběru pozice pro provedení ergonomické analýzy, přesnosti zvolené ergonomické metody pro analytický i simulační přístup. V našem případě jsme vznesli pochyby nad přesností vstupních předpokladů v různých fázích navrhování designu pracoviště či produktu. Zejména jde o okamžik, kdy není vůbec k dispozici fyzicky produkt ani zařízení pracoviště nebo je dostupný jen jeho model. Model může být pouze digitální nebo se může jednat o zjednodušené 3P modely či prototypy.

Informace a znalosti o vznikajícím produktu jsou na počátku velmi omezené a jsou postupně doplňovány designéry, konstruktéry a technologi. Každý odborník preferuje své cíle a úkoly a ovlivňuje modely, prototypy, představy a informace, které se mohou lišit od budoucích uživatelů. To vše ovlivňuje také ergonomii chování budoucích uživatelů.

Nyní probíhá dotazníkové šetření v kombinaci s pozorováním respondentů při simulacích. Snahou je získat lepší představu o vlivu dostupných informací a prostředků na pracovní metodu při manipulaci s

břemenem. Cílem tedy nebylo provádět ergonomické analýzy, ale pozornost jsme věnovali způsobu vykonávání daného úkolu v závislosti na "simulační metodě".

1 Průzkum metody manipulace s břemenem

Vybrána byla situace vztahující se k manipulaci s bicyklem při nakládce jízdního kola na automobilový nosič.

Několik skupin plní tyto úkoly v různém pořadí.

- a) Vyplnění dotazníků s otázkami.
- b) Označení místa a způsobu uchopení bicyklu.
- c) Skicování předpokládaných pozic těla při manipulaci s bicyklem.
- d) Provedení 3P simulace malým dřevěným modelem člověka (loutkou).
- e) Provedení 3P simulace s dřevěnými modely bicyklu a nosiče v měřítku 1:1.
- f) Provedení 3P simulace s reálným kolem a nosičem kol připevněným ke stolu.
- g) Pozicování DHM Jack manuálně pomocí "Posturing" knihoven a PC myši.
- h) Realizace VID přenosu pohybu na DHM ve VR s použitím různých MOCAP systému.

Pořadí úkolů bylo pro jednotlivé skupinky různé s cílem odhalit změny v přístupu, na základě různých zkušeností, při použití stejných nástrojů. Poté proběhla krátká diskuze s respondenty.

1.1 Vyplnění dotazníků s otázkami.

Kladeny byly tři typy otázek. Nejprve k získání informací o respondentovi. Druhá sada otázek směřovala k nosičům jízdních kol pro přepravu automobilem a bicyklům. Třetí soubor otázek se stručně dotkl školení v oblasti manipulace s břemeny.

I. Typ otázek

- Do jaké věkové kategorie spadáte? Méně jak 18 let, 18-25 let, 26-30 let, více jak 30 let.
- Řídíte aktivně několikrát do měsíce? Ano, Ne
- Jezdíte na kole více jak 10 dní v roce? Ano, Ne
- Přepravujete kolo autem na nosiči? Ne, na střeše, na tažném zařízení, na 5. dveřích
- Jakého jste pohlaví? Žena / Muž
- Jaký stupeň vzdělání máte ukončen? Základní, Střední, VŠ
- Jaký je váš obor vzdělání? Strojírenství, jiné technické, humanitní, umělecké, jiné
- Poslední školení bezpečnosti práce s mou účastí bylo před měsíci.
- Byla nějaká školení s Vaší účastí včetně manipulace s těžkými břemeny, kolik jich bylo?

II. Typ otázek

Odhadněte v centimetrech výšku:

- středu kulové části tažného zařízení osobního automobilu (např. Škoda Fabia).
- střešních příčníků u automobilů (Škoda Fabia nebo Octavia).
- roviny, kde stojí bicykl upevněný na nosiči kol na TZ.
- roviny, kde stojí bicykl upevněný na střešním nosiči kol na malé dodávce.
- bicyklu pro postavu o výšce 180 cm.

