

**ČESKÉ VYSOKÉ  
UČENÍ TECHNICKÉ  
V PRAZE**

**FAKULTA  
STROJNÍ**



**TEZE  
DISERTAČNÍ  
PRÁCE**



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE  
FAKULTA STROJNÍ  
ÚSTAV ŘÍZENÍ A EKONOMIKY PODNIKU

TEZE DISERTAČNÍ PRÁCE

# Model a metodika pro komplexní ergonomické hodnocení pracoviště

*Ing. Martin Kyncl*

Doktorský studijní program: Strojní inženýrství

Studijní obor: Řízení a ekonomika podniku

Školitel: *prof. Ing. František Freiberg, CSc.*

Teze disertace k získání akademického titulu "doktor", ve zkratce "Ph.D."

Název anglicky: Model and methodology for complex ergonomic workplace evaluation

Disertační práce byla vypracována v prezenční formě doktorského studia na Ústavu řízení a ekonomiky podniku Fakulty strojní ČVUT v Praze.

Disertant: Ing. Martin Kyncl  
Ústav řízení a ekonomiky podniku, Fakulta strojní  
ČVUT v Praze  
Karlovo náměstí 13, Praha 2, 121 35

Školitel: prof. Ing. František Freiberg, CSc.  
Ústav řízení a ekonomiky podniku, Fakulta strojní  
ČVUT v Praze  
Karlovo náměstí 13, Praha 2, 121 35

Školitel-specialista: doc. Ing. Jan Vlachý, Ph.D.  
Ústav ekonomiky a managementu, VŠCHT v  
Praze  
Jankovcova 23, Praha 7, 170 00

Oponenti: doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.  
prof. Ing. et Ing. Mgr. Jana Petřů, Ph.D.  
doc. Ing. Aleš Herman, Ph.D.

Teze byly rozeslány dne: .....

Obhajoba disertace se koná dne ..... v ..... hod,  
v zasedací místnosti č. 234 (v 2. patře) Fakulty strojní ČVUT v Praze, Karlovo  
Náměstí 13, Praha 2

před komisí pro obhajobu disertační práce ve studijním oboru řízení a  
ekonomika podniku.

S disertací je možno se seznámit na oddělení vědy a výzkumu Fakulty strojní  
ČVUT v Praze, Technická 4, Praha 6.

prof. Ing. František Freiberg, CSc.  
předseda oborové rady oboru řízení a ekonomika podniku  
Fakulta strojní ČVUT v Praze

## **Obsah**

1	Současný stav zkoumané problematiky .....	6
1.1	Legislativa v EU a ČR.....	9
1.2	Nemoci z povolání.....	11
1.3	Hodnocení ergonomičnosti pracoviště.....	13
1.4	Stanovení cílů disertační práce .....	15
2	Návrh modelu a metodiky hodnocení ergonomičnosti pracoviště .....	16
2.1	Zjednodušený model.....	16
2.2	Model a metodika komplexního hodnocení ergonomičnosti pracoviště 18	
2.3	Přehled a shrnutí výsledků.....	22
3	Ověření modelu a metodiky hodnocení ergonomičnosti pracoviště.....	24
3.1	Ověření v laboratorních podmínkách .....	25
3.2	Ověření v reálném podniku .....	27
4	Závěry a diskuze výsledků .....	31
4.1	Splnění cílů práce .....	34
4.2	Důsledky pro průmyslovou praxi a navazující výzkum.....	36
	Publikace autora související s tématem disertace.....	38
	Seznam použité literatury v tezích .....	40
	Anotace .....	46
	Annotation.....	47
	Bez ohlasů a recenzí.....	48

