

ŠKODA AUTO VYSOKÁ ŠKOLA o.p.s.

Studijní program: N6208 Ekonomika a management

Studijní obor/specializace: 6208R088 Podniková ekonomika a management
provozu

Exoskelety v ergonomii automobilového průmyslu

Diplomová práce

Andrii Kozak

Vedoucí práce: Ing. Tomáš Malčic.



ŠKODA AUTO Vysoká škola

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Zpracovatel: **Andrii Kozak**

Studijní program: **Ekonomika a management**

Obor: **Podniková ekonomika a management provozu**

Název tématu: **Exoskelety v ergonomii automobilového průmyslu**

Cíl: Cílem práce je analyzovat současný vývoj v oblasti technologie exoskeletů, zpracovat průzkum trhu s exoskelety a provést srovnání nabízených produktů. Výstupem bude vyhodnocení dostupných technologií z hlediska využitelnosti pro zlepšení ergonomických podmínek v automobilovém průmyslu.

Rámcový obsah:

1. Shrňte nejnovější poznatky z oblasti ergonomie a technologie exoskeletů.
2. Vypracujte průzkum exoskeletů dostupných na trhu a představte případy implementace této technologie v praxi.
3. Srovnajte dostupné exoskelety pomocí metod vícekritériálního rozhodování.
4. Vyhodnoťte využitelnost technologie exoskeletů v oblasti ergonomie v automobilovém průmyslu.

Rozsah práce: 55 – 65 stran

Seznam odborné literatury:

1. CHUNDELA, L. *Ergonomie*. 3. vyd. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2013. ISBN 978-80-01-05173-3.
2. KRÁL, M. – MALÝ, S. – HANÁKOVÁ, E. *ABC ergonomie*. Praha: Professional Publishing, 2010. 386 s.
3. KOLÍBAL, Z. – ČERMÁKOVÁ, B. *Technologičnost konstrukce a retrofitting výrobních strojů*. Brno: VUTIUM, 2010. ISBN 978-80-214-3765-4.
4. SHORROCK, S T. – WILLIAMS, C. *Human factors and ergonomics in practice: improving system performance and human well-being in the real world*. Boca Raton: CRC Press: Taylor & Francis Group, 2017. ISBN 978-1-4724-3925-3.

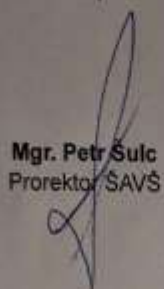
Datum zadání diplomové práce: červen 2017

Termín odevzdání diplomové práce: květen 2020

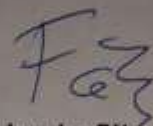
L. S.



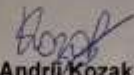
Ing. Tomáš Malčic
Vedoucí práce



Mgr. Petr Sulc
Prorektor SAVŠ



doc. Ing. Jan Fábry, Ph.D.
Garant studijního oboru



Andrii Kozak
Autor práce

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci vypracoval(a) samostatně a použité zdroje uvádím v seznamu literatury. Prohlašuji, že jsem se při vypracování řídil(a) vnitřním předpisem ŠKODA AUTO VYSOKÉ ŠKOLY o.p.s. (dále jen ŠAVŠ) směrnicí OS.17.10 Vypracování závěrečné práce.

Jsem si vědom(a), že se na tuto závěrečnou práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, že se jedná ve smyslu § 60 o školní dílo a že podle § 35 odst. 3 je ŠAVŠ oprávněna mou práci využít k výuce nebo k vlastní vnitřní potřebě. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna podle § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách.

Beru na vědomí, že ŠAVŠ má právo na uzavření licenční smlouvy k této práci za obvyklých podmínek. Užiji-li tuto práci, nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, mám povinnost o této skutečnosti informovat ŠAVŠ. V takovém případě má ŠAVŠ právo ode mne požadovat příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to až do jejich skutečné výše.

V Mladé Boleslavi dne

Děkuji Ing. Tomáši Malčicovi, za odborné vedení závěrečné práce a poskytování rad.

Obsah

Seznam použitých zkratk a symbolů	6
Úvod.....	7
1 Ergonomie a montážní proces	9
1.1 Pojem ergonomie	9
1.2 Historie ergonomie	12
1.3 Předmět, metodika a cíle ergonomie.....	13
1.4 Pracovní systém a produktivita práce.....	15
1.5 Montážní proces.....	18
1.6 Ergonomické faktory na pracovišti.....	22
1.7 Ergonomické projektování	24
2 Technologie exoskeletů	27
2.1 Vývoj technologie exoskeletů	27
2.2 Exoskelety a ergonomie	32
3 Analýza současných technologií exoskeletů.....	36
3.1 Největší výrobce exoskeletů.....	36
3.2 Využití exoskeletů v průmyslu	39
3.3 Využití exoskeletů v automobilovém průmyslu	50
4 Vyhodnocení a srovnání technologií exoskeletů z hlediska aplikace v automobilovém průmyslu.....	61
4.1 Porovnání exoskeletů a jejich hodnocení	61
4.2 Budoucnost technologií exoskeletu v automobilovém průmyslu.....	65
Závěr	69
Seznam literatury	71
Seznam obrázků a tabulek.....	76

Seznam použitých zkratek a symbolů

BOZP	Bezpečnost a ochrana zdraví při práci
CEX	Chairless Exoskeleton
CIAC	Katalánský klastr automobilového průmyslu
ČSN	Česká technická norma
EHS	The Environmental, Health, and Safety
HAL	Hybrid Assistive Limb
IAE	International Ergonomics Association
IATF	International Automotive Task Force
ICSSL	Katalánský vládní katalánský institut pro bezpečnost a ochranu zdraví
ISO	International Organization for Standardization
JIT	Just in time
MAX	Modular Agile eXoskeleton
OPP	Osobní ochranná pomůcka na pracovišti pro daného zaměstnance
TPS	Toyota Production System
UPC	Katalánská polytechnická univerzita
VEX	Vest exoskeleton

Úvod

Člověk je jedním z nejdůležitějších prvků pracovního procesu a pro úspěšné fungování jakékoliv organizace s personálem od několika desítek do stovek tisíc je důležité vytvořit pohodlné podmínky práce pro zaměstnance. Ale i zaměstnanec je zodpovědný za práci, kterou dělá, a proto byl vytvořen hlavní systém ergonomie, totiž „člověk-stroj-prostředí“. Ve výrobě se intenzita práce neustále zvyšuje, což vede ke zvýšení únavy. A proto je nutné zlepšit ergonomické vlastnosti nástrojů v práci a udržet pracovní schopnost zaměstnanců po dlouhou dobu.

Role práce v životě člověka stále roste. Třetinu času svého života tráví průměrný člověk na pracovišti. Proto je pohodlí důležité. V takové atmosféře může člověk plně využít svůj potenciál a pracovat v plné síle. Úspěšnost podniku záleží nejen na tom, je-li stroj moderní, ale také na tom, respektují-li se podmínky maximální pohodlnosti. Uspořádání kanceláře a pracoviště hraje důležitou roli v efektivitě každého zaměstnance v podniku. Je nutné dodržovat určité požadavky pravidel bezpečnosti a ochrany práce a dbát na pohodlí pracoviště.

A právě tím se zabývá ergonomie, která se snaží najít způsoby zvýšení spolehlivosti fungování systémů mezi člověkem a strojem. Statistiky nehod způsobených člověkem ukazují, že nejméně spolehlivým prvkem takových systémů je člověk (objevuje se tzv. „lidský faktor“). Jedním z nejnáléhavějších úkolů je koordinovat konstrukci stroje v té jeho části, která souvisí s osobou, s psychologickými a fyziologickými charakteristikami osoby. Pro ergonomii je hlavním úkolem prevence ochrany práce, což znamená komplex právních, organizačních, technických, ekonomických a hygienických opatření zaměřených na zajištění bezpečnosti práce a ochranu zdraví zaměstnanců.

Cílem této práce je zkoumání ergonomie jako vědy, analýza současného trhu exoskeletů, porovnání nejlepších představitelů daného odvětví pomocí metody váženého součtu a nalezení nejlepších značek ze třídy pasivních exoskeletů s cílem zlepšení pracovních podmínek na montážních linkách automobilů.

V teoretické části této práce se pomocí literárních zdrojů popisuje ergonomie jako věda, její vliv na pracovní život zaměstnance a role daného předmětu v moderní práci. V této kapitole bude také představen popis montážního procesu a jeho

historie a uvedou se tu metody, pomocí kterých se budou řešit úkoly pro dosažení kladených cílů.

Praktická část zahrnuje popis technologie exoskelet, druhy tohoto výrobku, jeho implementace v různých odvětvích průmyslu a možnosti zlepšení podmínek práce na montážních linkách v auto továrnách a snížení jak fyzického, tak morálního tlaku na zaměstnance.

1 Ergonomie a montážní proces

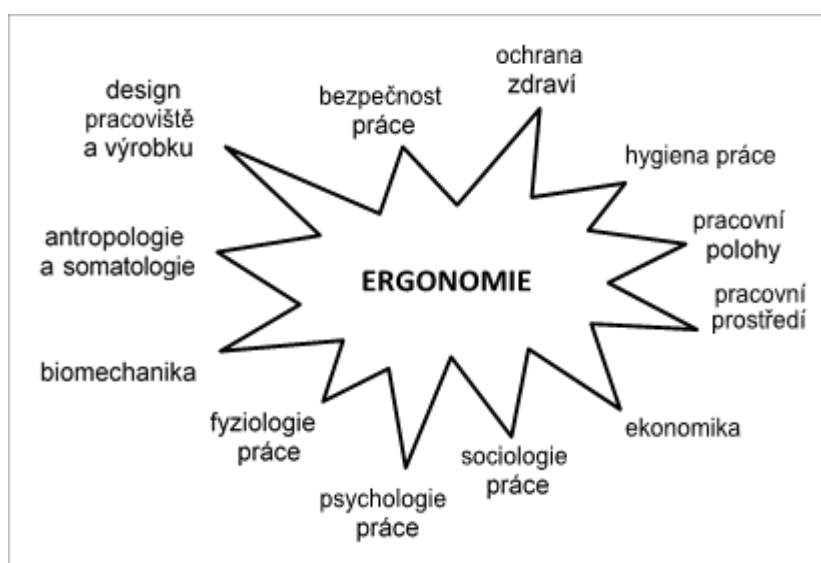
Správná organizace pracoviště může mít významný dopad na produktivitu, ušetří čas a zabrání únavě. Neexistují žádné standardní recepty pro správnou organizaci pracoviště, co může být výhodné pro jednoho, nemusí být výhodné pro jiné a naopak. Když chceme pracovní prostory co nejlépe uspořádat, musíme věnovat pozornost řadě obecných zásad, kterými se zabývá ergonomie. Následující kapitola se zabývá základními pojmy a teoretickými poznatky z oblasti ergonomie.

1.1 Pojem ergonomie

Ergonomie je vědecká a designová disciplína vytvořená ve shodě s psychologíí, fyziologií, zdravím při práci, biomechanikou, antropologií a řadou technických věd. Je to systém, který popisuje činnost člověka a jeho vazby s technikou a prostředím, jehož hlavním cílem je osobní rozvoj člověka a optimalizace jeho psychofyzické zátěže. (Chundela, 2013)

V roce 2001 byla v San Diegu Mezinárodní Ergonomickou Asociací přijata oficiální definice ergonomie: „*Ergonomie je vědecká disciplína, která zkoumá interakci mezi člověkem a elementy systému a snaží se optimalizovat pohodu člověka a výkonnost systému*“ (Chundela, 2013).

V dnešní době je ergonomie vnímána jako multioborová problematika (viz Obr. 1), která sdružuje poznatky různých disciplín. (Malý, 2016)



Zdroj: (Malý, 2016)

Obr. 1 Grafické znázornění mnohooborové ergonomie

Účelem ergonomie je studie zákonů pracovních procesů, role lidských faktorů v pracovní činnosti a zvýšení efektivity výroby při dodržování podmínek bezpečnosti práce. Pro lidi je ergonomie užitečná při navrhování strojů, dopravních prostředků a taky při plánování prostředí v práci. Ergonomie hraje důležitou roli ve vytváření výrobků, díky ní se stávají bezpečnější a účinnější. Pomocí ergonomických řešení se může minimalizovat riziko úrazu a zvýší se komfort při používání nástrojů (Kanická, 2011).

Ergonomie věnuje zvláštní pozornost procesu výběru, výcviku a rekvalifikace odborníků. Vytvoření informační základny, komunikace, návrh pracoviště přímo ovlivňuje výrobní proces a vztahy. Podle vědců jsou hlavními disciplínami raného ergonomického výzkumu anatomie, psychologie, průmyslové lékařství a architektura a design (Shorrock, 2017).

Ergonomické studie jsou podřízeny projektovým úkolům a jsou orientovány k transformačnímu designu, nikoli k poznání. Zavedení ergonomie do návrhu systému by mělo zlepšit jeho práci odstraněním nežádoucích, nekontrolovaných nebo zvažovaných aspektů fungování systému. Mohou to být faktory, jako je neefektivnost, když pracovní úsilí vede k neuspokojivým výsledkům, únava, když jsou lidé se špatně navrženou prací zbytečně unaveni, nebo nehody, zranění a chyby. Obsah ergonomie tvoří interdisciplinární studium osoby nebo skupiny lidí v podmínkách jejich činnosti za použití technických prostředků. Interdisciplinárnost ergonomie spočívá v tom, že čerpá informace z fyziologie, sociologie, statistiky atp. (Chundela, 2013).

Ergonomie se zabývá určitými vlastnostmi tohoto systému v důsledku místa a role člověka v něm a nazývá se „lidským faktorem“ v technologii. Tyto vlastnosti nejsou omezeny na individuální vlastnosti osoby, stroje, předmětu činnosti a prostředí. Lidské faktory v technologii jsou integrálními indikátory spojení mezi člověkem, strojem, předmětem a prostředím; existují „tady a teď“, projevují se konkrétně během interakce člověka a technického systému. Ergonomie je disciplína, která zkoumá systémovou interakci mezi člověkem a ostatními prvky a má za cíl aplikovat teorie, data a různé principy pro optimalizaci blahobytu člověka v práci (Salvendy, 2012).

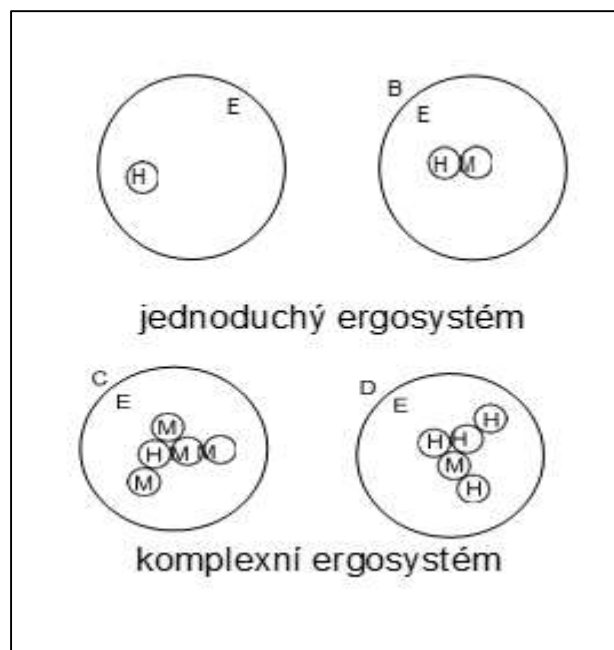
I když různí autoři mají vlastní vizi pojmu „ergonomie“, základní myšlenka je společná: hlavním úkolem ergonomie je zlepšení podmínek práce bez vlivu na zdraví.

Navrhování systémů „člověk-stroj“ zaměřené na optimalizaci činností osoby (skupiny lidí) při jejich vývoji, správě (používání), údržbě a opravách za normálních a extrémních podmínek, vynikal svým vlastním směrem a nazývalo se „ergonomické nebo lidsky orientované“. Kompatibilita mezi uživatelem a zbytkem systému může být dosažena na několika úrovních. (viz Obr. 2) Abychom dosáhli kompatibility, musíme vyhodnotit požadavky technologických omezení životního prostředí a porovnat je se schopnostmi uživatelů. Špatné fungování systému může být způsobeno nedostatečnou kompatibilitou v některých nebo všech interakcích. Interakce vyrovnává chybějící spojení v celém procesu navrhování, v důsledku čehož se systémy „člověk-stroj-prostředí“ vyvíjejí od samého začátku, a nejen technické prostředky, které se teprve ve fázi praktického „přizpůsobení“ člověku stanou součástí tohoto systému (Bridger, 2009).

E (environment) – prostředí

H (human) – člověk

M (machine) – stroj



Zdroj: (Bridger, 2009)

Obr. 2 Strukturální ergonomický pohled na pracovní systém a interakce mezi jeho komponenty

Obzvláště důležité pro ergonomii je modelování, protože mnoho složitých systémů „člověk-stroj“ nelze zkoumat v reálných podmínkách. Tyto studie je nutné organizovat a náležitě prezentovat jejich výsledky, aby bylo možné zjistit vztah mezi

četnými charakteristikami lidské činnosti a funkčními parametry systému „člověk-stroj“. Pro tyto účely jsou vytvářeny ergonomické modelovací stojany.

Ergonomie se dělí na mikro a makro úroveň. První je zaměřena na studium a návrh rozhraní člověka a dalších součástí pracovního systému (včetně rozhraní „člověk – práce“, „člověk-stroj“, „člověk-software“ a „člověk-prostředí“), druhá na studium a návrh pracovního systému jako celku. Konceptně se používá přístup teorie sociotechnických systémů, tj. studium a návrh pracovního systému se provádí od jeho horní úrovně přes subsystemy k úrovni lidského pracovníka. Tento přístup prostupuje všemi konstrukčními charakteristikami pracovního systému, včetně mikro ergonomického návrhu rozhraní, a zajišťuje integritu pracovního systému a jeho harmonizaci. Tato poslední charakteristika znamená, že všechny subsystemy a komponenty systému jsou synchronizovány a působí jako celek.

1.2 Historie ergonomie

Ergonomie jako vědecká a designérská disciplína byla formována ve 40. až 50. letech 20. století, její počátky sahají až do doby primitivní společnosti, která se naučila vědomě vyrábět nástroje, což jim dává formu vhodnou pro konkrétní práci, a tím rozšiřuje schopnosti lidských orgánů. V pravěku bylo pohodlí a přesné přizpůsobení nástrojů lidským potřebám věcí života a smrti.

Termín „ergonomie“ vznikl v Anglii v roce 1949, kdy skupina anglických vědců, pod vedením C. Marrella, položila základy pro organizaci ergonomické výzkumné společnosti. Později bylo jasné, že tento termín byl navržen v roce 1857 polským přírodovědcem V. Jastrzębowskiem.

Hlavním průkopníkem ergonomické historie se stal F. W. Taylor, kterého zajímaly časová a pohybová studia, a vytvořil racionální přístup, který dostal název „taylorismus“. V dnešní době je velmi kritizován, protože nebral v úvahu možnosti, kterých byl člověk schopen dosáhnout. Velkou pozornost věnoval intenzitě práce a plýtvání časem (Kováč a Szombathyová, 2010).

Taylorismus měl mnoho stoupců a na začátku se uplatňoval v USA. Podle této teorie dělník na pracovním místě nevyužívá celý svůj potenciál a nemůže dosáhnout lepší produktivity. Podle Taylora se maximálního efektu může dosáhnout pomocí čtyř kroků (Chundela, 2013):

1. Analýzou situace pracovního místa a navržením nejlepšího způsobu práce.

2. Potřebou najít lidi, kteří by se naučili a zvládli dodržovat daný systém.
3. Vyměřením výkonosti dělníků, kteří pracují novým způsobem.
4. Snahou zlepšit nebo zachovat stálou úroveň výkonu pomocí regulace mzdy a prémie.