III. Typ otázek

Odhadněte hmotnost

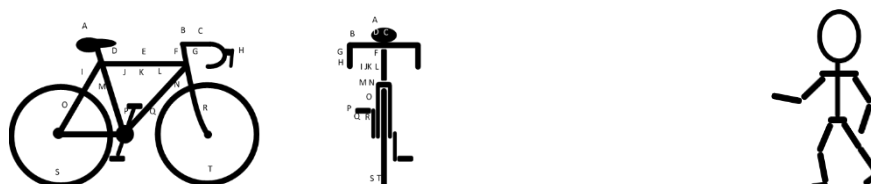
- silničního kola v ceně do 20 tis Kč.kg
- horského kola v ceně do 20 tis Kč.kg
- elektrokola pro půjčovny a seniory.kg
- Jaké jsou hmotnostní limity pro muže a ženy při manipulaci s těžkými břemeny?

Tab. 1. Hmotnostní limity pro manipulaci s břemeny

	Ruční manipulování břemeny			
	občasné [kg]	časté [kg]	vsedě [kg]	Ve směně [kg]
MUŽ				
ŽENA				

1.2 Označení místa a způsobu uchopení bicyklu

K dispozici byla předtištěná skica bicyklu s pozicemi pro uchopení popsány v legendě (obr. 1 vlevo)



Obr. 1 Skica bicyklu s pozicí pro uchopení a zjednodušená skica postavy

Značení se provádělo pro tyto čtyři případy:

Vyznačte kroužkem úchop levou rukou a obdélníkem úchop pravou rukou:

1. Bicykl je tlačěn na krátkou vzdálenost do 10 m.
2. Bicykl bude zvedán na nosič kol umístěný na TZ osobního auta.
3. Bicyklu bude zvedán na střešní nosič kol osobního auta (Fabia, Octavia).
4. Bicyklu bude zvedán na střešní nosič kol malé dodávky (VW Caddy, Transporter, Transit L1H1).

1.3 Skicování předpokládaných pozic těla při manipulaci s bicyklem

Opět byla k dispozici předtištěná skica bicyklu (Obr. 1 vlevo) a nyní respondenti plnili tyto úlohy:

Nakreslete postavu, ...

- která tlačí kolo na vzdálenost do 10 m.
- která právě uchopila kolo před nakládáním na držák kol na tažném zařízení.
- která právě postavila kolo do držáku na TZ.
- v ergonomicky nejnáročnější pozici při umístování kola do držáku na TZ.
- která právě uchopila kolo před nakládáním na držák kol na střeše malého auta.
- která právě postavila kolo do držáku na střeše OA.
- v ergonomicky nejnáročnější poloze při umístování kola do držáku na střeše OA.

Vzorová zjednodušená skica postavy na obrázku (Obr. 1 vpravo)

1.4 Praktická část 3P metody a simulace

3P metoda zjednodušené modely Merkur (Obr. 2.1). 3P metoda vylepšené modely Merkur (Obr.2.2).

3P metoda 1:1 dřevěné modely (Obr. 2.3, 2.4). 3P metoda 1:1 skutečné kolo a nosič u stolu (Obr. 2.5,2.6). Digitální model člověka ovládaný myší (Obr. 2.7, 2.8). Virtuální interaktivní design VID (Obr. 2.9 - 2.12).



Obr. 2 3P metoda a PC simulace

2 3P metoda

Můžeme se setkat s dvojným slovním označením 3P – Production Preparation Process, nebo 3P - Pre Production Planning. Jedná se o rychlé navrhnutí a simulaci výrobního procesu pomocí simulace s modely objektů nejčastěji v měřítku 1:1 (Obr. 3). Jde tedy o kontrolu a optimalizaci designu v rámci plánování / přípravy před vlastní produkcí. Využívají se předvýrobní prototypy zpracovávaných komponent a polotovárů. Tyto prototypy vyráběné malosériovou výrobou např. aditivními technologiemi (3D tiskem), jsou velice nákladné. Mnohem častěji se tak využívají značně zjednodušené dřevěné, papírové a jinde levnější alternativy.