## **1 Současný stav zkoumané problematiky**

V následujícím textu bude popsán současný stav poznání v oblasti ergonomie, legislativní rámec ergonomie a také stanovení oblastí vlastního výzkumu. Současný stav poznání v oblasti ergonomie ukazuje, že ergonomický design může hrát klíčovou roli v prevenci nemocí z povolání a zlepšení produktivity a spokojenosti zaměstnanců. Po vzoru Evropské unie se v České republice stává z ergonomie neoddiskutovatelná součást průmyslu. I přes vysoké nároky na produktivitu práce, kvantitu produkce a nízké výrobní náklady se české podniky v čím dál větší míře začínají věnovat pracovním podmínkám svých zaměstnanců. Právě v oblasti ergonomie se průmyslové podniky začínají zabývat návrhem pracovního prostředí a technologií tak, aby byly co nejefektivnější, pohodlnější a bezpečnější pro lidi, kteří je používají. Současný stav poznání v oblasti ergonomie ukazuje, že ergonomický design může hrát klíčovou roli v prevenci nemocí z povolání a zlepšení produktivity a spokojenosti zaměstnanců.

### **Současný stav ergonomie**

Základním mottem průmyslové praxe je minimalizovat riziko úrazů a zdravotních problémů spojených s pracovním prostředím, jako jsou například bolesti zad, syndrom karpálního tunelu nebo nádorová onemocnění. Současné výzkumy ukazují, že ergonomický design může pomoci snížit tato rizika a zlepšit zdraví a pohodu zaměstnanců. Z výše popsaného textu vyplývá, že oblast ergonomie je multidisciplinární disciplína, kde jednotlivé vstupy je nutné charakterizovat na základě znalostní základny, viz následující schéma na Obr. 1.



Obr. 1: Znalostní základna ergonomie [1]

Znalostní základnu je možné rozdělit do tří primárních oblastí. První oblastí jsou biologicko-medicínské vědy, kam spadá podoblast fyziologie práce. Zde se jedná o aplikovanou lékařskou vědu, která zkoumá činnost jednotlivých orgánů a lidského organismu jako celku v okamžiku, kdy je práce vykonávána, a to v konkrétním čase a prostředí. Znalosti z fyziologie práce jsou využívány pro řešení úloh na téma produktivita práce, udržení zdraví a prodloužení pracovně činného věku zaměstnanců. Druhou podoblastí je pracovní lékařství, které zahrnuje metody a postupy pro diagnostiku změn fungování jednotlivých orgánů lidského organismu v souvislosti s vykonávanou prací. Poslední podoblastí, která spadá pod biologicko-medicínské vědy je antropometrie. Jedná se o vědní obor, který poskytuje projektantům a designérům údaje o rozměrech, pohyblivosti a možnostech zatížení těch částí lidského těla, které jsou nutné respektovat při navrhování a projektování systémů člověk - technika - prostředí.

Druhou oblastí jsou psycho-sociální vědy, kam spadá podoblast sociologie práce. Zde se zkoumá, vliv práce na sociální roli a postavení toho, kdo ji za určitých pracovních podmínek provádí. Do této oblasti dále spadá podoblast

psychologie práce. Zde se jedná o vědní disciplínu, která se zabývá projevy psychiky člověka v pracovním procesu, které jsou vlivem práce a pracovního prostředí. Poslední podoblastí, která spadá pod psycho-sociální vědy je pracovní pedagogika. Ta se zabývá problematikou osvojování teoretických poznatků a pracovních návyků, kdy jsou právě tyto poznatky aplikovány při praktickém vyučování, zácviku, rekvalifikaci a například osvojování si nových metod práce.

Třetí oblastí jsou technické a ekonomické vědy, kam spadají právě technické vědy jako celek. Právě technické vědy hrají klíčovou roli v oblasti tvorby znalostní základny ergonomie zaměřené na praktické návody na konstruování strojů a zařízení, nástrojů, přípravků, nářadí, návody na stanovení optimálních režimů práce strojů a zařízení, určování tendence vývoje techniky a technologie výroby. Druhou velice důležitou podoblastí je ekonomika práce. Ta sumarizuje data o způsobech a postupech provádění pracovních činností s minimální spotřebou času a co nejnižší pracností. Hlavním cílem je řešení problematiky efektivní realizace pracovních pohybů, sdružování pracovních pohybů, výběr a posuzování kritérií ekonomiky pracovních postupů. Poslední podoblastí, která spadá pod technické a ekonomické vědy je tzv. vědecká organizace práce. Jedná se o soubor obecných zásad, návodů a postupů, které mají za cíl optimalizovat organizaci pracovního procesu s ohledem na maximální efektivitu.