Vývoj technologie klade zvýšené nároky na člověka a často ho nutí pracovat na hranici psychofyzilogických schopností. Proto během druhé světové války, kdy došlo k velkému skoku ve vojenské výzbroji, ji nemohli ani pečlivě vyškolení a vybraní vojenští muži efektivně využít. Když byly vyčerpány možnosti odborného výběru a školení, do popředí se dostal problém přizpůsobení zařízení a pracovních podmínek člověku.

Kvalifikace, profesionalita, kompetence, motivace zaměstnanců podniků určují možnosti zavádění moderních technologií výroby a řízení, inovativní transformace pracovních míst s cílem zajistit růst produktivity práce a konkurenceschopnosti. Ergonomie se v současné době snaží integrovat ochranu zdraví člověka do pracovního systému (Malý, 2010).

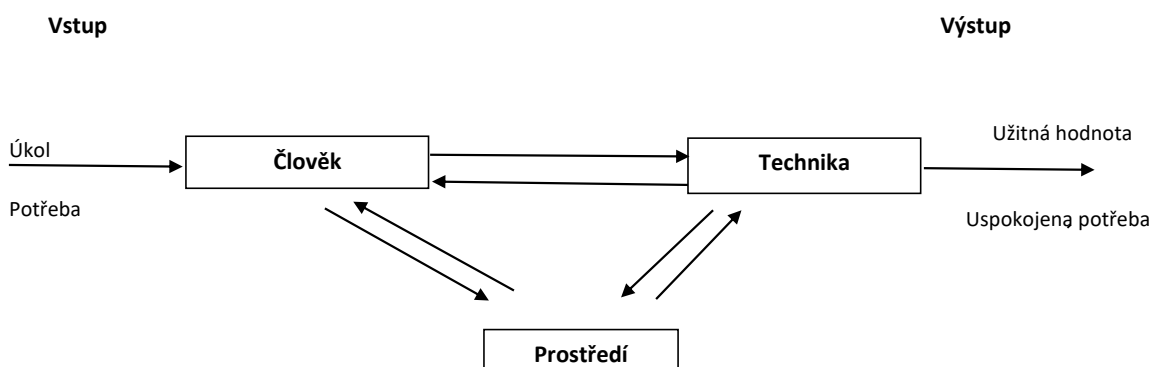
O důležitosti lidí na pracovišti se vyjádřil H. Ford, americký průmyslník a jeden z nejznámějších podnikatelů, který se proslavil výrobou cenově dostupných automobilů a řadou inovací, jež zavedl do obchodních procesů, což zvýšilo jejich efektivitu: „*Začnu věnovat stejnou pozornost lidskému faktoru, jakou jsem věnoval stroji.*“ (Kováč, Szombathyová, 2010, s. 8).

Obrovský význam pro Forda mělo vzdělávání. Podle něj hlavním účelem vzdělávání je pomoc člověku, aby se osamostatnil při zajišťování vlastního života. Mimochodem, jedna z prvních odborných škol byla založena právě ve Fordových podnicích, jejichž práci lze dnes uznat jako jasnou budoucnost našeho systému odborného vzdělávání.

1.3 Předmět, metodika a cíle ergonomie

Předmětem ergonomie je systém „člověk-technika-prostředí“ a jeho působení (viz Obr. 3). Ergonomie zvažuje rozložení práce mezi člověkem a strojem, sleduje dodržování bezpečnosti práce při interakci s mechanismy, analyzuje a rozděluje odpovědnosti operátorů, navrhuje pracoviště s ohledem na antropometrická data, a

to i pro osoby se zdravotním postižením. Pomocí ergonomie se řeší problematika pracovní činnosti člověka ve výrobním prostředí (Kociánová, 2010).



Zdroj: (Chundela, 2013)

Obr. 3 Systém „člověk-technika-prostředí“

Metodologickým základem ergonomie je teorie systémů, která vám umožní získat ucelenou představu o výrobním procesu a nabízí způsoby, jak jej zlepšit, což zahrnuje zohlednění sklonu, povahy každého zaměstnance, spokojenosti s prací, která nepochybně ovlivňuje efektivitu a kvalitu práce.

Oblasti ergonomie podle IEA (Gilbertová a kol,2002):

1. Fyzická ergonomie zkoumá vliv pracovních podmínek a pracovního prostředí na lidské zdraví. Kromě toho se zabývá problémy, které jsou spojené s anatomii, biomechanikou a fyziologií.
2. Kognitivní ergonomie zkoumá aspekty pracovní činnosti, které jsou spojené s psychickou zátěží v procesu spolupráce člověka a počítače, s výkonností zaměstnance, stresem v práci atd.
3. Organizační ergonomie se zaměřuje na sociotechnické systémy. Zde se zkoumá komunikace mezi lidmi, práce v týmu, čas práce a odpočinku, úroveň komfortu.

Do speciálních oblastí ergonomie patří:

Myoskeletární – předmětem jsou problémy spojené s pohybovým aparátem, totiž onemocnění páteře a rukou.

Psychosociální – zkoumá zdroj stresu a s ním spojené faktory.

Participační – pochází z Japonska a v dnešní době ji používají po celém světě. Změny v uspořádání pracovišť si navrhují jak zaměstnanci, tak i manažeři, když je potřeba. Tento princip zvyšuje motivaci zaměstnanců, neboť díky němu se stávají aktivními prvky navrhování směru plánovacího procesu.

Rehabilitační – školí handicapované osoby a snaží se upravit pracovní místa tak, aby byla v souladu s psychickým a tělesným stavem. Důležitým faktorem jsou motivace, adaptace a vůle.

Kromě toho ergonomie zahrnuje studium konfliktních situací, stresu na pracovišti, únavy a stresu s přihlédnutím k individuálním charakteristikám zaměstnance.

1.4 Pracovní systém a produktivita práce

Pracovní systém je systém, ve kterém dochází k interakci mezi člověkem a dalšími faktory v rámci pracovního procesu pro plnění přidělených úkolů. Systémový přístup v ergonomii hraje velkou roli a pomocí systémového přístupu se uplatňuje ve všech fázích, kdy probíhá interakce člověka a stroje (Malý, 2010).

Jedním z nejdůležitějších prvků pracovního systému jsou technické prostředky a pracoviště. Pracoviště je organizovaným a nedělitelným prvkem ve výrobním a technickém procesu. Musí být obsluhováno jedním nebo více pracovníky a specialisty. Bez pracoviště nemůže žádný odborník ani pracovník pracovat. Je to prostorová zóna práce.

Uvádí se několik definic pojmu **pracoviště**:

- Pod pracovištěm se rozumí zóna, která je vybavena všemi potřebnými technickými předměty a nástroji, které jsou pro konkrétní zaměstnance nezbytné k plnění jejich pracovních povinností.
- Pracoviště je součástí pracovního prostoru funkčně organizovaného pro zaměstnance nebo kolektiv k provádění výrobních činností.

Důležitým úkolem systému je správné plánování a rozložení pracoviště. Z ergonomického hlediska se při rozpracování plánu musejí splňovat následující požadavky:

1. dostupnost dostatečného pracovního prostoru pro provádění pracovních činností,
2. dostupnost hlavního a pomocného výrobního zařízení,

3. zajištění dostatečných fyzických, obrazových a zvukových spojení mezi zaměstnanci výroby,
4. dostupnost pohodlných přístupů k vybavení,
5. dodržování bezpečnostních opatření (dostupnost ochranných prostředků proti nebezpečným výrobním faktorům),
6. provádění činností zaměřených na udržení toku zaměstnanců,
7. shoda s normami pracovního prostředí (přípustná hladina hluku, znečištění ovzduší, teplotní podmínky a další).

K prvkům daného systému patří ještě pracovní prostředí. Pod „pracovním prostředím“ se rozumí kombinace materiálních hodnot a duševních podmínek, s nimiž se utvářejí pracovní podmínky na pracovišti, kde pracovní prostředí zahrnuje pracovníky a jejich propojení s faktory na pracovišti k plnění úkolů, aniž by to mělo negativní dopad na zdraví pracovníků (Kováč a Szombathyová, 2010).

K nejdůležitějším vlastnostem systému patří (Chundela, 2013):

1. stabilita – dodržení hodnot proměnných v určitých mezích,
2. spolehlivost – schopnost systému splňovat své funkce.

Podle Chundely systémový přístup umožňuje zlepšit analýzu nejslabších článků systému, což vede k růstu produktivity člověka. Také tento systém umožňuje najít optimální řešení při rozdělení funkcí mezi člověkem a strojem.

Velký vliv na rozvoj moderního pracovního systému měla Toyota a její výrobní systém, který má název TPS (Toyota Product System). Cílem daného systému je eliminace negativních aspektů produkce (Vochozka, 2012).

Podle tělesných proporcí zaměstnanců se pracoviště navrhuje v závislosti na (Malý, 2016):

1. typech prováděných úloh a způsobů provedení,
2. četnosti úkonů a pracovních poloh,
3. počtu prováděných úkolů,
4. zařízení, na kterém se provádějí operace.

Aby systém fungoval co nejlépe, musí být kvalitně projektován pomocí prvků, které budou navzájem propojeny. Za hlavní problém ve výrobním procesu se považuje dosažení vysoké produktivity. Té se dosahuje pomocí hledání kompromisu mezi zkracovaným časem daného procesu a racionálním využitím zařízení a rozpracovaný systém by měl plnit úkoly, které byly naplánované (Jurová a kolektiv, 2016).

Důležitou součástí úspěšnosti pracovního systému je produktivita práce. „*Produktivita práce je základním faktorem ekonomické úrovně země; je definovaná jako hodnota výstupu na jednotku pracovního vstupu*“ (Kislingerová a kol, 2008, s.28). Hlavním prvkem ve výrobních činnostech jakékoli organizace je práce a její výsledky. Daný pojem popisuje postoj k racionálnímu využívání pracovních zdrojů a zaměstnanců, protože bez potřebného počtu lidí určitých profesí a kvalifikací nemůže žádná organizace dosáhnout svého cíle. „*Výkon člověka lze obecně charakterizovat jako výsledek jeho činnosti*“ (Kociánová, 2010, s. 37).

Individuální výkon lze spočítat následující formulí:

$$V = f(M, S, P) \quad (1)$$

M – motivace

S – schopnosti

P – podmínky (možnosti)

Organizace musí věnovat produktivitě velkou pozornost a snažit se motivovat její růst. Růst produktivity práce umožňuje vyrábět další objem výroby nebo provádět další objem práce stejným nebo dokonce menším počtem zaměstnanců. Vzhledem k současnému rozsahu výroby, zvyšujícím se požadavkům na zboží, služby a omezené pracovní zdroje, je produktivita práce hlavním zdrojem hospodářského růstu. Růst produktivity práce umožňuje utrácet méně živé práce na jednotku produkce, což dovoluje snížit její náklady a získat větší zisk z každé jednotky.

Tento růst je založen na zvyšování technického vybavení práce, rozšiřování a zlepšování technologie. Čím více výrobních prostředků se podílí na tvorbě produktů, tím více s jejich pomocí pracovník zpracovává objekty práce za jednotku času, a práce se tak stává efektivnější a produktivnější. Při plánování pracovních ukazatelů

pro nadcházející období musí podnik naplánovat růst produktivity práce a vypočítat ekonomické ukazatele charakterizující účinnost svého růstu.

1.5 Montážní proces

Montáž automobilů je proces, při kterém se provádí montáž a testování karoserií a technologických instalací. Jedná se o komplex vzájemně propojených složitých procesů, které vyžadují vysoce kvalifikované a specializované montážní linky, důkladnou technickou a technologickou přípravu výroby a vysokou úroveň organizace. Ve výrobním procesu je montáž nejsložitější etapou a má obrovský vliv na jakost výrobku, produktivitu práce a ukazuje efektivitu celého systému. Nomenklatura průmyslového vybavení je rozmanitá a neustále se aktualizuje. Automobily vyrábějící se na montážní lince mají složitou strukturu, skládají se z velkého počtu dílů a detailů. Některé vozy jsou jedinečné svými celkovými rozměry a hmotnostmi.

Co se týče vývoje montážní linky v automobilovém průmyslu, tak ten začal v roce 1908 v závodech společnosti Ford. Tady byla spuštěna první komerční montážní linka automobilů ve světě. Není samozřejmě možné považovat Forda za vynálezce, ale byl to on, kdo začal používat montážní linku pro urychlení a optimalizaci procesu montáže automobilů. Udělal to proto, že poptávka po vozidlech Ford Model T několikanásobně převyšovala nabídku. Výsledkem bylo to, že model Ford T se vyráběl za méně než 2 hodiny.

Hlavním přínosem pro montážní linku byla společnost Toyota, jejíž výrobní systém TPS byl v automobilové společnosti vyvíjen zhruba tři desetiletí od roku 1945 do roku 1975. Hlavní částí tohoto systému byl „kaizen“, neboli „neustálé zlepšování“. Podstatou „kaizenu“ je zaměřování pozornosti na „kvalitu“ personálu, protože kvalita výrobků a služeb závisí na personálu. Tento systém zapojuje každého zaměstnance do procesu zlepšování – od nejvyššího manažera až po běžného zaměstnance (Veber a kol., 2016).

Ohno ukázal, že je možné vyrábět efektivněji snížením výrobních nákladů, zlepšováním kvality a také velkým důrazem na organizaci práce v závodě Toyota. Věřil v koncepci JIT (just in time) a na rozdíl od jiných společností nevěnoval prodejm největší pozornost. Pro něj bylo důležité, aby výroba fungovala jako lidské tělo: bude v dobrém stavu, pouze pokud se člověk o něj postará.

Ohno formuloval základní principy výrobního systému Toyota:

1. Vyrábět pouze to, co je potřeba. Pravidlo se vztahuje na náhradní díly, organizaci, specifikace produktu. Všechno ostatní je zbytečné (JIT).
2. Pokud dojde k chybě, okamžitě se musí najít její příčina, dále je potřeba tuto chybu odstranit a zabránit jejímu výskytu v budoucnosti. Když se vyskytne chyba, hlavním není její odstranění, ale nalezení příčiny této chyby pomocí systému 5S (viz Obr. 4).

Metoda JIT se používá pro zlepšení lidských vztahů ve společnosti a zvýšení morálky. Prvky této metody jsou (Moden, 2011):

Seiri

Na pracovišti jsou všechny položky rozděleny na nezbytné a zbytečné. Nepotřebné položky budou odstraněny. Tyto akce na pracovišti vedou ke zlepšení kultury a bezpečnosti.

Seiton

Dávat do pořádku potřebné položky. Potřebné položky jsou umístěny na konkrétních místech tak, aby byly snadno přístupné každému, kdo je používá. Měly by se také označit pro rychlé vyhledávání.

Seiso

Je vytvořen systém, ve kterém se nic jiného neznečišťuje a vše musí být na svém místě. Pracovní oblasti pracovních míst by měly být vymezeny a označeny. Důkladné čištění zařízení zajišťuje prevenci a identifikaci možných problémů v práci.

Sieketsu

Musí se pravidelně postupovat podle prvních tří kroků a udržovat pořádek a čistota. Nejúčinnější řešení nalezená během provádění prvních tří kroků musí být stanovena písemně, aby se stala vizuální a snadno zapamatovatelná.

Shitsuku

Pro udržování pracoviště v dobrém stavu se práce musí vykonávat disciplinovaně v souladu se stanovenými normami.



Zdroj: (Svět produktivity,2012)

Obr. 4 Systém 5S

3. Všichni zaměstnanci a dodavatelé musí neustále zlepšovat kvalitu produktů a výrobní proces.

V procesu zlepšování výrobního systému Ohno objevil, že výroba dílů v malých dávkách byla výhodnější než ve velkých. Zaprvé, náklady na jejich přepravu a skladování byly sníženy, a za druhé, a to bylo ještě důležitější, bylo možné detekovat vadu ještě předtím, než šly části do sestavy. Když Ohno zkoumal linky amerických společností, byl šokován rozsahem ztrát. Američané se řídili dvěma hlavními ukazateli: naplánovaný objem výroby a kvalita automobilů na výstupu. Vedoucí výroby věděli, že pokud produkuje méně, než bylo plánováno, měli by problémy.

Montážní linka je nejdokonalejší formou procesu, ve kterém se karoserie pohybuje z jednoho bodu na druhý dopravníkem, kde se na ní provádí určité množství práce, a tyto body jsou mezi sebou propojeny. Z toho důvodu, když se projektuje nový výrobní systém, musí být rozpracován tak, aby počítal s časem a prostorem pomocí systémového a komplexního přístupu.

Co se týče zabraňování chyb na montážní lince Toyota, tak na každém místě montáže je tzv. „andonový“ kabel. Pokud pracovník zjistil poruchu během plnění svých povinností, musí zatáhnout za kabel a zastavit výrobu, dokud nebude chyba odstraněna. Poté je vydán signál a na kontrolním panelu se rozsvítí žlutá barva, což značí, že se v oblasti X objevila porucha. Vedoucí pracovník okamžitě dorazí na

místo, aby našel příčinu poruchy a odstranil ji. Po celou dobu opravy bliká na pracovní stanici červené světlo, které signalizuje, že se problém řeší. Současně se ostatní úseky linky pohybují dál, ale pouze do určitého časového okamžiku (Stewart, 2018).

Montáž karoserie při výrobě vozidla se obvykle provádí na mechanizovaném dopravníku, který zahrnuje několik tisíc lidí ve směně a podpůrný personál. Většina průmyslových pracovníků automobilky je zapojena do procesu montáže, avšak v posledních letech se linky na montáž karosérií stávají více automatizovanými.

Významnou částí ergonomie na montážní lince je retrofitting. Je to modernizace nebo výměna starého stroje za novější.

Retrofitting je velmi důležitou součástí výroby, protože dává možnost ušetřit materiálové náklady, a navíc modernizované zařízení vyžaduje menší provozní náklady. Retrofitting předpokládá základní opravy stroje, což způsobuje zvýšení tuhosti a úrovně kvality (Kolíbal, 2010).

Pro uživatele je modernizace přínosná tím, že se zkracuje čas při plnění operací a klesá náročnost práce, což je z hlediska ergonomie velmi důležitou a přínosnou věcí. Retrofitting hraje významnou roli tehdy, když například klesá produktivita výrobního zařízení, zvětšuje se sortiment výrobků nebo roste čas na přípravu výrobků (Kolíbal, 2010).

Modernizace výroby je komplexní (výměna zastaralých jednotek), částečná (výměna sektoru) nebo úplná modernizace systémů nebo zařízení v podniku. Tento proces zahrnuje řadu činností, z nichž většina je důkladná analýza a shromažďování informací. To platí jak pro samotný stav výroby, tak pro studium návrhů od dodavatelů zařízení a služeb.

Podle rozsahu a způsobů se modernizace dělí na (Kolíbal, 2010):

1. Standardní modernizaci. Dříve vyrobené stroje se modernizují novými prvky. To dovoluje zvýšit technickou úroveň strojů a také zlepšit jejich užitnost.
2. Zakázkovou modernizaci. Tento druh modernizace se provádí, když uživatel strojů požádá o modernizaci jednoho anebo skupiny strojů. Tato metoda má své klady a zápory, výhoda například spočívá v tom, že se bude modernizovat jen ta

technologie, která potřebuje zlepšení funkcionality. Co se týče nevýhody, zvyšují se náklady na výrobu a montáž.

3. Generální opravu. Účelem daného druhu modernizace je uvedení takového stavu, při kterém se vracejí jeho původní vlastnosti a výkonnost je stejná jako na začátku.

1.6 Ergonomické faktory na pracovišti

Významnou roli v ergonomii hraje řada faktorů. Jsou to tělesná poloha a pohyby těla, faktory prostředí, různá informace a organizace práce. Pomocí těchto faktorů se určuje pohoda v práci a pracovní bezpečnost (Malý, 2010).

Do ergonomických faktorů spojených s pracovištěm počítáme faktory, jako je například teplota, osvětlení pracovní budovy, vybavení pracovního místa, úroveň hluku atd. (Malý, 2016).