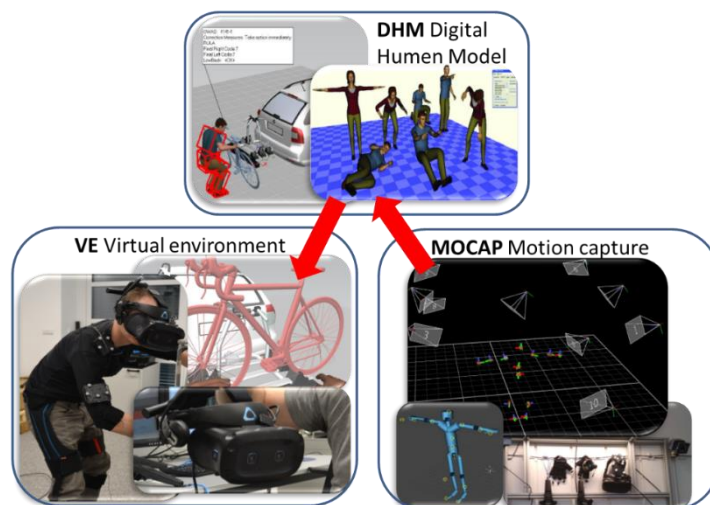
Obr. 3 Metodika 3P Magna Exteriors (Bohemia) s.r.o. [Klíma 2013]

Několik firem oslovilo naši laboratoř na TU v Liberci v otázce přesunout 3P workshopů do digitální podoby s využitím virtuálního interaktivního designu.

3 Metodika virtuálního interaktivního designu

Metodiku virtuálního interaktivního designu (VID) navrhl Kang Li s kolegy [4] na základě konceptu virtuálního sestavení, které integruje digitální model člověka DHM (Digital Human Model), virtuální prostředí VE (Virtual Environment) a systém zachycení pohybu MOCAP (Motion Capture) (Obr.4). Součástí systému jsou také nástroje pro analýzu ergonomie. Tato metodika umožňuje ergonomickou

analýzu v reálném čase na základě lidských pohybů ve VE. Nyní se v rámci VID studie zaměřujeme na kroky dva a pět, kdy jde o záznam reálných pohybových činností člověka.



Obr. 4. Struktura systému pro Virtuální interaktivní design pracoviště (VID).

Základní kroky VID studie:

1. Vytvořte virtuální prostředí.
2. Vytvořte platné lidské pozice a/nebo pohyby.
3. Analyzujte polohy a pohyby na riziko zranění nebo NzP.
4. Určete zvýšenou složku tvorby rizika u daného pracovního úkolu.
5. Najděte alternativní metodu plnění úkolu se zaměřením na snížení rizik.
6. Vyhodnoťte alternativy ke snížení celkového rizika zranění nebo NzP.

Pomocí simulace s DHM, lze každý nový návrh podrobit analyzovat na počítači [5]. Při využití virtuálního prostředí (pracoviště) se obejdeme bez dalších kapitálových investic. Je-li využit systém pro snímání pohybu MOCAP, můžeme hledat alternativy a současně provádět ergonomické hodnocení **v reálném čase**.

Integrace DHM, MOCAP a VE může poskytnout teoreticky dobré prostředí pro studium ergonomie při navrhování budoucí továrny nebo redesign stávajícího pracovního prostoru pokud se prokáže, že analýzy jsou konzistentní a přesné.

Podle Ellise [6] se vytvoření VE provádí prostřednictvím činnosti tří základních prvků:

- 1) Senzorů, které mohou snímat lidskou činnost, tedy MOCAP systému.
- 2) Efektorů, které ovlivní smysly operátora, sety pro VR/AR (HMD), haptické rukavice, exoskelety atp.
- 3) Speciální účelový HW a SW k propojení výstupu senzorů se vstupy pro efekторы, k vytváření sensorický efektů podobných těm, které zažívají lidé v reálném prostředí (fyzickém systému).

3.1 Snímání pohybu – Motion Capture (MOCAP)

MOCAP je atraktivní metoda pro snímání pohybu člověka pro počítačovou simulaci lidského jednání, protože může poskytnout realistický pohyb, který obsahuje jemné detaily a specifické detaily konkrétních interpretů [7]. Mezi hlavními druhy systémů MOCAP má systém založený na optice nejvyšší stupeň kvality snímání pohybu a nejmenší vliv na ty, jejichž pohyb je snímán [8]. Využitelný je

ale téměř výhradně pouze v laboratoři. V průmyslových aplikacích dostávají příležitost také inerciální a hybridní systémy.

3.2 Virtuální prostředí – virtual environment (VE)

VE označuje soubor 3D dat popisující prostředí založené na reálných nebo abstraktních objektech a datech [9], které mohou poskytnout přesné a realistické zobrazení skutečného pracovního prostoru. VE poskytuje prostor pro využití virtuálních interakcí při simulaci budoucích interakcí mezi člověkem a navrhovaným reálným prostředím. K doplnění okolí scény je možné využít i 3D point cloud jak uvádí Bureš [10].

3.3 Digitální model člověka – Digital Human Model (DHM)

DHM představuje technologii využití počítače k sestavení virtuální reprezentace skutečné osoby k simulaci lidského pohybu a námahy [11]. Podle Duffyho [12] lze DHM považovat za „digitální reprezentaci člověka vloženého do simulace nebo virtuálního prostředí pro usnadnění predikce bezpečnosti nebo výkonnosti. DHM poskytuje schopnost konstruovat dvourozměrné (2D) nebo trojrozměrné (3D) lidské modely z antropometrických dat, které lze použít jako náhražky za „skutečného člověka“ při ergonomickém hodnocení během počítačového návrhu [13]. Nedávná vylepšení v rychlosti výpočtu a kontrolních metodách umožňují, aby 3D DHM byly vhodné pro interaktivní aplikace a aplikace v reálném čase. Ve výzkumu a vývoji se již používají komerční lidské modely. Tyto modely se dosud omezují hlavně na antropometrické otázky. Dva často používané lidské modely jsou JACK a RAMSIS.

Metodika ergonomického návrhu využívající digitální modely člověka (DHM) zrychluje a zlevňuje iterativní proces hodnocení návrhu, diagnostiky a revize [14].

4 Zjištění

S ohledem na malý počet respondentů nebyla provedena statistická analýza, ale bylo uvedeno jen orientační zjištění. I s ohledem na rozsah příspěvku byly často uváděny jen aritmetické průměry bez rozptylu a směrodatné odchylky. Hodnoty v procentech byly zaokrouhleny na celá čísla. Data byla proto uvedena pouze formou komentáře, bez tabulek.

Zatím bylo osloveno 76 respondentů ve věku 18-30 let. Z nich bylo 89% řidičů, 73% cyklistů, 68 mužů a 8 žen. Z toho jen 21% respondentů použilo pro přepravu nosič kol, většinou střešní. Dle diskuse většina vozí bicykl rozebraný uvnitř vozu. Všichni studují strojírenství (BSP/NMSP), školení BOZP a PO absolvovali v průměru před 18,3 měsíci. **Jen 7 respondentů uvedlo proškolení na manipulaci s těžkými břemeny.** Ze závěrečných diskusí vyplynulo, že kategorie 26-30 let navštěvuje posilovny, kde získali základní informace ke zvedání břemen. Mladší ročníky méně posilují a mnohem častěji zvedají břemena v předklonu a volí úchop nevhodně vysoko pro další manipulaci.

Téměř 85% osob podhodnotilo výšku tažného zařízení i nosiče kol na TZ o více jak 10 cm a 17% snížilo nosič o více jak 30 cm. Střešní nosiče snížilo 46% respondentů. Kolo pro postavu vysokou 180 cm bylo odhadnuto průměrně na 96 cm výšky. Průměrné hodnoty odhadu hmotnosti bicyklů: silniční 6,7 kg, horské kolo 14,9 kg, elektrokolo 23,8 kg. Pojem kumulativní hmotnost za 8 hod směnu nevyplnilo více jak 16% respondentů a 63% bylo násobně mimo limit. Velké problémy dělá odhad manipulace v sedě, kde průměr pro muže činí 16 kg a pro ženy 12 kg.

S ohledem na malé statistické soubory nelze statisticky prokázat závislost na pořadí jednotlivých úkolů a simulací. Subjektivně byl obrovský posun u skupin začínajících s reálným kolem a nosičem připevněným ke stolu. Pravděpodobně větší přínos než VID má 3P simulace se zjednodušenými dřevěnými modely. Těsná většina respondentů volila úchop podhmatem. Pouze tři respondenti volili konzistentní úchop v rámci všech fází průzkumu a všichni jsou ze skupiny začínající s 3P simulací s

reálným kolem a nosičem. Většina respondentů mění úchop vícekrát při změně typu šetření a nástrojů pro záznam činnosti.