Proudění vzduchu. Čím více vzduch proudí, tím více cítíme efekt chlazení. Rychlost proudění podle výzkumu by neměla přesahovat 0,15 m/s.

Vlhkost vzduchu – je to procento páry ve vzduchu při skutečné teplotě. Čím vyšší je teplota, tím více vody může vzduch absorbovat. Optimální vlhkost vzduchu je 40–60 %.

Osvětlení. Osvětlení hraje důležitou roli v pracovním procesu. Pro lidské oko je zatím nejlepší přírodní zdroj světla, ale kvůli tomu, že jeho intenzita není stejná celý rok, používá se umělé osvětlení, které pomáhá intenzitu vyrovnat.

Důležité pro osvětlení je poskytování optimálních podmínek pro snížení negativního vlivu na zrak. Musí se věnovat pozornost takovým činitelům, jako je jas a jeho kontrast, barvy a rozložení světla (Kolibal, 2010).

V současné době je hlavním trendem vývoje světelných zdrojů jejich další zlepšování, včetně zvyšování nákladové efektivity, spolehlivosti, účinnosti, bezpečnosti, kvality podání barev. V tomto ohledu je třeba poznamenat, že je možné zavést a používat zářivky, zejména kompaktní zářivky s možností upravovat úroveň osvětlení na základě použití infračervených a jiných senzorů, které určují přítomnost lidí v místnosti, a různé systémy řízení světla. Dnes se aktivně zavádí nákladově efektivní osvětlení světelného vodiče, vytvářejí se řízené kombinované systémy osvětlení a přenosu světla v místnostech a vytváří se dálkové ovládání lamp.

Tepelné podmínky. K tomu patří teplota prostředí, která má vliv na tepelnou pohodu člověka. Při analýze tepelných podmínek se musí brát v úvahu teplota a vlhkost vzduchu, rychlost, se kterou proudí vzduch, a intenzita práce, která probíhá na daném pracovišti. Pozornost se musí věnovat i oblečení (Kolíbal, 2010).

Produkce tepla závisí na druhu práce, a to především, protože každá práce má jinou úroveň fyzické namáhavosti. Aby se pracovník cítil co nejpohodlněji, jsou rozpracované tepelné normy podle různých druhů práce (viz Tab. 1).

Tab. 1 Fyzická namáhavost práce a teplota

Druh práce	Spotřeba energie na BM Kj/směnu	Doporučená teplota klidného vzduchu °C
Velmi lehká (písařka, kreslič, dispečer, student)	Do 1250	20 ± 1
Lehká (kontrola, učitel, zámečnick)	1250-2500	19 ± 1
Mírná (soustružník, brusič, frézař)	2501-4200	18± 1
Střední (kovář, ruční truhlář, břemena do 15 kg)	4201-6300	16 ± 1
Těžká (zvedání břemen do 50 kg, horníci)	6301-8400	14± 2
Velmi těžká (břemena nad 50 kg, prodloužené směny nakládání 20–40 t)	Nad 8400	12± 2

Zdroj: (Chundela, 2013)

Hluk má velký vliv na pracovní a životní prostředí. Ucho člověka je varovný orgán a může rozpoznat, jakou informaci nese zvuk. Pomocí sluchu se přijímá většina výstražných podnětů, a proto je pro člověka tak důležitý (Tuček, 2012).

Vibracemi nazýváme „*mechanické kmitání pružného prostředí nebo tělesa, jehož jednotlivé body kmitají kolem rovnoznačné polohy*“ (Tuček, 2012.st 30). Vibrace jsou jedním z výrobních faktorů, které při překročení určité úrovně mohou mít vážný negativní dopad na zdraví zaměstnance. Zároveň se však vibrace velmi často vyskytují v celé řadě průmyslových odvětví. Proto je nesmírně důležité, aby zaměstnavatel určil skutečnou úroveň vibrací na pracovištích zaměstnanců a aby zjistil, jaká opatření by měla být přijata ke snížení intenzity jeho dopadu.

Systematický účinek obecných vibrací vede k vibračním onemocněním, která jsou charakterizována poruchami fyziologických funkcí těla spojenými s poškozením centrálního nervového systému. Problémy, které přinášejí nadprůměrné vibrace, mohou vyvolat rezonanční kmitočty na celém lidském těle. Tyto problémy mohou způsobit bolesti hlavy, závratě, poruchy spánku, sníženou výkonnost, zhoršení zdraví a srdeční potíže (Kolíbal, 2010).

Je třeba uvažovat i o vytížení v práci. Pracovní vytížení je soubor měřitelných dopadů, které ovlivňují osobu v pracovním systému člověk-technika-prostředí a jejich působení (Chundela, 2013).

Odborná způsobilost člověka jako stupně jeho shody s požadavky dané činnosti je primárně spojena s jeho schopností, schopností plnit předepsané pracovní úkoly ve specifických podmínkách a se stanovenými ukazateli účinnosti, spolehlivosti a bezpečnosti. Může se stát, že je zaměstnanec přetížen, protože dělá víc práce, než dokáže zvládnout, a může se stát obětí vyhoření.

Chundela (2013) rozděluje zátěž na fyzickou a psychickou. A protože práce na montážní lince je spojena s fyzickou náročností, věnuje se autor právě jí.

Podle povahy svalové práce je fyzická aktivita rozdělena na dynamickou a statickou. Dynamická zátěž svalů je charakterizována periodickými kontrakcemi a relaxací kosterních svalů, aby pohybovaly tělem nebo jeho jednotlivými částmi a prováděly určité pracovní činnosti. Statická zátěž je typ svalového napětí charakterizovaný neustálým úsilím za účelem udržení polohy těla nebo jeho jednotlivých částí, jakož i provádění určitých pracovních úkolů. V souvislosti s výrobními činnostmi je velmi obtížné jasně určit povahu pouze dynamického nebo statického zatížení. Téměř každá fyzická práce je spojena se složitým účinkem smíšených staticko-dynamických zatížení (Chundela, 2013).

1.7 Ergonomické projektování

Projektování při tvorbě technických zařízení a prostředků by mělo počítat s člověkem, protože často je projekt založen jen na technickém a ekonomickém hledisku, aniž by se uvažovalo o lidských parametrech, které nejsou často přesně odhadnutelné (Pauknerová, 2012).

Pracoviště by mělo být především pohodlné. Při navrhování pracovního prostoru musíme brát v úvahu určité ergonomické požadavky. Postup, který se musí dodržovat (viz Tab.2), je uvedený podle normy ČSN EN 614-1 (Chundela, 2013).

Pozornost je třeba věnovat také normování lidské práce, což především pomáhá při plánování výroby, plánování potřebného počtu zaměstnanců, kontrole práce (Chundela, 2013).

Pod plánováním směn výroby se rozumí příprava podrobných plánů provádění konkrétních technologických operací na výrobu určitých dílů a výrobků členěnou podle pracovních dnů a směn. Ergonomický návrh pracovních prostorů a pracovišť je prováděn pro konkrétní pracovní úkoly a činnosti s přihlédnutím k antropometrickým, biomechanickým, psychofyzilogickým a mentálním schopnostem a charakteristikám pracujících lidí a měl by vytvořit nejlepší podmínky pro:

1. Umístění pracující osoby v souladu s požadavky technologického procesu.
2. Provádění základních a pomocných operací na vhodném pracovním místě, které odpovídá specifikům pracovního procesu a používá nejúčinnější metody práce.
3. Umístění ovládacích prvků v rámci optimálních hranic prostoru lidských pohybů.
4. Zachování optimálního přehledu zdrojů vizuální informace při změně pracovní polohy.
5. Volný přístup k místům rutinních kontrol, oprav a úprav, snadná implementace.
6. Racionální umístění zařízení, bezpečnost práce.

Metodologickým základem ergonomického projektování je integrovaný systémový přístup. Systémová ideologie se projevuje v potřebě uvažovat o předmětu činnosti, technických prostředcích, podmínkách prostředí v jejich jednotě a vztazích, což umožňuje předpovídat úspěch odborných činností. Ergonomické řešení je založeno na rozdělení funkcí v systému „člověk-stroj“, návrhu pracovních úkolů a lidských činností. Projekt musí zahrnovat ergonomické požadavky na člověka, technický systém, pracoviště a životní prostředí (Kolíbal, 2010).

Tab. 2 Ergonomické úkoly, které je třeba provádět během postupu projektování

Číslo	Ergonomické úkoly	Popis úkolů
1	Zjistit a ujasnit zadané specifikace	Zjistit, jaký má být přínos, aby byl systém výkonný, bezpečný a zdravý
2	Určení skupiny populace pro obsluhu	Stanovit specifické charakteristiky obsluhy, která bude pracovní prostředky používat
3	Provést rozbor pracovního úkonu	Stanovit dělbu funkcí mezi obsluhou a pracovním prostředkem. Stanovit úkoly, které bude muset obsluha vykonávat (např. obsluha ovladačů)
4	Stanovit požadované ergonomické údaje	Stanovit ergonomické údaje potřebné k hodnocení určitého projektu
5	Stanovit požadovanou průvodní dokumentaci	Vyhledat informace, které mají být uvedené v dokumentaci pro obsluhu
6	Stanovit požadavky na školení a výcvik	Uvážit výsledky rozboru úkolů a podle nich stanovit speciální požadavky na školení a výcvik obsluhy a jejich vliv na bezpečnost, náklady atd.
7	Zvolit metodu hodnocení	Stanovit metody, kterých se má použít k hodnocení údajů získaných v úkolu 4 z hlediska požadavků daného projektu
8	Zvolit vypracovaný projekt	Použít metod stanovených v úkolu 7 ke zjištění, zda jsou ergonomické požadavky projektu v přijatelných mezích
9	Zvolit výsledky rozboru	Rozhodnout, zda bylo dosaženo rozumného kompromisu mezi technickými a ergonomickými požadavky, a pokud nebylo, uvážit možnost opakování některých nebo všech úkolů 3 až 7 s přepracovaným projektem
10	Zhodnotit projekt s obsluhou	Použít zmenšených modelů nebo modelu 1:1 pracovního prostředku nebo jeho částí ke zhodnocení projektu
11	Zhodnotit výsledky zkoušek s obsluhou a provést změny	Znovu zhodnotit projekt a provést změny, které byly výsledkem praktických zkoušek s obsluhou, a podle potřeby opakovat úkoly 3 až 10

Zdroj: (Chundela, 2013)

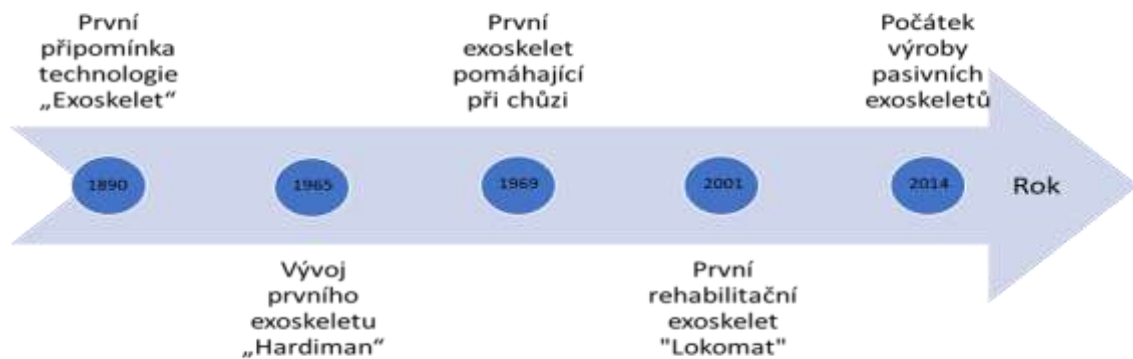
2 Technologie exoskeletů

V posledních letech se technologie exoskeletu stala předmětem zájmu průmyslového výrobního sektoru včetně segmentu výroby automobilů. Nabízí nový přístup ke zlepšení kvality práce, efektivity úkolů a produktivity kombinací lidské inteligence a obratnosti s robotickou nebo mechanickou pomocí. V rámci praktické části se průmyslové potřeby klasifikovaly do tří kategorií: nepříjemné držení těla a pohyby, manipulace s velkou zátěží a pomoc při montáži. Pro ilustraci předložené klasifikace jsou použity příklady z výroby automobilů s ohledem na zaměření tématu práce výše. Současný odborný přehled literatury odhaluje dokonce až 62 exoskeletových řešení s průmyslovými potenciály, ovšem s ohledem na možnosti rozsahu akademického textu budou uvedeny jen vybrané exoskeletové řešení ve vazbě na automobilový průmysl. Budou se uvádět podle místa vzniku, stavu vývoje, hmotnosti, cílené podpory částí těla, typu ovládání, zdroje energie a navrhovaných průmyslových potřeb.

Analýzou stávajících zařízení se zdůrazňují významné problémy související s jejich strukturou a ovládací technologií. Zpětná vazba uživatelů a průmyslová očekávání se často sbíhají k podobnému konsensu v otázkách, jako je hmotnost zařízení, typ ovládání a distribuce úsilí. Kromě toho je též možné realizovat primární strukturální analýzu ukazující pro každý exoskelet kinematický diagram a graf konektivity. Tento přístup je demonstrován na vybraných exoskeletech v automobilovém průmyslu. Dále se propojí strukturální analýza s novým indikátorem, který dokáže měřit stupeň strukturální složitosti exoskeletů. V praktické části je tak uveden nástin klasifikace exoskeletů v automobilovém průmyslu, a to jako rozvíjejícího se odvětví s různými inovativními vzory a perspektivami.

2.1 Vývoj technologie exoskeletů

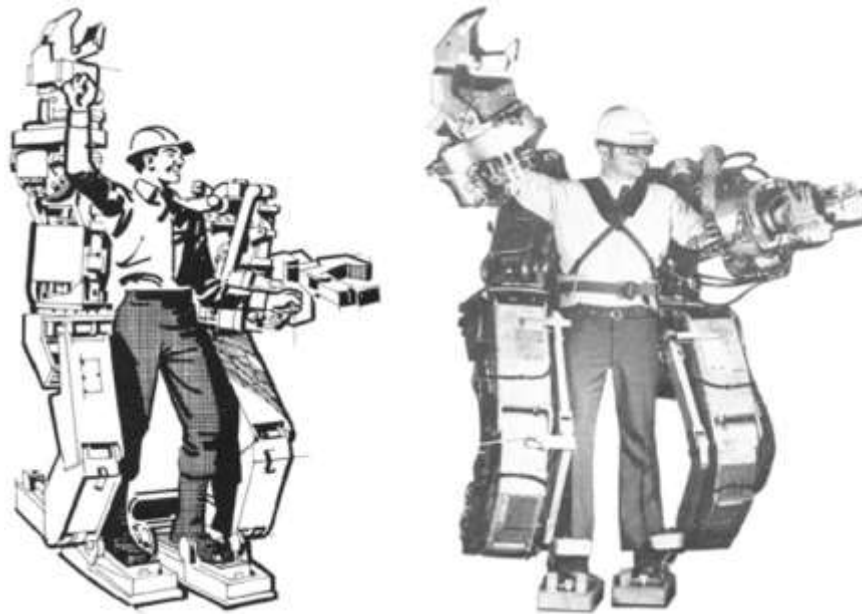
Vývoj této technologie pokračuje už více než 100 let, a exoskelety stávají důležitou částí lidského života ve mnoha odvětvích, jako je, například, automobilový průmysl (viz Obr.5). Obleky s mechanickými klouby, které snižují zatížení nohou a umožňují pohyb těžkých břemen, zvyšují sílu a rychlost pohybu a obnovují schopnost chodit pro ochrnuté, se stanou běžnými za deset let. Exoskelety se do roku 2030 přestěhují z výzkumu a vývoje a stanou se součástí každodenního života. Tuto předpověď provedla společnost Panasonic.



Obr. 5 Historie exoskeletů

Prvotním známým zařízením, které bylo podobné exoskeletu představovalo soubor přístrojů s asistencí skákání a běhu, které byly vyvinuty již v roce 1890 v Rusku. V prostředí USA podobná technická řešení není možné minimálně v počátku jejich technického vývoje považovat za exoskelety. Například společnost General Electric vyvinula v 60. letech 20. století první skutečně technicky doložený exoskelet a jednalo se o přístroj označený jako Human Augmentation Research and Development Investigation, známější je pak zkratka Hardiman. Ve své konstrukci se jednalo o hydraulický a elektrický typ kombinézy. Problémem ale byla zejména váha a objemnost. Na obrázku 6 je pro názornost tento exoskelet uveden.

Pojmové označení exoskelet je odvozen z názvu tuhých částí bezobratlých živočichů, jako jsou někteří brouci či pavouci a další. Je to určitá schránka – struktura, která umožňuje jejich tělu udržet si formu bez interní kostry. V robotice a robotizaci jako součástí Průmyslu 4.0. jsou exoskelety obecně uvedeno nositelné robotické části. Lze je připevnit k externě k lidskému tělu a poskytují ochranu i dodatečnou sílu k normálnímu pohybu svalů daného zaměstnance či dané osoby. Jejich využití je nejenom v automobilovém průmyslu v rámci výrobních linek, ale též v dalších oborech, jako například v medicíně při rehabilitacích pro ochrnuté osoby až po robotické obleky, které umožňují zvedat těžké váhy s vynaložením jen malého úsilí.



Zdroj: (General Electric,2016)

Obr. 6 Exoskelet „Hardiman“

Hlavní projekty v oblasti vývoje exoskeletů byly provedeny v letech 1969–1972 v Srbsku za účelem lékařské pomoci zdravotně postiženým osobám. Podobné výzkumy probíhaly v globálním měřítku také v USA, Rusku nebo Japonsku. Americká armáda rovněž vyvíjela, a také v současnosti pracuje na vojenském exoskeletu s názvem LIFESUIT. Vývoj tohoto vojenského exoskeletu probíhá od roku 1986. V současné době měl tento projekt 17 dostupných prototypů a budoucí práce na dalších technických a technologických inovacích jsou plánovány již do roku 2025(Marinov, 2015). Pentagon dokonce začal implementovat nanotechnologie na exoskelety a jejich projekty již v roce 2007. V současné době se hlavním vývojem zabývá Exoskeletons for Human Performance Augmentation Program organizace s názvem DARPA (Bellis, 2017).

V průběhu vývoje technologie exoskeletů vznikalo množství různých exoskeletů s ohledem na jejich různé aplikace v praxi. Níže jsou uvedené exoskelety podle spotřeby energie. V odborné literatuře je možné uvést i pasivní exoskelety se zaměřením na přerozdělení hmotnosti, zachycení energie, tlumení nebo blokování k nežádoucím účinkům na lidské tělo nebo preventivně působící proti úrazu a při ochranné lidské práci. Vyskytují se též pseudo-pasivní a hybridní exoskelety. Postupně se vyvíjely jejich možnosti působit mobilně nebo pevně, podporované či mobilní (Davies, 2016). Dalším způsobem jejich členění je za pomoci metody ovládání, a to joystickem, senzory, ovládání za pomoci lidské mysli, tlačítka nebo

ovládacími panely. Níže je uvedena výroba exoskeletů z pevných či pružných materiálů se svými specifickými pozitivy i negativy. Exoskelety mají různý účel, od domácností pro tělesně postižené či nemocné osoby, až po stavby, výzkumné instituce, obchodní a výrobní společnosti včetně automobilového průmyslu či vládní a armádní programy (Marinov, 2015).

Exoskelety jsou určeny jak pro horní části těla, tak pro dolní části i pro celé lidské tělo. Podle toho se zaměřují i výrobní společnosti, které se zaměřují na výrobu exoskeletu pro horní části těla. Například francouzská společnost Exhausss vyrábějící exoskelety horní části těla pro zvedání na střední úrovni (viz.Obr.7). Patřila mezi první společnosti ve světovém měřítku, kde prodávala průmyslové exoskelety s využitím také v automobilovém průmyslu. Produkty této společnosti mohou zvedat bezproblémově výrobky a předměty do váhy přibližně 25 kg, ovšem pokračující inovační vývoj zefektivňuje váhové kapacity těchto exoskeletů (Exhausss, 2020).