Největší ochotu zapojení projevili respondenti při 3P simulaci s Merkurem a loutkou, kde byly vybrané polohy foceny. V případě 3P simulací v měřítku 1:1 byl negativně hodnocen obrazový záznam. PC simulaci při polohování pomocí myši bylo ochotno dokončit 48% respondentů. Většinou vzdala ta část, která již absolvovala VID část s MOCAP systémem.

Novou a atraktivní byla zkušenost s VID a MOCAP, kterou si chtěli studenti zkusit i přes časovou náročnost a nutnost navštívit laboratoř a vybrat si nabízený termín. Respondenti vždy upozorňovali na nemožnost uchopit virtuální objekt oběma rukama. Většina vypověděla, že je limitují zobrazovací úhly VR brýlí a chybějící periferní vidění. Jako zkreslenou vnímají dosahovou vzdálenost ve VR. To je způsobeno předsazením VR brýlí směrem vpřed ke kolu, kdy jde o relativně velkou vzdálenost ku vzdálenosti úchopu. Asi 30% respondentů zmiňovala nevolnost nebo nemožnost ostrého vidění.

Závěr

Biomechanické analýzy DHM jsou závislé na přesném držení těla a definovaných pohybech, hned po vhodném analytickém nástroji [15]. I tento případ manipulace s bicyklem při nakládce na automobilový nosič, se kterou se setkáváme osobně nebo v okolí, nám dává relativně jasnou představu o procesu. Přesto se ukazuje, že tato představa není dostatečně přesná a jednoznačná pro potřeby ergonomie. Je tedy velice důležité, aby i odborník na ergonomii dokázal dostatečně vytěžit informace od designérů, konstruktérů a technologů. Důležité je doplnit mezioborové znalosti technických specialistů o oblast ergonomie. Dotazníkové šetření také prokázalo nízkou míru proškolení všech pracovníků v manipulaci s břemeny. Přesné informace hrají vždy zásadní roli před každou analýzou, ergonomii nevyjímaje.

Přesto že jsme zatím na začátku a chybí nám kvantitativní zhodnocení, je důležité sdílet i dílčí poznatky a zkušenosti.

Poděkování

Tato publikace byla napsána na Technické univerzitě v Liberci. Výzkum prezentovaný v tomto článku byl podpořen institucionální podporou na nespécifický vysokoškolský výzkum Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy České republiky v roce 2022.

Literatura

- [1] LOCKTON, Dan, David HARRISON a Neville A. STANTON. The Design with Intent Method: A design tool for influencing user behavior. *Applied Ergonomics* [online]. 2010, 41(3), 382-392 [cit. 2022-04-10]. ISSN 00036870. Dostupné z: doi:10.1016/j.apergo.2009.09.001
- [2] HELANDER, Martin G. Seven common reasons to not implement ergonomics. *International Journal of Industrial Ergonomics* [online]. 2000, 25(1), 97-101 [cit. 2022-04-10]. ISSN 01698141. Dostupné z: doi:10.1016/S0169-8141(98)00097-3
- [3] JAYARAM, Uma, Sankar JAYARAM, Imtiyaz SHAIKH, YoungJun KIM a Craig PALMER. Introducing quantitative analysis methods into virtual environments for real-time and continuous ergonomic evaluations. *Computers in Industry* [online]. 2006, 57(3), 283-296 [cit. 2022-04-10]. ISSN 01663615. Dostupné z: doi:10.1016/j.compind.2005.12.005
- [4] LI, Kang, Vincent G. DUFFY a Li ZHENG. Universal accessibility assessments through virtual interactive design. *International Journal of Human Factors Modelling and Simulation* [online]. 2006, 1(1) [cit. 2022-04-10]. ISSN 1742-5549. Dostupné z: doi:10.1504/IJHFMS.2006.011682