Zdroj: (Exoskeletonreport,2020)

Obr. 7 Exoskelet „Exhausss“

Mezi další příklady technologického vývoje exoskeletů je EksoVest. Co je plně mechanický exoskelet, který nemá kabely, baterie či elektrické napájení. Je poháněn na pružinách. Tyto začnou pracovat postupně v okamžiku, jak osoba zvedne ruce přibližně do výšky hrudníku. Exoskelet podporuje až 6,8 kg na rameno s tím, že technický a technologický vývoj tohoto exoskeletu kontinuálně pokračuje (Eksovest, 2020). Další typ exoskeletu je zaměřen na nižší části lidského těla. Příkladem je LegX, který umožňuje zaměstnanci opakovaně dřepět po delší dobu snížením síly kolenního kloubu. Je to využitelné ve výrobním segmentu i v automobilovém průmyslu. Exoskelet přenáší váhu přímo na zem a funkčnost je

možné laicky přirovnat k židli. Aktivuje se pouze v poloze podřepu. Nositel necítí exoskelet ve stoje ani při chůzi (LegX, 2020).

Druhým příkladem pro dolní část těla je Hybrid Assistive Limb (ve zkratce HAL) od společnosti Cyberdyne. Tento exoskelet je určen pro lidi trpící postižením dolních končetin. V těchto případech mozek nemůže používat běžné nervové dráhy a nemůže nařídit pohyb nohou. HAL pohybuje nohama nositele v souladu s jeho úmysly. Když se člověk pokusí pohnout tělem, jsou z mozku do svalů posílány různé signály prostřednictvím nervů. Tyto signály unikají na povrch kůže jako bioelektrické signály. HAL čte tyto signály a kompenzuje svalovou sílu dolních končetin a pomáhá člověku při chůzi, vstávání a sezení. Tento exoskelet je uveden na obrázku 8. Stejně jako v předchozích případech probíhá kontinuální inovační a technický vývoj. (HAL, 2020)



Zdroj: (Cyberdyne,2020)

Obr. 8 Exoskelet „HAL“

Nejznámější verze exoskeletu je celotělová s vlivem na celé lidské tělo. Dobrým a známým příkladem je Sarcos Robotics Guardian XO. Tento exoskelet nedovolí člověku cítit váhu až do limitu 90 kg. Technickým i inovačním vývojem se může váhový limit zvyšovat do budoucna. Přenáší váhu až na zem. Používá algoritmus zvaný get-out-of-the-way. Senzory v celém obleku rozpoznávají, jak nositel pohybuje končetinami, a umožňují obleku okamžitě napodobit rychlost, sílu a směr těchto pohybů. Ve výsledku má 20 až 1 zesílení síly do 90 kg, poté se začne snižovat. Níže je Guardian XO zobrazen na obrázku (Guardian XO, 2020).



Zdroj: (Sarcos,2018)

Obr. 9 Exoskelet „Guardian XO“

2.2 Exoskelety a ergonomie

V odborné literatuře i firemní praxi je možné se setkat s množstvím exoskeletů, ale též s jejich různými modifikacemi s ohledem na potřeby jednotlivých firem a specifika jejich výroby, což platí také automobilový průmysl.

Exoskelety s ohledem na část lidského těla

Zahrnují exoskelety pro horní končetiny, které poskytují podporu horní části lidského těla, a to včetně paží, ramen a trupu. Zahrnují také exoskelety pro dolní končetiny, které poskytují podporu nohám, bokům a dolní části trupu. Je vhodné uvést příklad ne přímo z automobilového průmyslu, ale rehabilitační exoskelet od společnosti ReWalk užívaný v rehabilitační medicíně a lze predikovat, že obdobné systémy se objeví i v automobilovém průmyslu. Posledním jsou celotělové exoskelety, které poskytují oporu celému lidskému tělu a jsou tak v podstatě nejsilnějšími exoskelety. O jejich využitím se automobilovém průmyslu uvažuje a jejich vývojem se zabývá například Sarcos Robotics a jiné technologické firmy.

Exoskelety podle konstrukce

Podle tohoto členění je možné uvést tvrdé a klasické exoskelety, které používají tuhé struktury a ovládání. Jsou odolné a mohou poskytnout pro uživatele množství doplňující energetické síly. Měkké exoskelety pak jsou vyrobeny z látek a jiných

měkkých materiálů. Síla se do lidského těla přivádí za pomoci vyhovujících akčních prvků, jako jsou vzduchové silové části nebo kabely v rámci exoskeletu. Jsou pohodlnější, než je tomu v případě klasických exoskeletů, ale neposkytují takové množství dodatečné energie, jako jiné výše členěné exoskelety.

Exoskelety podle způsobu ovládání a technologií

Elektrické exoskelety. Používány jsou elektrická serva či jiné elektrické akční součástky, které jsou určeny k zajištění podpory a vytváření přidané síly pro lidského uživatele. Obvykle jsou jako záložní zdroj využívány baterie, a proto je možné uvést, že mohou být snadno přenosné.

Hydraulické exoskelety využívají hydraulické pohony a jsou výkonnější, než je tomu u elektrického napájení. Vyžadují však větší a složitější zdroje energie, zejména to jsou spalovací motory či vodíkové palivové články.

Plně mechanické exoskelety jsou označovány také jako pasivní exoskelety. Nejsou v nich žádné akční součástky. Místo tohoto podpírají nositele pomocí mechanických vazeb. Podle dosavadních výzkumů mohou některé z těchto konstrukcí exoskeletů snížit zátěž na svalovou aktivitu v rozsahu až 35 %, a tato skutečnost pak umožňuje zaměstnancům pracovat až třikrát déle. V automobilovém průmyslu není vyvíjena tak vysoká zátěž na zaměstnance na montážních linkách a v konečném důsledku je práce efektivnější a není nutné nastavovat větší množství přestávek v pracovní činnosti.

Ostatní exoskelety jsou to méně často využívané exoskelety, které mají akční součástky s palivovými články, ale také slitinami tvarové paměti a pneumatickými součástmi.

Existuje také řada různých aplikačních oblastí, z nichž každá má odlišné požadavky na to, co by od exoskeletu potřebovala. Platí to nejenom pro automobilový segment, ale také pro další výrobní segmenty či segmenty poskytující služby, jako již byla uvedená rehabilitační medicína. Například rehabilitační aplikace jsou vhodnější pro měkká zařízení s nízkou spotřebou energie, která podporují a rozvíjejí přirozené využití svalů nositele, a to například při poškození dolních nebo horních končetin po nehodách. Na druhou stranu by vojenské a stavební aplikace chtěly vysoce výkonné exoskelety, které by zvýšily sílu nositele. Ve stavitelství se pracuje s extrémně

těžkými materiály a posílení lidské síly a efektivitu lidské činnosti je tak vysoce žádoucí.

Z ergonomického hlediska je koncepce podpory lidských pohybů technickými zařízeními již dlouhodobým projektem. Zařízení, jako jsou exoskelety byly úspěšně aplikována v oblasti lékařské péče, a to zejména v oblasti rehabilitační péče a podpory fyzického zdraví zraněných pacientů (Vitečková a kol., 2013). Exoskelety jsou určeny k podpoře osob s muskuloskeletálními zdravotními problémy. Exoskelety se následně úspěšně etablovaly v armádním prostředí a postupně také do oblasti průmyslu, zejména se lze zaměřit na automobilový průmysl (De Looze a kol., 2016). Je také vhodné uvést, že aplikace exoskeletů v průmyslových odvětvích je možné směřovat k udržování nebo ochraně fyzického zdraví zaměstnanců v souvislosti se zlepšováním jejich ergonomických podmínek. U využití exoskeletů se pak toto odvětví a možnosti dále dynamicky vyvíjí a vznikají tak nové možnosti aplikace ve firemní praxi (Schick, 2018).

Požadavky na ergonomické zajištění pracoviště bude v budoucnu představovat významnou součást při zajišťování fyzického zdraví stárnoucí pracovní síly. Zvyšující se věk zaměstnanců je dán demografickými změnami ve společnosti. Z tohoto pohledu je zásadní vyvinout novou ergonomii a související nástroje, protože možnosti jsou v současné době stále ještě omezené (Hensel a kol., 2018). V evropském měřítku jsou oblasti praktického využití exoskeletů značné. V rámci EU je až 30 % pracovních úkolů spojeno s manuální manipulací s materiálem. (Eurostat, 2020). Na obrázku níže je zobrazeno využití exoskeletu na výrobní lince automobilového závodu (viz Obr.10).



Zdroj: (Suitx,2018)

Obr. 10 Exoskelet „ShoulderX“

Je též možné uvést, že v každé evropské zemi je stěhování a přeprava těžkých břemen významnou součástí pracovní náplně. Ze statistik Eurostatu je pak největší zatížení manipulace s těžkými břemeny v Rumunsku, a to až na hodnotě 45 %, což je přibližně polovina rumunské populace. Exoskelety, mimo využití v automobilovém průmyslu, jsou využitelné pro další průmyslová pracoviště, jako jsou dodávky nábytku a nábytkářské firmy, ale také pro pohotovostní služby a nemocnice v souvislosti například s přepravou těžších pacientů. Pro aplikaci exoskeletů bude nutné posoudit všechny předpoklady pro ergonomické řešení na základě technických nebo organizačních opatření a volit takové řešení, které zlepší ergonomické podmínky pracoviště i bez nutnosti upřednostnění exoskeletů (Schick, 2018).

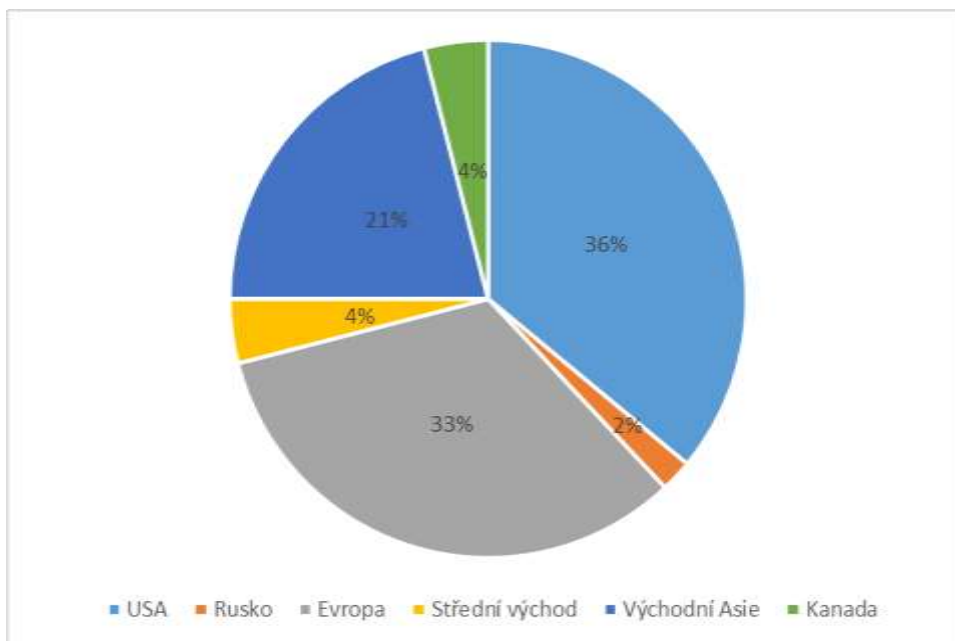
Dosavadní praktická aplikace v průmyslových segmentech a vybraných firmách poukazuje, že využití exoskeletů zvyšuje výkon zaměstnanců a jejich použití může být zajímavější než zaměření na úpravy pracoviště pro zaměstnance. (Baltrusch a kol., 2018) Vzhledem k technickým problémům mají aktivní exoskelety malý praktický význam. Několik analytických studií upozorňuje na problémy týkající se hmotnosti, mechanické konstrukce, podpory a výdrže baterie a konstrukce mechaniky pohonu aktivních exoskeletů (De Looze a kol., 2016). Naproti tomu některé pasivní exoskelety jsou již komerčně dostupné. Nicméně podpora těchto pasivních systémů je omezená, protože zpočátku lze uvolnit pouze některé části těla. Pomoc při těžkých zvedacích úkolech je stále omezena. Zamýšlené použití exoskeletů významně závisí na oblasti jejich použití. Kromě jejich použití z technického hlediska by exoskelety mohly být také použity jako osobní ochranné prostředky nebo lékařské produkty se širšími možnostmi praktického využití. V závislosti na zamýšlených aplikacích je třeba získat různá certifikace. Tyto certifikace silně souvisí s otázkami BOZP v rámci daných pracovišť výrobních firem i firem poskytujících služby, například logistické služby.

3 Analýza současných technologií exoskeletů

Vývoj exoskeletů se v posledních letech vyvíjí díky neustálým inovacím, technickým a technologickým řešením a aplikaci konceptu Industry 4.0. ve výrobních zařízeních nadnárodních společností. Vzhledem k aktuálním událostem lze předpokládat, že do roku 2025 bude mít globální trh s exoskelety v pozitivním scénáři hodnotu přibližně 8,3 miliardy USD a v pesimistickém scénáři přibližně 2,5 miliardy USD. Na rozvoj trhu s exoskelety bude mít vliv také současná pandemie COVID-19 a vyvíjející se poptávka, zejména ve vojenském průmyslu exoskeletů, a také pokračující zájem Číny a Indie o přemístění automobilových společností a jejich montážních linek do těchto zemí. Vzhledem k výše uvedeným prognózám se však odvětví exoskeletů stále vyvíjí. Částečné úspěšné použití v rehabilitačních exoskeletech vedlo k možnosti jejich použití v jiných segmentech, například v automobilovém průmyslu. Stále však existuje relativně velký potenciál pro použití exoskeletů a zavedení nových technologií v jiných průmyslových odvětvích. Další vývoj v roce 2020 naznačuje, že exoskelety budou v automobilovém průmyslu stále důležitější.

3.1 Největší výrobce exoskeletů

Exoskelety jako uživatelsky nositelná zařízení, která spolupracují s uživatelem a fungují jako zesilovače, které zvyšují, posilují a obnovují lidský výkon. Rostoucí poptávka po podpůrných technologiích, zejména ve zdravotnictví pro ortopedickou rehabilitaci, zvyšující se výskyt mrtvice a rostoucí investice sektoru obrany do exoskeletu ovlivňují růst tohoto trhu také v automobilovém segmentu, a to do takové míry, že i automobilové firmy se samostatně zabývají vývojem a postupnou implementací exoskeletů do vlastních výrobních linek. Globální trh s exoskelety rostl v roce 2019 na 48,4 % a do roku 2027 dosáhne 11,4 miliard USD v celosvětovém měřítku. Největšími hráči na trhu jsou USA, Evropa a Východní Asie (viz Obr.11) Asijsko-pacifický trh vedený Austrálií, Indií a Jižní Koreou dosáhne do roku 2027 30,6 milionu dolarů. Tato podkapitola uvádí deset nejdůležitějších a nejlepších globálních společností (Meticulous reserch,2020):



Zdroj: (Wearable robotics,2018)

Obr. 11 Podíl regionů – výrobců na trhu exoskeletů

Parker Hannifin Corporation

Parker Hannifin je předním výrobcem pohybových a řídicích technologií a systémů a poskytuje precizně navržená řešení pro širokou škálu mobilních, průmyslových a leteckých trhů. Společnost působí ve dvou obchodních segmentech, konkrétně v Diversified Industrial a Aerospace Systems.

Otto Bock HealthCare GmbH

Společnost Otto Bock HealthCare vyrábí ortotická, protetická a rehabilitační řešení pro lidi s tělesným postižením. Společnost poskytuje umělé končetiny a výztužné komponenty. Produktové portfolio společnosti zahrnuje C-Leg, počítačové koleno, které adaptivně mění svou pasivní rezistenci tak, aby vyhovovalo různým chůzím pacienta, a Michelangelo Hand, plně kloubová robotická protéza ruky. Společnost má síť distribučních a servisních společností ve více než 50 zemích. Některé z dceřiných společností společnosti Otto Bock zahrnují Freedom Innovations, LLC, Otto Bock HealthCare LLP, Otto Bock Benelux B.V. a BionX Medical Technologies, Inc.

Lockheed Martin Corporation

Lockheed Martin je globální letecká, obranná, bezpečnostní a vyspělá technologická společnost. Společnost poskytuje americkým i mezinárodním zákazníkům produkty a služby, které mají obranné, civilní a komerční aplikace,

příčemž jejich hlavními zákazníky jsou agentury vlády USA. Společnost působí ve čtyřech obchodních segmentech, jmenovitě Aeronautics, MFC, RMS a Space.

Ekso Bionics Holdings, Inc.

Ekso Bionics je společnost, která navrhuje, vyvíjí a prodává technologii exoskeletů, která má v současné době aplikace na zdravotnických a průmyslových trzích. Společnost vyvíjí a vyrábí poháněné exoskelety, které lze připevnit jako nositelné roboty ke zvýšení síly, mobility a vytrvalosti vojáků a paraplegiků. Tyto exoskelety mají řadu aplikací na lékařském, vojenském, průmyslovém a spotřebitelském trhu.

Myomo, Inc.

Myomo je nositelná lékařská robotická pomůcka a stejně pojmenovaná společnost, která nabízí mobilitu osobám trpícím neuromuskulárními poruchami a paralýzou horních končetin. Společnost působí jako společnost v oblasti lékařské robotiky. Společnost Myomo vyvíjí a prodává ramenní výztuhy, aby obnovila funkci ochrnutých a oslabených paží a rukou jednotlivců, kteří utrpěli mrtvici, míchu a poranění nervů.

Hyundai automotive Group

Hyundai Motor vyrábí, prodává a exportuje osobní automobily, nákladní automobily a užitková vozidla. Společnost také prodává různé automobilové díly a provozuje servisní střediska pro opravy automobilů po celé Jižní Koreji. Společnost navíc vyvíjí svůj vest Exoskelet (VEX), nositelný robotický exoskelet vytvořený na pomoc průmyslovým pracovníkům, kteří tráví dlouhé hodiny prací v režijních prostředích. Společnost působí ve třech obchodních segmentech, jmenovitě Vehicle, Finance a Other.

Honda Motor Co. Ltd

Honda Motor je výrobcem automobilů, motocyklů a energetických zařízení. Společnost působí ve dvou obchodních segmentech, jmenovitě Motocyklový obchod a Power Product & Other Businesses. Exoskeletové podnikání společnosti Honda spadá do segmentu energetických produktů a dalších podniků. Se svými dceřinými společnostmi a silnou distribuční sítí má společnost své zastoupení v Severní Americe, Japonsku, Evropě, Asii a dalších regionech. Některé z dceřiných

společností společnosti Honda Motor zahrnují Acura, Honda Motorcycle Thailand, Honda Access a Honda R&D.

SuitX Inc.

Společnost suitX, založená v roce 2012 se sídlem v Kalifornii, vyvíjí robotické exoskelety pro lékařský a průmyslový průmysl. Společnost vyvinula Phoenix, nejlehčí a nejpokročilejší lékařský exoskelet na světě, jehož cílem je pomoci lidem s poruchami pohyblivosti. Jeho další produkt – MAX (Modular Agile Exoskeleton) zvyšuje produktivitu a současně snižuje riziko zranění snížením svalové zátěže zaměstnanců pracujících v průmyslovém prostředí. Exoskeleton frameX třetí generace dokazuje schopnost suitX v rychlém vývoji inovativních technologií exoskeletů.

EksoBionics Holdings, Inc.

Ekso Bionics je společnost, která navrhuje, vyvíjí a prodává technologii exoskeletů, která má v současné době aplikace na zdravotnických a průmyslových trzích. Společnost vyvíjí a vyrábí poháněné exoskelety, které lze připevnit jako nositelné roboty ke zvýšení síly, mobility a vytrvalosti vojáků a paraplegiků. Tyto exoskelety mají řadu aplikací na lékařském, vojenském, průmyslovém a spotřebitelském trhu.

Bionik Laboratories Corporation

Bionik Laboratories je společnost v oblasti zdravotnických zařízení a robotiky. Společnost se zaměřuje na poskytování rehabilitačních řešení a vývoj transformačních technologií a řešení pro jedince s neurologickými poruchami, se specializací na návrh, vývoj a komercializaci technologií fyzické rehabilitace, protetiky a asistovaných robotických produktů.

3.2 Využití exoskeletů v průmyslu

Exoskelety poskytují svobodu pohybu a snižují zátěž na různé typy svalů, což umožňuje pracovníkům provádět různé úkoly. Jakékoli podpůrné a výkonové exoskelety lze použít v různých částech výrobních závodů pro různé operace.

Je třeba si uvědomit, že hlavními zákazníky pro výzkum a vývoj v této oblasti jsou tradičně vojenská oddělení a společnosti působící ve vojenském průmyslu. Většina vývoje exoskeletů se tedy odehrává ve směru vojenského využití a až na druhém místě je jejich orientace pro průmyslové potřeby.

Exoskelet ONYX od společnosti Lockheed Martin je určen pro vojenské použití. Novinka usnadní pohyb armády na velké vzdálenosti (viz Obr.12). Samotné zařízení váží 6,4 kg a může pracovat samostatně až 8 hodin s nainstalovanou baterií 2,7 kg nebo 16 hodin s baterií 5,4 kg. Zařízení se automaticky přizpůsobuje podle stylu pohybu osoby, typu terénu, který má být překročen, a povahy přepravovaného nákladu.



Zdroj: (Cision,2018)

Obr. 12 Exoskelet „ONYX“

NASA představila exoskelet X1, který bude v budoucnu pomáhat astronautům navigovat na povrchu Marsu (viz Obr.13). Vynález má navíc zcela „pozemské“ použití – oblek vrátí postiženým s ochrnutými dolními končetinami schopnost chodit. Část technologie pro exoskelet byla vypůjčena z jiného projektu NASA – androida Robonaut 2, ve kterém byly vyvinuty humanoidní roboty, které pomáhají astronautům na Mezinárodní vesmírné stanici. Současné zařízení váží 26 kilogramů a má speciální postroje pro připevnění k nohám, zádkům a ramenům člověka.



Zdroj: (Trente,2014)

Obr. 13 Exoskelet „X1“

Vývoj exoskeletů pro zvedání závaží se také stal trendem posledních let. Jedná se o širokou kategorii zařízení, která jsou navržena tak, aby usnadňovala pracovní podmínky lidem, kteří neustále zvedají, přemisťují a drží těžké předměty. V závislosti na typu (aktivní, pasivní) a způsobu jejich nošení mohou takové exoskelety snižovat únavu při opakovaných pracích nebo umožňovat jedinému pracovníkovi zvedat těžká břemena. Robo-Mate je zařízení určené pro výrobní profesi, které pomáhá pracovníkům v obtížných a únavných situacích (viz Obr.14). Může desetkrát snížit úsilí potřebné ke zvedání břemena chrání páteř před náhlými pohyby a extrémními zátěžemi. Určité pohyby a zvedání břemen však mohou způsobit velké škody: na pracovišti se v Evropě vyskytuje více než 25 % poranění zad.



Zdroj: (Mateos,2017)

Obr. 14 Exoskelet „Robo-Mate“

V souvislosti s automobilovým průmyslem pak v srpnu 2018 automobilka Ford uvedla zavedení 75 EksoVests jako pasivní exoskelet horních končetin. Tyto exoskelety byly uvedeny do 75 automobilových závodů firmy Ford po celém světě. Tento krok firmy Ford je možné chápat jako největší přijetí exoskeletů v automobilovém průmyslu. Německý výrobce umělých končetin Ottobock v září 2018 oznámil, že jedná s firmou Volkswagen o zavedení exoskeletu s označením Paexo, což je další pasivní exoskelet horních končetin. Tyto exoskelety mají být zavedeny do výrobních závodů firmy Volkswagen a prvotně byly testovány třiceti zaměstnanci ve výrobním závodě v Bratislavě na Slovensku. Oba přístupy uvedených automobilek řeší stejné problémy na pracovištích automobilových provozů. Zaměstnanci musí při práci na spodní části automobilu při jejich montáži sáhnout podle měření automobilek až tisíckrát denně a dát tak ruce nad hlavu. Pasivní exoskelety berou část váhy z ramene zaměstnanců, což jim z ergonomického hlediska umožňuje pracovat bez rizika poranění horní části těla. Exoskeletový průmysl potřebuje ke svému úspěchu další inovace a moderní technologické a technické řešení. Obdobně jako robotizace, tak stejně tak využití exoskeletů bude souviset s jejich pokračující se zvyšující využitelností pro pracovních úkolech, typicky pak v automobilovém průmyslu. Je též možné uvést, že praktické využití exoskeletů bude souviset s rozvojem a uplatňováním koncepce Průmysl 4.0.

Hlavním pozitivem exoskeletů je jejich využití s kolaborativními roboty. Snižují problémy s ergonomií na pracovištích výrobních firem, ale také například logistických firem. Ergonomické problémy na pracovištích jsou hlavní příčinou muskuloskeletálních poranění. Jedná se o častý typ poranění zaměstnanců a může mít negativní dlouhodobé zdravotní dopady jak na daného zaměstnance, tak pro danou firmu s ohledem na následnou nemocnost těchto zaměstnanců či jejich odchod z dané pracovní pozice ze zdravotních důvodů. Z ergonomického hlediska je vhodné nejprve na pracovišti dané firmy provést kontrolu ergonomie. Ke zlepšení ergonomických podmínek na pracovišti automobilových firem je vhodné nejenom využití exoskeletů, ale také automatizace a robotizace a dalších prvků Průmyslu 4.0. Exoskelety tak mohou představovat praktické řešení problémů s ergonomií na pracovištích firem, stejně jako kolaborativní roboti.

Industrializace, technický a technologický rozvoj vedly postupně k vývoji metod, nástrojů a vybavení od ruční výroby až po zavedení továrních systémů, které vznikaly v období 19. století. Takový proces v dnešním měřítku označujeme jako průmyslovou revoluci. V důsledku průmyslové revoluce byly položeny základy standardizace a zavedením výroby vyměnitelných dílů pak pokračovala sériová výroba v průmyslových odvětvích se značnou disponibilní pracovní silou. (Bellgran, Säfsten, 2010) Na začátku 20. století pak společnost Ford Motor Company byla klíčovým přispěvatelem k rozvoji masové výroby zavedením montážní linky ve svém závodě Highland Park. Pohybem podvozku T-Fordu přes různé stanice, kde mohli pracovníci postupně sestavovat různé komponenty, se zvýšila produktivita zaměstnanců, snížil se čas výroby a množství produkce se zvýšilo. Hromadná výroba a montážní linka zavedly spolupráci automatizace a manuální práce, která ve Velké Británii během 60. let 20. století vyvolala zájem o výzkum spokojenosti zaměstnanců s pracovními podmínkami a byly zahrnuty i ergonomické aspekty práce na pracovišti. (Waterson, Eason 2009).

Je možné uvést, že zaměstnanci ve výrobě vykazovali nízkou spokojenost s prací kvůli opakování jejich pracovních míst v průmyslových podnicích, což vytvářelo špatné pracovní klima. Na základě toho se objevilo nové zaměření v ergonomii a systémové perspektivě, kde chápání vztahů mezi člověkem a technologií a organizačními vlivy byly hlavními a klíčovými pojmy (Berglund, Eklund, 2016). Merriam-Webster definuje ergonomii jako „*aplikovanou vědu zabývající se návrhem a uspořádáním věcí, které lidé používají, aby lidé a věci interagovali co nejefektivněji a nejbezpečněji – nazývají se také jsou specifické biotechnologie, lidské inženýrství, lidské faktory.*“ (Merriam-Webster, 2018). Ve Švédsku jsou společnosti řízeny švédským zákonem o pracovním prostředí, aby předcházely úrazům, úrazům a dalším nemocem na pracovišti (Švédský úřad pro pracovní prostředí, 2020). Dostupné statistiky uvádí, že až jedna třetina většiny případů pracovních úrazů bez postižení zahrnuje ruční manipulaci. Popisují ruční manipulaci jako používání fyzické síly k provádění různých úkolů, jako je zvedání, přenášení, tlačení nebo tahání. Bohgard (2009) vysvětluje, že během manuálních úkolů, které vystavují člověka opakovanému zatížení, existuje vysoké riziko poranění. Autor srovnává kmenová poranění s muskuloskeletálními poruchami (dále jako MSD), což jsou

různá poranění způsobená opakovanou zátěží vystavenou lidskému tělu a lze je také označit jako CTD (kumulativní traumatické onemocnění či poruchy).

K MSD související s prací dochází nejen v důsledku opakované ručního manipulace s břemeny, ale také častým opakováním pracovních pohybů a pozic během pracovních úkolů v rámci pracoviště. Jedním z průmyslových odvětví, které čelí vysokému podílu MSD, je automobilový průmysl, který měl v letech 2009 až 2013 nejvyšší počet nemocí z povolání způsobených manipulací s částmi automobilů na výrobních linkách. (Ferguson a kol., 2011) Jedním z řešení zavedených v automobilovém průmyslu ke snižování pracovních úrazů je zařízení pro naklápění vozidla, které umožňuje otáčení, naklánění, spouštění a zvedání vozidla, takže zaměstnanci na výrobní lince mohou provádět úkoly lépe, ergonomičtěji a efektivněji. (Ferguson a kol., 2011). V roce 1985 společnost Volvo vyvinula nový výrobní závod ve Uddevalle ve Švédsku a zavedla nové použití naklápěcího zařízení a poté vlastním šetřením v rámci firmy zjistila mnohonásobný pokles tělesných zranění a pracovních úrazů zaměstnanců.

Lze očekávat, že do budoucna budou vyvíjena nová technologická řešení, která pomohou zaměstnancům při manuální manipulaci na výrobní lince a předcházení úrazům a problematika praktického využití exoskeletů je velmi relevantní. Exoskelety jako nositelné mechanické obleky v automobilovém průmyslu jsou určeny k tomu, aby poskytly uživatelům navýšení jejich síly, zvýšenou odolnost při opakovaných úkolech a umožňovaly pohyblivost (Wang a kol., 2017). Koncepty exoskeletů lze vysledovat až do roku 1890, kdy ruský vynálezce Nicholas Yang patentoval „*aparát pro usnadnění chůze, běhu a skákání*“, jak bylo uvedeno výše. Zařízení bylo na boku nohou s pružinami, jejichž cílem bylo snížit únavu pro svého nositele. Z průmyslového využití exoskeletů pak je možné hodnotit jejich zavedení v automobilové firmě Ford Motor Company, kdy při zavedení EksoVest a byl zaznamenán až 83 % pokles během celoročního sběru dat týkající se pracovních úrazů na výrobních linkách firmy. (Ford, 2020) Poruchy svalové a kosterní soustavy jsou jednou z nejčastějších klasifikací úrazů zaměstnanců v automobilovém průmyslu. Firmy úspěšně předcházely těmto pracovním úrazům na základě inovací a moderních technologií zaváděných na pracoviště firmy.

Exoskelety na základě nových technologií a inovací pak se dnes ve výrobním průmyslu přímo nepoužívají a nezkoumají. Vzniká ale nutnost zaměřovat se na

výzkum a inovace ekoskeletů, a to v souladu s potřebami jednotlivých průmyslových segmentů. Ve vývoji je nutné zaměřit se zejména pozitivní vlastnosti exoskeletů a na hlavní výzvy v každé průmyslové oblasti, a to včetně automobilového průmyslu. Například Wang a kol. (2017) označuje exoskelety jako pomocnou přenosnou robotiku, která je určena k aplikaci mechanické energie připojením exoskeletového zařízení k tělu zaměstnance. De Looze a kol. (2016) podobným způsobem popisuje exoskelety jako „*nositelnou, externí mechanickou strukturu*“ určenou ke zvýšení fyzického výkonu uživatele – zaměstnance. Oba přístupy aktivizují exoskelety ve dvou kategoriích; aktivní a pasivní, jak již bylo uvedeno výše. Aktivní exoskelety jsou navrženy tak, aby používaly nějaký zdroj energie, jako jsou motory, hydraulika nebo pneumatické zařízení, k pohybu částí exoskeletů ve spojení s uživatelem. O tomto z ergonomického hlediska je pojednáno již výše.

Pasivní exoskelety popsal použití bezmotorových doplňků, jako jsou pružiny a tlumiče, na podporu pohybů a držení těla uživatele. Wang a kol. (2017) a De Looze a kol. (2016) oba dále kategorizují exoskelety ve třech různých kategoriích v závislosti na tom, které části těla má daný exoskelet pomoci a zefektivnit činnost zaměstnance. V návaznosti na existující exoskelety byly provedeny výzkumy například u exoskeletu HAL a dosavadní studie ukázaly, že uživatelé užívající tento typ exoskeletu zlepšili svou chůzi a rychlost chůze. Nedávný výzkum průmyslového exoskeletu označovaného jako PLAD (Personal Lift Assist Device), Happyback, The Bendezy, BNDR (Bending Non-demand re-turn) a Laevo se zaměřuje již výhradně na oblasti průmyslu, a to včetně automobilového průmyslu. Komerně dostupné je v současnosti pouze Laevo a podle tohoto je dalších 26 různých exoskeletů, které jsou určeny pro průmyslové použití. V současné době jsou k dispozici i inovativní verze HAL pro lékařské i nelékařské aplikace (Cyberdyne, 2020).

Levitate Airframe

Je to exoskelet vyvinutý firmou Levitate Technologies Inc. a v českém překladu je známý tento exoskelet jako drak. Jedná se o lehký pasivní exoskelet, který je určený k úlevě od statistických pracovních úkolů, které jsou realizovány se zvednutými rameny zaměstnance i pracovních úkolů, které vyžadují opakované pohyby ramen. (Levitate Technologies, 2020) Firma Levitate Technologies uvádí ve svých interních materiálech, že vzduchové rámy přenášejí váhu vlastní paže uživatele z horní části těla, jako jsou ramena, krk a záda uživatele – zaměstnance. Specifikace na

webových stránkách firmy i v interních materiálech firmy uvádějí, že úroveň námahy na uživatele zvyšuje produktivitu až o 80 %, zlepšuje kvalitu práce snížením svalového stresu a únavy a omezuje vystavení zaměstnance muskuloskeletálním poruchám. Na obrázku 15 je tento exoskelet vyobrazen. Jak je patrné, je nošen na horní části těla s polstrováním ramen a popruhy kolem pasu s úchyty z ramene určenými pro horní paže daného uživatele.



Zdroj: (Levitate technologies,2015)

Obr. 15 Exoskelet „Levitate“

Spada a kol. (2018) realizovali studii týkající se tohoto typu exoskeletu a z jejich závěrů vyplynulo, že se jedná o exoskelet vhodný pro automobilový průmysl. Studie byla realizována na třech daných pracovních úkolech a tyto úkoly provádělo 29 operátorů bez použití exoskeletu a s použitím exoskeletu Levitate. Jednalo se o jeden statický přidržovací úkol, opakovaný ruční manipulační úkol a jeden přesný pracovní úkol. Po testu bylo také provedeno kognitivní hodnocení, aby se pochopilo, jak uživatelé interakci vnímali. Výsledky studie ukázaly průměrný nárůst v době trvání 31,1 % během statického úkolu s exoskeletem. Výsledky také ukázaly, že 90 % operátorů ve studii zvýšilo svůj přesný výkon během nošení exoskeletu. Jediným testem bez jakéhokoli zvláštního rozdílu byl úkol ruční manipulace, který nevedl k velkým rozdílům v čase nebo výdrži, ale operátoři poznamenali, že exoskelet pomohl se zvedáním břemene během pracovního úkolu. (Spada a kol., 2018)

Laevo Exoskeleton

Laevo je pasivním exoskeletem a jeho účelem je pomoci uživatelům při úkolech ohýbání dopředu a předcházení poranění zad tím, že se váha horní části těla

přenáší přes hrud', jak je uvedeno na obrázku 16 a přenáší se kovovým rámem dolů na nohy uživatele. (Laevo Exoskeleton, 2020)



Zdroj: (Laevo,2016)

Obr. 16 Exoskelet „Laevo“

V současné době Laevo nabízí svou nejnovější verzi nazvanou LaevoV2 a uvádí se, že snižuje zátěž na záda uživatele o 40 % (Laevo Exoskeleton, 2020). Bosch a kol. (2016) použili dřívější verzi exoskeletu Laevo ve studii, aby zjistili, jak by zařízení mohlo potenciálně prospět uživateli, pokud jde o svalovou aktivitu, vytrvalost a nepohodlí při pracovní činnosti. Studie se sestávala z osmnácti účastníků, kteří prováděli dva úkoly bez a s Laevo exoskeletem, jeden úkol simulující montážní úkol a jeden statický úkol ohýbání vpřed. Bosch a kol. (2016) zjistili, že aktivita zadního svalu při montážním úkolu byla s využitím exoskeletu snížena až na 38 %. Snížená svalová aktivita se také odrazila ve sníženém nepohodlí, které účastníci zaznamenali. Hlavní rozdíl, který studie odhalila, spočíval v tom, že doba výdrže během úlohy statického ohýbání dopředu byla třikrát delší, když účastníci měli na sobě exoskelet Laevo. Bosch a kol. (2016) také odhalili některé negativní účinky z používání exoskeletu Laevo. Účastníci studie zaznamenali zvýšení nepohodlí na hrudi i nepohodlí v podpaží díky rámu exoskeletu. Bylo také zjištěno, že exoskelet způsobil nadměrné prodloužení kolen a exoskelet tlačil zpět stehna a bylo diskutováno, že by to mohlo představovat potenciální zdravotní riziko pro nohy daného uživatele (Bosch a kol., 2016).

ATOUN exoskelet

ATOUN Inc. je japonská společnost, která má tři dostupné typy exoskeletů a tyto jsou uvedeny na obrázku níže. Jedná se o model A, model AS a model Y (ATOUN Inc., 2020).



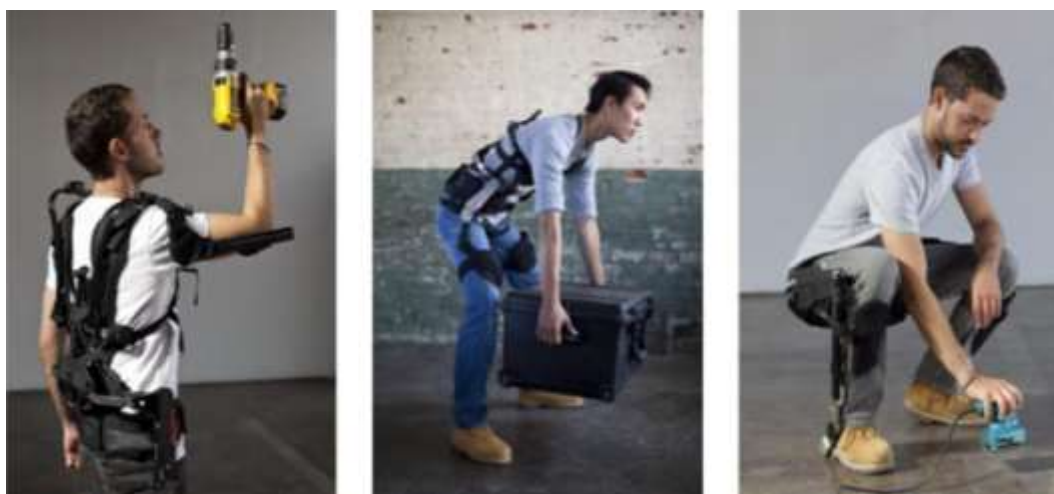
Zdroj: (Exoskeleton Exploration,2018)

Obr. 17 Exoskelet „Atoun“

Firma ATOUN Inc. uvádí informace o těchto exoskeletech v rámci svých interních materiálů a na svých webových stránkách. Model A je aktivní a je určen pro horní část těla v pase a dolní části zad, který má uživatelům pomoci při zvedání a přenášení předmětů hýbáním stehen a horní části těla během pohybů v ohybu, aby ulehčil spodní části pasu. Podle specifikace produktu je uvedeno, že model A váží 6,7 kg a jeho provozní doba je přibližně osm hodin. Model AS je doplňkovým prvkem modelu A, který poskytuje zvláštní podporu paží připojením dvou pásů z ruky k dalšímu kusu rámu připevněnému k zadní části exoskeletu přes ramena (ATOUN Inc., 2020) Model Y je také aktivní exoskelet dolní části těla určený ke zvedání a přenášení předmětů, podobný modelu A, ale podle interních informací firmy ATOUN je model Y o 40 % lehčí, ale má pouze čtyři hodiny provozu. A podle specifikací má Model Y označení CE podle bezpečnostních předpisů EU a odpovídá globálním bezpečnostním standardům pro servisní roboty ISO13482. Firma ATOUN má také ve vývoji několik prototypů, ZUI, což je exoskelet horní části těla, který podporuje paže během elevace, a TABITO, který je aktivním exoskeletem dolních částí těla pro nohy určené k podpoře chůze (ATOUN Inc., 2020).