- [5] RIDER, Kevin A., Don B. CHAFFIN, James A. FOULKE a Kyle J. NEBEL. *Analysis and Redesign of Battery Handling using Jack™ and HUMOSIM Motions* [online]. In: . 2004-06-15, s. - [cit. 2022-04-10]. Dostupné z: doi:10.4271/2004-01-2145
- [6] ELLIS, S.R. What are virtual environments?. *IEEE Computer Graphics and Applications* [online]. 1994, 14(1), 17-22 [cit. 2022-04-10]. ISSN 0272-1716. Dostupné z: doi:10.1109/38.250914
- [7] GLEICHER, M. a N. FERRIER. Evaluating video-based motion capture. In: *Proceedings of Computer Animation 2002 (CA 2002)* [online]. IEEE Comput. Soc, 2002, s. 75-80 [cit. 2022-04-10]. ISBN 0-7695-1594-0. Dostupné z: doi:10.1109/CA.2002.1017510
- [8] WU, Tinghao, Renran TIAN a Vincent G. DUFFY. Performing ergonomics analyses through virtual interactive design: Validity and reliability assessment. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries* [online]. 2012, 22(3), 256-268 [cit. 2022-04-10]. ISSN 10908471. Dostupné z: doi:10.1002/hfm.20267
- [9] STANNEY, Kay M., Kelly S. KINGDON, David GRAEBER a Robert S. KENNEDY. Human Performance in Immersive Virtual Environments: Effects of Exposure Duration, User Control, and Scene Complexity. *Human Performance* [online]. 2002, 15(4), 339-366 [cit. 2022-04-10]. ISSN 0895-9285. Dostupné z: doi:10.1207/S15327043HUP1504_03
- [10] BURES, M. a J. POLCAR. Comparison of 3D scanning and 3D modelling of a workplace from various aspects. In: *2016 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)* [online]. IEEE, 2016, s. 306-310 [cit. 2022-01-19]. ISBN 978-1-5090-3665-3. Dostupné z: doi:10.1109/IEEM.2016.7797886
- [11] CHAFFIN, Don B. *Digital Human Modeling for Vehicle and Workplace Design*. SAE International, 2001. ISBN 978-0-7680-0687-2.
- [12] SALVENDY, Gavriel a Waldemar KARWOWSKI, ed. *HANDBOOK OF HUMAN FACTORS AND ERGONOMICS* [online]. Wiley, 2021 [cit. 2022-04-10]. ISBN 9781119636083. Dostupné z: doi:10.1002/9781119636113
- [13] BADLER, N. Virtual humans for animation, ergonomics, and simulation. In: *Proceedings IEEE Nonrigid and Articulated Motion Workshop* [online]. IEEE Comput. Soc, 1997, s. 28-36 [cit. 2022-04-10]. ISBN 0-8186-8040-7. Dostupné z: doi:10.1109/NAMW.1997.609848
- [14] JUNG, Kihyo, Ochaе KWON a Heecheon YOU. Development of a digital human model generation method for ergonomic design in virtual environment. *International Journal of Industrial Ergonomics* [online]. 2009, 39(5), 744-748 [cit. 2022-04-10]. ISSN 01698141. Dostupné z: doi:10.1016/j.ergon.2009.04.001
- [15] CHAFFIN, Don B. On simulating human reach motions for ergonomics analyses. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing* [online]. 2002, 12(3), 235-247 [cit. 2022-04-10]. ISSN 1090-8471. Dostupné z: doi:10.1002/hfm.10018

Ing. Jiří Kyncl, Ph.D.; Ing. Tomáš Kellner; Ing. Martin Kyncl; MUDr. Lukáš Šoltys;
Ing. Marek Bureš, Ph.D.

Ergonomie a moderní životní styl – Sborník konference

Sbírka článků z vědecké konference

Vydalo: České vysoké učení technické v Praze v roce 2022

Zpracovala: Fakulta strojní, Ústav technologie obrábění, projektování
a metrologie

Kontaktní adresa: Technická 4, 160 00 Praha 6

Tel.: +420 224 352 604

Počet stran: 65

Pořadí vydání: první

ISBN 978-80-01-06957-8



FAKULTA
STROJNÍ
CVUT V PRAZE



ČESKÁ
ERGONOMICKÁ
SPOLEČNOST

remedis
ERGO centrum a Nadace