SuitX exoskelet

SuitX byl vytvořený exoskelet, a to jako součást US Bionics, což je americká společnost se čtyřmi typy řešení exoskeletů určená pro průmyslová odvětví. Jedná se o BackX, pasivní exoskelet horní části těla pro záda; LegX, pasivní exoskelet dolní části těla pro nohy; ShoulderX, pasivní exoskelet pro paže na tělo; a MAX (Modular Agile eXoskeleton), celotělový exoskeleton, který kombinuje BackX, LegX a ShoulderX do jednoho kompletního exoskeletu (SuitX, 2020). Obrázek 18 ukazuje tři standardní exoskelety, které se používají v průmyslové praxi..



Zdroj: (Exoskeleton Report,2016)

Obr. 18 Exoskelet „SuitX MAX“

Podle interních materiálů firmy je BackX určen k podpoře uživatelů během zvedání, ohýbání a dosahování přenášením břemen ze zad na stehna. Podle studie realizované na U.C. Berkeley a U.C. San Francisco v Kalifornii bylo zjištěno až 60 % snížení svalové aktivity ve čtyřech oblastech dolní části zad při nošení BackX. LegX, jak je popsáno na webových stránkách SuitX, je vhodný pro pracovní úkoly, které vyžadují opakované nebo delší časové období. LegX má také nastavení, které umožňuje, aby byl LegX v pevné poloze, která drží váhu uživatelů při dřepu do konkrétní výšky. Model ShoulderX je popsán firmou SuitX k přenosu zátěží v pažích a ramenou během pracovních úkolů se zvýšenými pažemi na boky uživatelů, kde je namontován rám exoskeletu (SuitX, 2020).

EksoVest exoskelet

EksoVest jako exoskelet vytvořila firma EksoWorks, která je součástí Ekso

Bionics. Je to pasivní exoskelet horní části těla určený pro pracovní úkoly vyžadující zvednutí paže (Ekso Bionics, 2020). Exoskelet je vyobrazený na obrázku 19, je připevněn k horní části paží a dolní části zad, což při pracovních úkolech nad hlavou přenáší zatížení paží z ramen na rám na zádech. EksoVest byl vytvořen prostřednictvím spolupráce mezi firmami EksoWorks a Ford Motor Company a zaveden ve dvou amerických továrnách a během celoročního měření bylo zjištěno, že došlo k 83 % snížení počtu úrazů na pracovišti a k optimalizaci času mimo práci (Ford Company, 2020). Kim a kol. (2018) ve své studii aplikovali exoskelet EksoVest ke zhodnocení nepohodlí, svalové aktivity a pracovního výkonu prostřednictvím simulovaného vrtacího úkolu a montážního úkolu. Výsledky studie neprokázaly žádné významné nepohodlí, maximální snížení svalové aktivity o 45 % a 20 % zkrácení doby dokončení úkolu vrtání. Při nošení exoskeletu však došlo během simulace cvičení při vrtání do materiálu k většímu počtu chyb. (Ekso Bionics, 2020)



Zdroj: (Rhino assembly,2018)

Obr. 19 Exoskelet „EksoVest“

3.3 Využití exoskeletů v automobilovém průmyslu

Skutečně praktické výzkumy a aplikace na vybraných automobilových linkách automobilových firem byly realizovány od roku 2018. Za následující dva roky se počet exoskeletů v automobilových závodech zvýšil z několika desítek na téměř tisíc a tento trend nevykazuje žádné známky zpomalení, naopak je poměrně dynamický a počet praktických aplikací exoskeletů se zvyšuje. Přesný počet aktivních a vyhodnocených instalací nositelných zařízení není přesně známý, ale jsou doloženy

příklady praktické aplikace využití konkrétních modelů exoskeletů. Na konferenci Wearable Robotics Association Conference, která se konala v březnu 2019, vyšlo najevo, že mezi společnostmi BMW, Ford, Honda, Nissan, Toyota a Volkswagen se používá 585 zařízení typu exoskeletů. Kromě šesti výše uvedených společností existuje nejméně tucet výrobců automobilů, kteří v současné době používají nebo testují exoskelety na výrobních linkách.

Jedním z aspektů, který usnadňuje rychlé šíření exoskeletů v automobilovém průmyslu, je to, že ergonomičtí a výrobní inženýři na každém pracovišti mohou vzájemně komunikovat. Ve výsledku je v současnosti aktivní alespoň jedna automobilová exoskeletová výzkumná ergonomická skupina. V těchto skupinách profesionálové od konkurenčních výrobců automobilů otevřeně diskutují o svých zkušenostech s exoskelety. Tyto kombinované znalosti se využívají ve prospěch zaměstnanců v automobilové výrobě po celém světě. Automobilové firmy očekávají od pasivních exoskeletů zejména dlouhodobé snížení poranění ramen zaměstnanců a páteře, automobilové firmy exoskelety využívají v kontextu snížení úrazů zaměstnanců a různých jiných traumatických událostí pro zaměstnance. Problémem je pomalé hromadění únavy v těle zaměstnance jedinou událostí, která nakonec způsobí u zaměstnance pracovní neschopnost nebo zranění. K únavě v těle zaměstnance dochází v případech, když má zaměstnanec méně času na zotavení z každodenních rutinních pracovních úkolů než potřebuje. Zůstává v mezích automobilové výroby a dochází k tomu, když opotřebením každodenní výrobní směny překonává dobu zotavení zaměstnance každý den. Postupem času se zvyšuje únava a zaměstnanec je stále více náchylný ke zranění.

Další výhodou pasivních exoskeletů v automobilových závodech je potenciál pro snížení chyb při zpracování. Když se tělo začne během pracovního dne unavovat, může to kromě fyzické únavy vést i k psychické únavě. Nejlépe zdokumentovaný příklad exoskeletu snižujícího chybu při pracovních činnostech pochází z případové studie Professional Safety Journal of The American Society of Safety Professionals z března 2019 je uváděna případová studie, která ukazuje 86 % zlepšení zdravotní kondice s využitím vysoce kvalitních Leviate Airframe exoskelet v komparaci s užitím pro zaměstnance bez Levitate Airframe, jako exoskeletu pasivní podpory ramen během pracovních činností rutinní povahy, jako je svařování a simulace svařování. Je důležité si uvědomit, že svařovací simulátor nebyl nikdy navržen s

ohledem na exoskelet, takže v testovacím postupu nedošlo k vlastní odchylce. Stejně tak je obecně tato skutečnost aplikovatelná více do výrobních firem i rámcově i do automobilového průmyslu na výrobní linky, kde lze realizovat svařování.

Závody na výrobu automobilů se snaží vytvořit bezpečnější pracovní prostředí snížením únavy při konkrétních rutinních úkolech na výrobní lince a potenciálním snížením psychické únavy a chyby při zpracování. K dosažení tohoto cíle používají tři typy pasivních exoskeletů, a to bez napájení, exoskelety jako nositelná zařízení, které provádí fyzickou práci za vzájemného propojení lidské činnosti a mechanických částí propojených s tělem zaměstnance. Dále pak exoskelety na podporu ramen, které podporují paže na úrovni hrudníku nebo nad ní, kyčelní exoskelety, které poskytují oporu zad při ohýbání dopředu, speciálně upravená ergonomická pracovní křesla, která se mohou zafixovat do polohy při práci v podřepové poloze od země.

Na první pohled se to nemusí zdát zjevné, ale automobilové výrobní linky jsou skutečně prakticky optimálním testovacím místem pro exoskelety. Výrobní linky mají krátké doby cyklu, každé tři až šest minut je třeba dokončit nový automobil nebo nákladní vůz. I při změně úkolů každé dvě hodiny bude mít zaměstnanec během dne mnoho opakování stejných pohybů. Toto je optimální prostředí pro průmyslové roboty a nositelné roboty, jako jsou exoskelety, které mohou mít další dodatečné technické řešení a funkce. Krátká doba výrobního cyklu není jedinou podmínkou, která odlišuje automobilový závod od jiných průmyslových areálů. Automobilové linky jsou vybaveny výrobními inženýry, kteří mohou pomoci při hodnocení a správném používání exoskeletů. Automobilové výrobní linky představují uzavřené, čisté a kontrolované prostředí, zejména ve srovnání s konstrukčními podložkami nebo jinými technickými řešeními.

To neznamená, že exoskelety se v automobilovém průmyslu prosazují z praktického hlediska jednoduchým způsobem. Hotová jednotka – automobil musí být uvedena každých pár minut. Uvolnění či nesprávná funkčnost jednoho exoskeletu u zaměstnance během pracovního dne, prakticky způsobí zpoždění několik minut, což vede ke ztrátě výroby v řádu tisíců dolarů. Pasivní exoskelety mají podporu a příznivé prostředí pro to, aby se jim dařilo na výrobní lince automobilů, ale také je třeba podávat relevantní pracovní výkony, které jsou sledované. Většina pracovních úloh, které lze snadno automatizovat, již průmyslové roboty používají. Pro ostatní je

kombinace lidského oka, obratnosti a rozhodování stále mnohem nákladově efektivnější než nejlepší robot a systém rozpoznávání zraku. Automobilové závody vyžadují lidský kontakt a budou v nich pokračovat po mnoho dalších desetiletí. Pasivní exoskelety v automobilovém průmyslu jsou příslibem pro zaměstnance ve výrobě, že budou bez zranění a v dobrém zdravotním stavu a jejich práce bude efektivní s optimální mírou výkonnosti.

V rámci této podkapitoly je možné se zaměřit na hodnocení konkrétních případových studií automobilových firem, které se rozhodly ve svých výrobních prostorách pro své zaměstnance exoskelety aplikovat. Níže jsou uvedeny konkrétní případy využití exoskeletů v automobilovém průmyslu.

Nissan. Společnost Nissan Motors Ibérica v tomto období dokončila testovací fázi průkopnického projektu exoskeletu Levitate (viz Obr.20). Následně pak exoskelety do výrobních linek realizovala integrací do výrobních linek v barcelonském závodě Zona Franca. Externí exoskeletová zařízení pomáhají snižovat namáhání normálně působící na svaly liniových pracovníků u výrobních linek až o 60 %, snižují riziko pracovních úrazů a zvyšují celkovou pohodu zaměstnance, zejména co se týká rutinní práce na výrobních linkách a jiných částech výrobních závodů automobilky. Katalánský klastr automobilového průmyslu (CIAC) sponzoruje projekt zavádění exoskeletů do automobilového průmyslu, jehož se účastní také Eurecat Technology Center a Katalánská polytechnická univerzita (UPC).

Společnost Nissan Spain umožnila rozsáhlé testování exoskeletů ve skutečném výrobním prostředí a vyzkoušela pět různých modelů, které podporují nohy, ramena a záda od začátku roku 2018. Zpětná vazba od 14 zúčastněných zaměstnanců pomohla společnosti Nissan identifikovat dva modely nabízející nejnižší hmotnost, nejvyšší úroveň a nejlepší výkon s celkově cenovou dostupností realizace výroby a implementace. Tyto dva modely, dále testované v období od května do července 2019, poskytují optimální podporu ramen pracovníkům provádějícím režijní úkoly během významného procenta jejich směny. Futuristická zařízení vyrobená z materiálů z lehkých slitin váží mezi 1,5 a 3 kilogramy.

Vedení firmy Nissan věří, že inovace by měly změnit nejen to, jak lidé – zaměstnanci pracují, ale také to, jak žijí. S technologií, která přináší hodnotu zákazníkům i zaměstnancům firmy, je správné, že zaměstnanci firmy Nissan budou mít prospěch,

když firma Nissan aktivně pracuje na zlepšování pracovních podmínek. Katalánský vládní institut pro bezpečnost a ochranu zdraví (ICSSL) přezkoumal testy provedené v těchto prvních dvou fázích. Projekt dosáhl svého konečného závěru koncem roku 2019 s potenciálem integrace do procesu výrobní linky Zona Franca a do dalších závodů částečně v roce 2020 a následně v období let 2021–2023, kdy k odložení realizace v roce 2020 došlo hlavně s ohledem na pandemii COVID-19 v globálním měřítku.



Zdroj: (Industry Europe,2018)

Obr. 20 Exoskelet „Levitace“ na výrobní lince Nissan

Hyundai. Jihokorejský výrobce má exoskelet, který mohou zaměstnanci používat k provádění režijních úkolů, a další exoskelet, který se transformuje na židli, takže zaměstnanci mohou plnit úkoly bez ohýbání (viz Obr.21). Populace ve globálním měřítku stárne a lidé, kteří pracují v továrnách, stárnou také, což znamená, že rostou náklady spojené s pracovními úrazy. Toto bylo zjištěno a uvádí to vedoucí laboratoře Hyundai Robotics Lab v její výroční zprávě za rok 2019. Přenosná technická zařízení se stala důležitou pro snížení těchto nákladů.

Nositelná technologie má ve světě automobilů podle firmy Hyundai také další významy. Jak zaměstnanci stárnou, tak se postupně vyhýbají myšlence pracovat na tovární výrobní lince, hledají automobilové společnosti s lehčí prací a hledají pracovní pozice s nižší pracovní zátěží a rutinní prací. Firma tak přichází o spolehlivé a kvalifikované zaměstnance, a také proto aktivně pracuje na vývoji vlastních exoskeletů pro výrobní automobilové linky pro své zaměstnance.



Zdroj: (Green Car Congress,2019)

Obr. 21 Exoskelety „VEX a CEX“

High-tech exoskelety společnosti jako Hyundai Motor Co., Ford Motor Co. a General Motors Co. jsou specifickou technologií, která byla původně vyvinutá s cílem pomoci lidem, kteří již nemohou sami chodit nebo stát, zmírňuje únavu a předchází úrazům. Je to obzvláště užitečné pro opakující se procesy, které nelze automatizovat, i když robotika v oboru dělá velké pokroky, stále některé rutinní lidské činnosti není možné automatizovat. Všechny typy podniků kladou důraz na společenskou odpovědnost a bezpečnost práce a snaží se předcházet úrazům na pracovišti. Proto firma při vývoji zaměstnaneckých exoskeletů pracuje s firmou ULS Robotics, společností se sídlem v Šanghaji, která poskytuje exoskelety automobilkám, provozovatelům letišť a dalším průmyslovým výrobcům s dynamickým rozvojem v posledních pěti letech a očekává se další vysoce dynamický růst i do roku 2027.

Ford. Hyundai není první automobilkou, která používá exoskelety. V roce 2018 společnost Ford uvedla, že zaměstnanci v 15 závodech provádějících opakující se rutinní pracovní úkoly dostanou pomoc z nové technologie exoskeletu pro horní část těla, tato je i nadále vyvíjena interně v rámci firmy Ford. Senzory, které se připevňují na nositelná zařízení, mohou také pomoci při vývoji autonomních vozidel Hyundai. V prosinci 2019 bylo oznámeno, že v příštích šesti letech společnost utratí 20 bilionů wonů (17 miliard dolarů) za nové technologie zahrnující také technologie exoskeletů a podporu ergonomie vlastních zaměstnanců v administrativě a výrobě. Senzory mohou také pomoci zvýšit efektivitu zaměstnanců. V automatizovaném procesu je

snazší odhalit neefektivitu práce a provádět úpravy a zjistit zdravotní stav a potřeby zaměstnance je prakticky obtížné.

Sloganem využívaným pro aplikaci exoskeletu v automobilové firmě Ford je „Built Tough. Tento slogan se také objevuje v reklamách firmy Ford na nákladní automobily, které zobrazují tahání značně těžkého a velkého nákladu, tažného zařízení a různým terénem. Zaměstnanci firmy Ford, kteří tyto nákladní vozy montují ve výrobních závodech Fordu, však podléhají lidským slabostem a těmi jsou zdravotní problémy s rameny, páteří a pracovní úrazy. Mohou trpět bolestmi zad a ramen v důsledku provádění opakujících se rutinních pracovních úkolů vyžadovaných jejich prací, zejména při práci na podvozcích zavěšených nad nimi. Ford odhaduje, že někteří montážní pracovníci zvedají ruce zhruba 4600 krát denně nebo zhruba milionkrát ročně.

Zaměstnanci na montážních linkách Fordu ve dvou amerických továrnách tedy dostávají další pomoc. V pilotním projektu se pracovníci oblékají do EksoVestu, exoskeletu horní části těla od společnosti Bay Area společnosti Ekso Bionics. Ford plánuje rozšířit test na továrny v Evropě a Latinské Americe v průběhu let 2021–2022. Současné plány pro rok 2020 bylo nutné omezit z hlediska optimalizace nákladů vlivem globální pandemie COVID-19. tento současně užívaný exoskelet je zobrazen na obrázku níže (viz Obr.21).

Ekso Bionics je známá především díky své práci v lékařském sektoru a firma prodává exoskelet dolního těla, který umožňuje paraplegickým lidem znovu chodit. Vedení Ekso Bionics uvádí, že IEEE Spectrum také v průmyslovém sektoru našel významnou poptávku po exoskeletech. V roce 2015 začala firma dostávat spoustu dotazů, přicházely dotazy na exoskelety jak v automobilovém, tak například také ve stavebním průmyslu. Výrobní firmy se dotazovaly na ergonomické řešení pro automobilový i stavební průmysl s ohledem na dosažené pozitivní úspěchy firmy zejména v medicínském segmentu, jak bylo uvedeno výše. Vzhledem k tomu, že firma měla zkušenosti právě s exoskelety v lékařství, tak bylo poměrně nasnadě řešit exoskelety pro ergonomické zaměření a poptávku pro podporu rutinní práce zaměstnanců na pracovištích výrobních automobilových linek. Počátky vývoje exoskeletů spočívají ve výzkumném projektu DARPA na počátku 2000, který hledal celotělový exoskelet, který by pomohl vojákům přepravovat těžká břemena.

Původní koncept se postupně zaměřil na ergonomické řešení pro zaměstnance výrobních firem a na výrobní linky.



Zdroj: (IEEE Spectrum,2017)

Obr. 22 Exoskelet „EksoVest“ na výrobní lince Fordu

Horní část exoskeletu EksoVest byla mnohem jednodušší než jiné technologie Ekso. Vesta je bez napájení a nemá žádné robotické součásti, které by předpovídaly pohyby uživatele. Exoskelet firma vyvinula do této podoby, když společnost spolupracovala s Fordem na testování prototypů. Trvalo nějakou dobu, než se firma dostala ke konečnému produktu, který dává smysl a je pohodlný pro celodenní používání v rámci rutinních pracovních úkolů a činností zaměstnanců výrobních firem. EksoVest zvedá a podporuje paže daného zaměstnance, zatímco pracovník vykonává úkoly nad hlavou, a poskytuje nastavitelnou pomoc při zvedání od pěti liber do 15 liber na rameno. Cílem ergonomického řešení firmy je, aby se paže cítily beztlížné a porovnává se tzv. "neutrální vztlak" se způsobem, jakým se například končetiny plavce cítí ve vodě. „Pracovníci obvykle tlačí silou asi 15 liber, v závislosti na hmotnosti paží, počítá se tedy přibližně 30 liber vynaložené síly nahoru a přenesené dolů na boky uživatele.

Ekso může v budoucnu navrhnout poháněný exoskelet horní části těla pro průmyslové aplikace, ale právě teď je společnost spokojena se současnými

řešeními, nicméně technicky a inovačně se pracuje na exoskeletech pro další aplikaci v automobilovém průmyslu. Neexistují žádné baterie, s nimiž je třeba se vypořádat, žádné senzory u tohoto exoskeletu. EksoVest pouze ruší účinek gravitace, čímž se snižuje námaha a únava, s nimiž se pracovníci montážní linky každý den potýkají, a především se jedná o jejich rutinní pracovní činnosti a opakující se pracovní činnosti.

Audi provedla testy exoskeletů pro horní končetiny. Přibližně 60 zaměstnanců v závodě Audi v Ingolstadtu testovali exoskelety značek Ottobock a Skelex v lakovnách a montážních dílnách.

Ottobock byl představen exoskeletem Paexo (viz Obr.19). Je to pasivní exoskelet, který přenáší váhu ze zvednutých rukou na stehna nositele a odstraňuje zátěž z ramen. Váha konstrukce je 1,9 kg a uživatel zažívá pocit „lehkosti“ a „beztíže“ rukou, podobný tomu, jaký zažívá plavec v bazénu. Podle vývojářů je Paexo nejlehčí systém ve své třídě, který je užitečný pro osmihodinové směny. Zařízení poskytuje nejpůsobivější výsledky v době, kdy pracovníci musí zvedat a držet nástroje nad hlavou.

Struktura daného exoskeletu se skládá z opěrné tyče a páky, které jsou spojeny závěsem. Princip fungování tohoto exoskeletu je poměrně jednoduchý. Pasivní pohon, který ukládá energii, vytváří v této souvislosti podporu rukou. Vzpěry na zádech se mohou pohybovat nezávisle, což poskytuje úplnou volnost pohybu ramen a záda. Nejdůležitější jsou nastavení antropometrických parametrů a úprava úrovně podpory.

Pracovník, který používá tento exoskelet, nemá žádné omezení pohybu, ale cítí úlevu ramenního kloubu, když pracuje s rukama nad hlavou. Společnost BMW taky testovala danou technologii a v březnu 2017 oznámila, že chce ve svých závodech ztrojnásobit počet exoskeletů.



Zdroj: (New Atlas,2019)

Obr. 23 Exoskelet „Ottobock“

Exoskelet Skelex má podobný princip fungování. Skládá se ze dvou rámců, které jsou vyrobeny z uhlíkových vláken, odnímatelného postroje a dvou popruhů na ruce, které zajišťují zvedání. Tento exoskelet uvolňuje tlak na ruku během statické a dynamické práce, pokud pracovník drží ruce na úrovni ramen nebo nad hlavou. Současně exoskelet nebrání pohybu při ohýbání těla. Tento kostým je velmi lehký a se snadno používá. Skelex je nejpokročilejší exoskelet o hmotnosti do 3 kg.

Pro dolní končetiny Audi zkoušela exoskelet Chairless chair od švýcarské značky Noonee. K tomu, aby si člověk sedl, stačí si jen ohnut kolena a křeslo bude upevněno. Inovativní design je vhodný pro pracovníky s výškou od 1,5 do 1,95 metrů. Exoskelet se snadno používá a umožňuje zaměstnancům pracovat v pohodlné poloze, zvyšuje jejich produktivitu, snižuje zatížení nohou a zad.

Společnost ULS Robotics vyvíjí tři exoskelety, které mohou pracovníci nosit k držení a zvedání těžkého vybavení. Jeden je pro horní část těla, druhý obepíná pas a třetí se zaměřuje na dolní končetiny. První dva váží každý asi sedm kilogramů a umožňují nositeli zvednout dalších 20 kilogramů. Jsou napájeny lithiovou baterií s životností přibližně šest až osm hodin. Exoskelety jsou nejužitečnější na obecných montážních linkách automobilových firem, které jsou stále do určité míry ručně

vyráběné. Stejně jako koloběžky a sdílená kola pomohly vyřešit problém tzv. „poslední míle“ pro dodávky a dojíždějící do elektronického obchodu, exoskelety mohou také pomoci vyřešit problém tzv. „poslední osoby“ na výrobní lince. Inženýři nosící exoskelet bez sedačky Hyundai pracují na nositelném exoskeletovém robotu Hyundai Medical a tyto jsou postupně aplikovány též do automobilových firem, do administrativních a vývojových oddělení automobilových firem.

GM testuje některé produkty ULS Robotics. Dalšími zákazníky jsou China Southern Airlines Co., mezinárodní letiště Pudong v Šanghaji a nové mezinárodní letiště v Pekingu Daxing. Exoskelety by mohly být zvláště užitečné pro personál pozemní obsluhy, tedy také v segmentu služeb.

4 Vyhodnocení a srovnání technologií exoskeletů z hlediska aplikace v automobilovém průmyslu.

Exoskelety pro průmyslové použití lze rozdělit do dvou kategorií: „vesty“ na paže a ramena, s podporou zad a podporu nohou a boků - tzv. exožidle. Ve výrobě, zejména v automobilové, mohou takové struktury snižovat úrazy a zvyšovat produktivitu práce. Trh exoskeletů je rychle rostoucím díky nárůstu počtu klíčových hráčů. Očekává se, že rostoucí počet výrobců na trhu exoskeletů změní jeho dynamiku a posílí konkurenceschopnost.

V této kapitole bude představeno porovnání exoskeletů, které už jsou využívány na linkách v automobilových továrnách největších světových výrobců, a pomocí vícekritériální analýzy variant, a konkrétně metody váženého součtu, budou zaprvé porovnány exoskelety pro dolní končetiny, pak pro horní, a bude vybrána nejvhodnější kombinace pomocí zadaných parametrů.

4.1 Porovnání exoskeletů a jejich hodnocení

Metoda váženého součtu je již dlouho známá a aktivně se používá. Její rozšířená prevalence je způsobena řadou důvodů. Některé z nich jsou vzhledem k atraktivním výhodám metody, která se zdá být jednoduchá a srozumitelná, je vhodné pro výpočty, taky ji lze použít k řešení problémů s rozhodováním při výběru jedné nejlepší nebo několika nejlepších možností. Pro dosažení co nejpřesnějšího výsledku pomocí dané metody je nejprve potřeba najít takzvané váhy, totiž důležitost kritérií, které budou měřítkem pro finální rozhodování. V daném příkladu budou se porovnávat tyto kritéria: značka exoskeletu, jeho hmotnost, provozní doba baterky a maximální váha operátora. V následující tabulce jsou spočítané váhy pomocí metody pořadí od nejdůležitějšího k méně důležitému (viz Tab.3).

Při výběru exoskeletů nejdůležitější je jeho cena, a proto se tento řádek označí za 1, dále hmotnost exoskeletu, která je označena číslem 2, provozní době baterky je přiřazeno číslo 3, a nejméně důležitým kritériem je maximální váha uživatele s bodem 4. Dalším krokem v této metodě je uvedení obráceného pořadí, totiž nejméně důležité kritérium dostane číslo 1, nejméně důležité číslo 4. Následujícím krokem bude sečtení pořadí, a to se v daném příkladu bude rovnat: $(1+2+3+4) = 10$. Aby se spočítaly váhy, je potřeba rozdělit každé kritérium sečtením, výsledky

kterých jsou spočítány v sloupci "Váhy". Důležitým pravidlem vah je, že jejich součet se musí rovnat 1.

Tab. 3 Váhy exoskeletů pro dolní končetiny

Kritérium	Pořadí	Obrácené pořadí	Váhy(V)
Cena	1	4	$4/10=0,4$
Hmotnost	2	3	$3/10=0,3$
Provozní doba baterky	3	2	$2/10=0,2$
Maximální váha operátora	4	1	$1/10=0,1$

Po zjištění vah se, může přejít k hledání kompromisní varianty. V následující tabulce jsou představeny exoskelety pro dolní končetiny, a porovnávají se podle ceny, hmotnosti, provozní doby baterky (Laevo a LegX jsou bez bateriové) a maximální váhy operátora (viz Tab.4).

Tab. 4 Seznam vybraných exoskeletů pro dolní končetiny

Značka	Cena (Czk)	Hmotnost(kg)	Provozní doba baterky (hod)	Maximální váha operátora(kg)
Leg X	125 000	6.2	0	150
WAD	108600	2.7	2	130
Laevo	62 500	2.8	0	250
Chairless chair	108 465	3.3	8	200

Pomocí metody váženého součtu se zjistí nejvhodnější varianta. V tabulce 5 jsou vypočteny užítky variant od nejlepšího po nejhorší.

V této metodě se varianty hodnotí v rozsahu od 0 do 1. Nejhorší možnost podle zvoleného kritéria získá 0, nejlepší 1, zbytek možností se vypočítá pomocí níže uvedených vzorců a jejich hodnoty budou v intervalu mezi nejlepší a nejhorší možností. Například při výběru ceny se vybírá nejnižší, a proto toto kritérium bude minimalizační a nejmenší cena ze všech exoskeletu je u značky Laevo, a proto v této buňce bude 1. Nejnižší hmotnost je u exoskeletu WAD, kterému se přiřadí bod 1. V řádcích s nejhorší variantou ceny a hmotnosti se zapíše 0. Nejvyšší čas práce baterky je u exoskeletu Chairless Chair, kterému odpovídá bod 1. Exoskelety Laevo a LegX nemají žádné napájení, a proto se jim může přiřadit bod 0. Váha operátora bude maximalizačním kritériem, ve kterém Laevo má bod 1 a WAD 0.

Dal se budou dopočítávat hodnoty v prázdné buňky. Nalézt chybějící hodnoty se da podle vzorku:

$$x = \frac{PH-D}{H-D} \quad (2)$$

PH – původní hodnota

H – ideální varianta

D – nejhorší varianta

$H-D$ – rozdíl mize ideální a bazální variantou v absolutní hodnotě

Pro lepší pochopení daného vzorce je představen příklad ceny pro exoskelet WAD:

$PH=108\ 600$; $D=125\ 000$; $H-D= 62500$. V tomto případě v buňce ceny Wad:

$X = (108\ 600 - 125\ 000) / 62500 = 0,26$. Pomocí daného příkladu se naleznou veličiny u zbývajících hodnot.

Po doplnění ceny a hmotnosti se už mohou ohodnotit varianty, které se zapíší v sloupci w . Skalární součin se nalezne pomocí vzorku:

$$w = x_1v_1 + x_2v_2 \dots + x_nv_n \quad (3)$$

w – skalární součin

x_1 – cena

x_2 – hmotnost

v_1 – váha ceny

v_2 – váha hmotnosti

Tab. 5 Hodnocení exoskeletů pro dolní končetiny

Značka	Cena	Hmotnost	Provozní doba baterky	Maximální váha operatora	w
Leg X	0	0	0	0.16	0.016
WAD	0.26	1	0.25	0	0.45
Laevo	1	0.03	0	1	0.509
Chairless chair	0.73	0.17	1	0.58	0.601
Povaha	Min	Min	Max	Max	
V	0.4	0.3	0.2	0.1	
H	62 500	2,7	8	250	
D	125000	6,2	0	130	
(H-D)	62500	3,5	8	120	

Jak ukázaly výsledky výpočtů, kompromisním variantem pro dolní končetiny je exoskelet Chairless Chair, protože má nejvyšší koeficient, na druhém místě je exoskelet Laevo, třetí je Wad, a nejhorším podle výsledků je exoskelet LegX. Co se týče horních končetin, také se bude vybírat mezi čtyřmi variantami, ale budou mít dvě odlišná kritéria, která jsou zobrazena v tabulce 6.

Tab. 6 Váhy exoskeletů pro horní končetiny

Kritérium	Pořadí	Obrácené pořadí	Váhy(V)
Cena	1	4	0.4
Hmotnost	2	3	0.3
Maximální úhel podpory	3	2	0.2
Regulace délky	4	1	0.1

V následující tabulce je představen seznam exoskeletů pro horní končetiny (viz Tab.7)

Tab. 7 Seznam exoskeletů pro horní končetiny

Značka	Cena (CZK)	Hmotnost(kg)	Maximální úhel podpory(°)	Regulace délky(cm)
Shoulder x	100 000	3.17	120	16
VEX	74 632	2.5	100	18
EksoVest	175 000	4.3	90	12
Airframe	150 000	3.9	90	16

Tyto exoskelety se ohodnotí pomocí stejných kroků jako v minulém případě (viz Tab.8).

Tab. 8 Hodnocení exoskeletů pro horní končetiny

Značka	Cena	Hmotnost	Maximální úhel podpory	Regulace délky	w
Shoulder x	1.31	0.63	1	0.66	0.979
VEX	1	1	0.33	1	0.866
EksoVest	0	0	0	0	0
Airframe	0.43	0.22	0	0.66	0.304
Povaha	Min	Min	Max	Max	
V	0.4	0.3	0.2	0.1	
H	74 632	2.5	120	18	
D	175 000	4.3	90	12	
H-D	57 132	1.8	30	6	

A výsledky ukázaly, že nejlepší variantou ve třídě exoskeletů pro horní končetiny bude exoskelet ShoulderX, dále následují exoskelety Vex a Airframe, a nejhorším exoskeletem z hlediska vybraných kritérií je exoskelet Eksovest.

Po vyhodnocení představených variant bylo zjištěno, že nejlepším exoskeletem ze skupiny pro dolní končetiny je Chairless chair od švýcarské firmy Noonee, který byl užitečný při práci, která vyžaduje sezení. Tento exoskelet výrazně snižuje fyzickou námahu potřebnou k udržení vybrané polohy. Kromě toho daný exoskelet pomáhá operátorovi udržovat správné držení těla. Ve druhé skupině, kde se porovnávaly exoskelety pro operaci, při níž se vyžaduje udržení rukou v nepřírozené poloze a jejich natažení, byl ze všech konkurentů zvolen pasivní exoskelet ShoulderX amerického výrobce SuitX. Na rozdíl od jiných zařízení na trhu ShoulderX nevyžaduje další hardware k nastavení síly podpory. Tím se eliminuje riziko ztráty součástí. Rovněž není nutné koordinovat dodávku dalších přechodových dílů. Jedná se o nejpokročilejší exoskelet na podporu ramen na světě pro použití v automobilovém, stavebním a loďařském průmyslu. ShoulderX posiluje svého nositele snížením stresu v ramenním komplexu, významným snížením rizika poranění ramene a zvýšením produktivity na pracovišti.

4.2 Budoucnost technologií exoskeletu v automobilovém průmyslu

Implementace nových technologií na pracovišti výrobních firem, ale též v automobilovém průmyslu vždy zahrnuje kritické hodnocení BOZP pro zúčastněné strany. Obecně je základním předpokladem design v dalším technickém a technologickém vývoji exoskeletů zaměřený na člověka podle rámcové směrnice, konkrétně pak směrnice 89/391 / EHS. V užším smyslu to znamená, že standardní pracoviště nevyžadují další opatření a je možné využít stávající technické řešení a přístupy v aplikaci exoskeletů. Avšak vzhledem k současné pracovní situaci v Evropě a propojení nových technologií s muskuloskeletálními chorobami nejsou ergonomické podmínky samozřejmé. Pro zajištění dobrého pracovního prostředí by měla být zvažena technická, organizační a individuální opatření v souladu s rámcovou směrnicí 89/391 / EHS a tato zapracována do legislativy týkající se ergonomických podmínek na pracovištích v jednotlivých členských zemích. S tímto by pak souviselo samozřejmě i větší praktické využití exoskeletů.

Z hlediska dopadů a možností využití exoskeletů na BOZP je hierarchická aplikace povinná. Když jsou vyčerpána všechna technická opatření, například použití zvedacích pomůcek nebo přepracování pracoviště, je třeba vzít v úvahu organizační aspekty, jako je přeskupení pracovních procesů. Nakonec lze zvážit osobní opatření na ochranu pracovníků. Jak již bylo uvedeno výše, tak exoskelety v ergonomických

souvislostech lze popsat jako technická nebo lékařská zařízení a lze je také definovat jako ochranné prostředky. Jejich klasifikace silně závisí na jejich použití, designu a zamýšleném použití. Exoskelety je možné v současné době hodnotit pouze pomocí přístupu případ od případu nejenom ve výrobní praxi, ale také v praxi automobilového průmyslu. V praxi je možné, že se exoskelety používají jako technická zařízení k usnadnění pracovních procesů. Pokud se však používají ke zlepšení konstrukce pracoviště, na kterém jsou nutná ergonomická opatření k ochraně zaměstnanců před úrazy, musí být považovány za OOP. V budoucnu by mělo být hodnocení exoskeletů integrováno s tradičním ergonomickým přístupem, konkrétně jako design zaměřený na člověka, protože mají dopad na pracovní situace a organizační aspekty.

Zaměstnanci na pracovištích firem

Požadavky uživatelů na zaměstnance závisí na konkrétní klasifikaci daného exoskeletu. Jsou-li certifikovány jako technické zařízení, jsou exoskelety vázány na pracoviště a nelze je použít v každé možné pracovní situaci, pokud pro tuto aplikaci nebyly zohledněny. Technická zařízení však nejsou osobní opatření a jejich použití je dobrovolné. Pokud je exoskelet certifikován jako OOP, je jeho použití legálně vyžadováno. V tomto případě musí být zaměstnanec vybaven exoskeletem, pokud je vystaven zvýšené pracovní zátěži.

Zaměstnavatelé

Během implementace a průběhu provozu musí zaměstnavatelé vzít v úvahu různé aspekty. Ve srovnání s technickými pomůckami jsou hygienické požadavky na OOP komplexnější. V tomto ohledu je použití exoskeletu povinné. Ke splnění těchto požadavků musí být alespoň každý zaměstnanec, který pracuje na pracovišti, které vyžaduje exoskelet ve formě OOP, možnosti vybavení exoskeletem, který může způsobit problémy se skladováním. Dále je třeba vzít v úvahu chronické adaptace, onemocnění páteře, kardiovaskulární reakce a aspekty výkonu. Kromě toho musí být k dispozici dostatek čisticích prostředků nebo praček, aby vyhovovaly hygienickým normám. Exoskelety, které jsou definovány jako technické pomůcky, jsou volitelné a nemusí být k dispozici každému zaměstnanci na pracovišti. Pokud se však používají, mělo by se na ně pohlížet jako na pomoc (podporu), a nikoli jako způsob, jak zvýšit výkonnost nebo efektivitu zaměstnanců.

Zákonodárci jako tvůrci právních a technických norem

Tvůrci politik by měli v budoucnu zohlednit regulaci exoskeletů týkajících se technických aspektů a jejich použití, aby se usnadnila certifikace nové technologie. To umožňuje výrobcům jasněji klasifikovat své výrobky a umožňuje zaměstnavatelům používat exoskelety pro jejich zamýšlený účel. Je však třeba zmínit, že za zamýšlené použití výrobku a odpovídající certifikaci odpovídá vždy výrobce. Tématu exoskeletů se v současné době věnuje značná pozornost v podstatě ve všech relevantních oborech včetně uvedeného automobilového průmyslu. Navzdory jejich zjevnému slibnému potenciálu by však mělo být minimálně zvaženo z hlediska efektivity použití exoskeletů v široké škále oborů. Zbývá zjistit, zda budou exoskelety v budoucnu využívány extenzivně k ochraně zaměstnanců před úrazy přetížením nebo k úsporám pracovních procesů. V závislosti na technickém vývoji se exoskelety mohou stát standardním nástrojem pro ruční pracovní procesy nebo zůstat produktem pro specializované aplikace.

Současný komerční zájem o exoskelety však může také představovat problém pro budoucí vývoj, protože mohou být upřednostňovány výkonově orientované nebo ekonomické přístupy, což může vést ke zanedbávání bezpečnosti práce. Exoskelety lze nicméně použít jako technická, lékařská nebo osobní ochranná zařízení, v závislosti na jejich zamýšleném použití na pracovišti. Vzhledem k rozmanitosti funkčnosti, designu a použití však není k dispozici jednotná definice, což komplikuje jejich implementaci v praxi s ohledem na jejich certifikaci. I když existuje řada studií o exoskeletech, které berou v úvahu různé aspekty použitelnosti a funkčnosti, dopady na zdraví zaměstnanců nejsou v současné době dobře pochopeny. Zejména nejsou známy dlouhodobé účinky exoskeletů na fyziologické, psychosociální a biomechanické parametry. Budoucí studie by se měly zaměřit na dlouhodobé účinky exoskeletů na pracovišti zaměřené na praxi, aby se dosáhlo spolehlivějších výsledků. Je třeba zmínit, že použití exoskeletů ke zlepšení ergonomického designu na stacionárních pracovištích nelze doporučit, ale existuje také obrovské množství nestacionárních nebo mobilních pracovišť, kde nejsou možná ergonomická opatření. V této souvislosti mohou exoskelety nabídnout slibný přístup ke snížení pracovní zátěže a pracovních úrazů zaměstnanců v budoucnu.

Z ergonomického hlediska je zavedení exoskeletů důležitým krokem ke zlepšení pracovních podmínek. A jak ukázaly praxe automobilových gigantů, tato technologie

je naprosto nezbytná a testy na montážní lince měly velmi pozitivní vliv a potvrdily, že používání této technologie ulehčuje práci zaměstnancům. Exoskelety snižují ergonomické problémy, které jsou hlavní příčinou muskuloskeletálních poranění na pracovišti. Tento typ úrazu je velmi častý a může být zničující jak pro pracovníka, tak pro společnost.

Závěr

Tato diplomová práce se zabývala analýzou trhu exoskeletů a jejich implementací na výrobních linkách automobilového průmyslu.

V teoretické části byla popsána historie, základy ergonomie, důležitost této vědy při projektování pracovního místa a její spojitost s montážním procesem.

V praktické části byl proveden popis vývoje technologie exoskeletu, analýza současného trhu a predikce růstu v budoucnu. Byly představeny příklady implementace jak aktivních exoskeletů ve vojenském a vesmírném průmyslu, tak pasivních na automobilových linkách.

Na základě internetových zdrojů bylo zjištěno, že v automobilovém průmyslu se tato technologie stává stále populárnější a světové automobilky začaly více spolupracovat s výrobcí daného druhu výrobku. Implementace exoskeletů by pomohla nejen zlepšit podmínky práce, ale i image zaměstnavatele, který sleduje světové trendy na trhu práce.

V závěru praktické části pomoci metody váženého součtu byly porovnány exoskelety dvou skupin – pro horní a dolní končetiny, které nejlíp vyhovovaly reáliím automobilového trhu, a v každé skupině podle vybraných kritérií bylo vypočítáno finální skóre pro nalezení nejlepších produktů.

Exoskelety jsou ve vývoji už několik desítek let. Technologie nyní dosáhly úrovně, kdy se exoskelety zavádějí v různých kontextech. Nejslibnější jsou dnes lékařské aplikace exoskeletů, vojenské a průmyslové jsou stále vzácnější, ale neméně efektivní možnosti použití této technologie.

Pracovníci automobilového průmyslu se všeobecně potýkají s nepohodlnou prací. To má nepříznivý vliv na zdraví a morálku pracovníků a nevyhnutelně se zvyšuje počet zranění způsobených stereotypními pohyby. Proti tomu se da bojovat pomoci ergonomie a exoskeletů.

Technologie pasivních exoskeletů je zaměřena na dva hlavní úkoly: udržení zdraví pracovníků a zvýšení efektivity práce. Osobu s exoskeletem na montážní lince automobilové továrny je možné považovat za mezistupeň mezi lidským dělníkem a plnohodnotným robotem. Ve skutečnosti je většina práce na montážní lince již automatizovaná a lidé provádějí pouze relativně nestandardní úkoly, které roboti

příliš efektivně nezvládají. S největší pravděpodobností bude většina těchto úkolů v budoucnu automatizována. Kdoví, možná použití exoskeletu v budoucnosti způsobí, že exoskelet bude pro manuální pracovníky povinný a práce bez exoskeletu bude považována za nehumánní.

Seznam literatury

Atoun Inc. [Online]. 2018 [19-10-2020]. Dostupné z: <https://atoun.co.jp/en/products/atoun-model-y/>

BALTRUSCH, S. J., VAN DIEËN J.H, VAN BENNEKOM C.A, HOUDIJK H. *The effect of a passive trunk exoskeleton on functional performance in healthy individuals*. 2018 **72** (10), s. 94-106.

BELLIS, Mary. *Exoskeleton* [Online]. 2017. Dostupné z: <https://www.thoughtco.com/exoskeleton-for-humans-1991602>

BOHGARD, Mats, Stig KARLSSON, Eva LOVEN, Lars-Erik MIKAELSSON. *Work and Technology on Human Terms*. Stockholm: Prevent, 2009, ISBN 978-91-7365-058-8

BELLGRAN, Monica, Kristina SAFSTEN. *Production System Development*. London: Springer, 2010, ISBN 978-1-84882-494-2

BOSCH, Tim, Jennifer Van ECK, Karlijn KNITEL, Michiel DE LOOZE. (2016). The effects of a passive exoskeleton on muscle activity, discomfort and endurance time in forward bending work. *Applied Ergonomics*, 54, s. 212-217.

BREBBIA, Carlos A., Fabio GARZIA, Michael M. LOMBARDI. *Safety and Security Engineering VII*. Southampton: Wit Press, 2018. ISBN 978-1784662110

BRIDGER, Robert. *Introduction to Ergonomics, Third Edition*. London: CRC Press, 2009. ISBN 978-0849373060

Davies, C. *Panasonic is building Ninja exoskeletons and Aliens-style Power Loaders*, 2016. [Online]. Dostupné z: <https://www.slashgear.com/panasonic-is-building-ninja-exoskeletons-and-aliens-style-power-loaders-17432192/>

DE LOOZE, Michiel, Tim BOSCH, KRAUSE, F., STADLER, K. S., O'SULLIVAN, L. W. *Exoskeletons for industrial application and their potential effects on physical work load*. *Ergonomics*. 2016 **59** (5), s. 671-681.

EksoVest [online]. Ekso Bionics [15-04-20]. Dostupné z: <https://eksobionics.com/eksoworks/eksovest/>

Exhauss [online]. Exhauss Systém. 2020 [03-10-20]. Dostupné z: <http://www.exhauss.com/index.html2>

GAMS, Andrej, Tadej PETRIČ, Tadej DEBEVEC, Jan BABIČ. *Effects of robotic knee exoskeleton on human energy expenditure. IEEE Transactions on Biomedical Engineering*. 2013 **60** (6), s. 1636-1644.

GILBERTOVÁ Sylva, Oldřich MATOUŠEK. *Ergonomie. Optimalizace lidské činnost*. Praha: Grada,2002 ISBN 80-247-0226-6

GILOTTA, Silvia, Stefania SPADA, Lidia GHIBAUDO. (2018). *Acceptability beyond Usability: A Manufacturing Case Study*. Paper presented at the Congress of the International Ergonomics Association

Guardian™ XO [Online]. Sarcos, 2020 [05-09-20]. Dostupné z <https://www.sarcos.com/products/guardian-xo/>

HAL for Medical Use [Online]. Cyberdyne, 2020 [19-09-20]. Dostupné z: https://www.cyberdyne.jp/english/products/LowerLimb_medical.html

Hardiman [online], General Electric. 2016 [17-09-20]. Dostupné z: <https://www.ge.com/news/reports/do-you-even-lift-bro-hardiman-and-the-human-machine-interface>

HOME CRUX [online]. 2018 [15-04-20]. Dostupné z: <https://www.homecrux.com/wearable-chairs-wont-let-you-go-weak-in-the-knees/107220/>

Hyundai Motor Group TECH [online]. Hyundai Motor Group, 2019 [15-04-20]. Dostupné z: <https://tech.hyundaimotorgroup.com/article/hyundai-kias-wearable-robot-vest-exoskeleton/>

CHUNDELA Lubor *Ergonomie*. Praha: České vysoké učení technické, 2013. ISBN 978-80-01-05173-3

JUROVÁ, Marie a kolektiv. *Výrobní a logistické procesy v podnikání*. Praha: Grada, 2016. ISBN 978-80-247-5717-9

KANICKÁ, Ludvika, Zdenek HOLOUŠ. *Nábytek: typologie, základy tvorby*. Praha: Grada,2011. ISBN 978-80-247-3746-1

KIM, S., NUSSBAUM, M. A., MOKHLESPOUR ESFAHANI, M. I., ALEMI, M. M., JIA, B., RASHEDI, E. *Assessing the influence of a passive, upper extremity exoskeletal vest for tasks requiring arm elevation: part II — ‘unexpected’ effects on*

shoulder motion, balance, and spine loading. Applied Ergonomics 2018, 70, s. 323-330.

KISLINGEROVÁ, Eva a kolegové. *Inovace nástrojů ekonomiky a managementu organizací*. Praha: Beck, 2008. ISBN 978-80-7179-882-8

KOCIÁNOVÁ, Renata. *Personální činnosti a metody personální práce*. Praha: Grada, 2010. ISBN 978-80-247-2497-3

KOLIBAL, Zdeněk, Radek KNOFLÍČEK, Petr BLECHA, Ivan VAVŘÍK. *Technologičnost konstrukce a retrofitting výrobních strojů*. Brno: VUTIUM, 2010. ISBN 978-80-214-3765-4

KOVÁČ, Jozef, Edita SZOMBATHYOVÁ. *Ergonómia*. Kosice: Technická univerzita, 2010. ISBN 978-80-553-0538-7

Laevo Inc. [Online]. 2016 [3-10-20]. <https://www.laevo-exoskeletons.com/en/laevo-v2>

LegX, SuitX. [Online]. 2020 [21-09-20]. Dostupné z: <https://www.suitx.com/legx>

Levitate technologies [Online]. 2015 [13-10-2020]. Dostupné z: <https://www.levitatetech.com/airframe/>

MALÝ, Stanislav, Lenka SVOBODOVÁ, Jiří TILHON a Iveta MLEZIVOVÁ. *Ergonomické stresory pod kontrolou aneb Ergonomie – jak na to*. Praha: Výzkumný ústav bezpečnosti práce, v. v. i., 2016. ISBN 978-80-87676-27-1

MALÝ, Stanislav, Miroslav KRÁL. *ABC Ergonomie*. Praha: Professional Publishing, 2010. ISBN 978-80-7431-027-0

MARINOV, B. *Types And Classifications of Exoskeletons*. [Online]. 2015 [17-10-20] Dostupné z: <https://exoskeletonreport.com/2015/08/types-and-classifications-of-exoskeletons/>

MATEOS Luis A. *Robo-Mate*. 2017 [21-09-2020] Dostupné z: <http://www.particlerobots.com/luismateos/robomate/introduction.html>

Meticulous Research [online], 2020 [14-10-2020] Dostupné z: <https://meticulousblog.org/top-10-companies-in-exoskeletons-market/>

Modular Agile eXoskeleton [online]. SuitX, 2018 [15-04-20] Dostupné z: <https://www.suitx.com/max-modular-agile-exoskeleton>

MONDEN, Yasuhiro. *Toyota Production System: An Integrated Approach to Just-In-Time*. Boca Raton: CRC Press, 2011. ISBN 978-1-4398-2097-1

Musculoskeletal disorder risk during automotive assembly: current vs. Seated 2011, [21-09-2020]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3796442/>

NENADÁL, Jaroslav. *Management kvality pro 21. století*. Praha: Management Press, 2018. ISBN 978-80-7261-561-2

New Atlas [online]. 2019 (06-11-2020). Dostupné z: <https://newatlas.com/health-wellbeing/audi-exoskeleton-trial-ingolstadt/>

ONYX *Exoskeleton* [online]. 2018 [21-09-2020]. Dostupné z: <https://www.prnewswire.com/news-releases/popular-science-recognizes-lockheed-martins-onyx-exoskeleton-and-miniature-hit-to-kill-interceptor-in-2018-best-of-whats-new-awards-300756118.html>

Ottobock *Paexo* [online]. Ottobock, 2019 [15-04-20]. Dostupné z: <https://www.ottobock.com/en/newsroom/media/>

PAUKNEROVÁ, Daniela a kolektiv. *Psychologie pro ekonomy a manažery*. Praha: Grada, 2012. ISBN 978-80-247-3809-3

Profile of the Global Exoskeleton Business Landscape [online]. 2018 [21-09-2020]. Dostupné z:

<http://www.wearablerobotics.com/profile-of-the-global-exoskeleton-business-landscape/>

Rhino Assembly [online]. 2018 [11-10-2020] Dostupné z: <https://www.rhinoassembly.com/en/catalog/product/EksoBionics-EksoVest-Wearable-Lift-Assist-106759>

SALVENDY, Gavriel. *Handbook of Human Factors and Ergonomics*. Hoboken: John Wiley&Sons, 2012. ISBN 978-1-118-13135-0

SHORROCK, Steven, Claire WILLIAMS. *Human Factors and Ergonomics in Practice: Improving System Performance and Human Well-Being in the Real World*. London: CRC wPress, 2017. ISBN 978-1-4724-3925-3

SCHICK, Ralf. Einsatz von Exoskeletten in der Arbeitswelt. *Zentralblatt für Arbeitsmedizin, Arbeitsschutz und Ergonomie*. 2018, **68** (5), s. 266-269.

STEWART, John. *The Toyota Kaizen Continuum: A Practical Guide to Implementing Lean*. Portland, Productivity Press, 2011. ISBN 978-1-4398-4604-9

Svět produktivity [online]. 2012 [12-12-20] Dostupné z: <https://www.svetproduktivity.cz/slovník/slovník-5S.htm>

Svět průmyslu [online]. Šumperk: Smart Connections s.r.o, 2019. [3-04-20] Dostupné z: <https://svetprumyslu.cz/2019/06/28/skoda-auto-dlazdi-cestu-k-tovarne-4-0/>

TUČEK, Milan a kolegové. *Hygiena a epidemiologie pro bakaláře*. Praha: Karolinum, 2012. ISBN 978-80-246-3258-2

Trente. 2014 [09-12-20]. Dostupné z: <http://www.trente.eu/exosuit-exoskeleton-nasa-x1-hulc-robot-machine/>

VEBER, Jaromír a kol. *Management inovací*. Praha: Management Press, 2016. ISBN 978-80-7261-423-3

VITECKOVA, Slavka, Patrik KUTILEK, Marcel JIRINA. Wearable lower limb robotics: a review. *Biocybernetics and Biomedical Engineering*. 2013, **33** (2), s. 96-105.

VOCHOZKA Marek, Petr MULAČ. *Podniková ekonomika*. Praha: Grada, 2012 ISBN 978-80-247-4372-1

WANG H, Fang P. *Towards reducing the impacts of unwanted movements* [online]. 2016 [21-09-2020]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1050641116300189>

WATERSON Patrick, Ken EASON. *Trends and developments in UK ergonomics during the 1960 s*. London: Loughborough University, 2009. ISSN 0014-0139

Seznam obrázků a tabulek

Seznam obrázků

Obr. 1 Grafické znázornění mnohooborové ergonomie.....	9
Obr. 2 Strukturální ergonomický pohled na pracovní systém a interakce mezi jeho komponenty.....	11
Obr. 3 Systém „člověk-technika-prostředí“	14
Obr. 4 Systém 5S.....	20
Obr. 5 Historie exoskeletů	28
Obr. 6 Exoskelet „Hardiman“	29
Obr. 7 Exoskelet „Exhaus“	30
Obr. 8 Exoskelet „HAL“	31
Obr. 9 Exoskelet „Guardian XO“	32
Obr. 10 Exoskelet „ShoulderX“	34
Obr. 11 Podíl regionů – výrobců na trhu exoskeletů.....	37
Obr. 12 Exoskelet „ONYX“	40
Obr. 13 Exoskelet „X1“	41
Obr. 14 Exoskelet „Robo-Mate“	41
Obr. 15 Exoskelet „Levitate“	46
Obr. 16 Exoskelet „Laevo“	47
Obr. 17 Exoskelet „Atoun“	48
Obr. 18 Exoskelet „SuitX MAX“	49
Obr. 19 Exoskelet „EksoVest“	50
Obr. 20 Exoskelet „Levitate“ na výrobní lince Nissan	54
Obr. 21 Exoskelety „VEX a CEX“	55
Obr. 22 Exoskelet „EksoVest“ na výrobní lince Fordu	57
Obr. 23 Exoskelet „Ottobock“	59

Seznam tabulek

Tab. 1 Fyzická namáhavost práce a teplota	23
Tab. 2 Ergonomické úkoly, které je třeba provádět během postupu projektování	26
Tab. 3 Váhy exoskeletů pro dolní končetiny	62
Tab. 4 Seznam vybraných exoskeletů pro dolní končetiny	62
Tab. 5 Hodnocení exoskeletů pro dolní končetiny	63
Tab. 6 Váhy exoskeletů pro horní končetiny	64
Tab. 7 Seznam exoskeletů pro horní končetiny	64
Tab. 8 Hodnocení exoskeletů pro horní končetiny	64

ANOTAČNÍ ZÁZNAM

AUTOR	Andrii Kozak		
STUDIJNÍ PROGRAM/OBOR/SPECIALIZACE	6208R088 Podniková ekonomika a management provozu		
NÁZEV PRÁCE	Exoskelety v ergonomii automobilového průmyslu		
VEDOUCÍ PRÁCE	Ing. Tomáš Malčic		
KATEDRA	KRVLK – Katedra řízení výroby, logistiky a kvality	ROK ODEVZDÁNÍ	2020
POČET STRAN	77		
POČET OBRÁZKŮ	23		
POČET TABULEK	8		
POČET PŘÍLOH	0		
STRUČNÝ POPIS	<p>Práce se zaměřuje na analýzu trhu exoskeletů s cílem implementaci dané technologie na montážních linkách v automobilovém průmyslu pro zlepšení ergonomických podmínek. V práci jsou představeny nejnovější poznatky v oblasti ergonomie, vývoj technologie exoskelet a příklady implementace exoskeletů na výrobních linkách největších výrobců automobilu. Pomocí metody váženého součtu jsou porovnané některé z nejslibnějších a neúspěšnějších představitelů v této oblasti. V závěru práce je představená myšlenka o tom, že se v budoucnu exoskelety stanou důležitou částí montážního procesu.</p>		
KLÍČOVÁ SLOVA	Exoskelet, ergonomie, montážní proces, segment, faktor		

ANNOTATION

AUTHOR	Andrii Kozak		
FIELD	6208T088 Business Administration and Operations		
THESIS TITLE	Exoskeletons in the ergonomics of the automotive industry		
SUPERVISOR	Ing. Tomáš Malčic		
DEPARTMENT	KRVLK – Department of Production, Logistics and Quality Management	YEAR	2020
NUMBER OF PAGES	77		
NUMBER OF PICTURES	23		
NUMBER OF TABLES	8		
NUMBER OF APPENDICES	0		
SUMMARY	<p>The work focuses on the analysis of the exoskeleton market with the aim of implementing the technology on assembly lines in the automotive industry to improve ergonomic conditions. The work presents the latest knowledge in the field of ergonomics, the development of exoskeleton technology and examples of the implementation of exoskeletons on the production lines of the largest car manufacturers. Using the weighted sum model, some of the most promising and unsuccessful representatives in this field are compared. At the end of the work, the idea is presented that in the future exoskeletons will become an important part of the assembly process.</p>		
KEY WORDS	Exoskeleton, ergonomics, assembly process, segment, factor		