Ergonomie práce hraje klíčovou roli v zajišťování bezpečného, zdravého a produktivního pracovního prostředí. V této souvislosti je důležité pochopit legislativní rámec, který tuto oblast upravuje, a zohlednit problematiku nemocí z povolání, které mohou být důsledkem nedodržování ergonomických principů. Tato práce se zaměřuje na zákony, vyhlášky a další právní předpisy,



jež mají za cíl chránit zaměstnance před pracovními riziky a zlepšit kvalitu pracovního života. Kromě toho budeme analyzovat některé z nejčastějších nemocí z povolání souvisejících s ergonomií, jejich prevenci a možnosti nápravy, které mohou přispět ke snížení počtu těchto onemocnění na pracovištích. [1]

Celkově lze říci, že ergonomie zůstává klíčovým faktorem v oblasti prevence nemocí z povolání a zlepšení pracovních podmínek pro zaměstnance. V současné době se ergonomický design stává stále více sofistikovaným a přizpůsobivým, aby lépe odpovídal potřebám moderního pracovního prostředí.

### **1.1 Legislativa v EU a ČR**

Evropská unie má celou řadu právních předpisů, které se týkají ergonomie práce a ochrany zdraví zaměstnanců. Základním dokumentem je Směrnice Evropského parlamentu a Rady 89/391/EHS o zavedení opatření ke zlepšení bezpečnosti a ochrany zdraví při práci. Tato směrnice stanoví základní požadavky pro ochranu zdraví a bezpečnost zaměstnanců a všechny členské státy EU jsou povinny ji převést do svých vnitrostátních právních předpisů.

V Evropské unii existuje také Evropská agentura pro bezpečnost a ochranu zdraví při práci (EU-OSHA), která zajišťuje poskytování informací a rad o ergonomii práce a propaguje osvětu v této oblasti. Celkově lze říci, že ergonomie práce je v Evropské unii řešena s ohledem na bezpečnost a ochranu zdraví pracovníků a že existuje legislativní rámec, který stanovuje minimální požadavky na ergonomický design pracovních stanic a použití osobních ochranných prostředků.

Základním právním předpisem České republiky na úsek pracovního práva je zákon č. 262/2006 Sb., zákoník práce, ve znění pozdějších předpisů (zákoník

práce), který upravuje především právní vztahy mezi zaměstnavateli a zaměstnanci při výkonu závislé práce nebo v souvislosti s ním. [2]

Dalším důležitým právním předpisem v oblasti ergonomie práce je zákon č. 309/2006 Sb., který upravuje další požadavky na bezpečnost a ochranu zdraví při práci a na zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při práci nebo poskytování služeb mimo zaměstnání. [3] Zpracovává příslušné předpisy Evropské unie a upravuje v návaznosti na zákon č. 262/2006 Sb., zákoník práce. Zákon definuje požadavky na pracoviště a pracovní prostředí na stanovišti, výrobní a pracovní prostředky a zařízení, organizaci práce a pracovní postupy, bezpečnostní značky, značení a signály.

Zákon č. 258/2000 Sb. je zákon o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů, který postihuje tzv. kategorizaci práce. [4] Práce je rozdělena do čtyř kategorií podle míry výskytu faktorů, které mohou ovlivnit zdraví zaměstnanců a jejich zdravotní riziko.

Nařízení vlády č. 101/2005 Sb., které zahrnuje příslušné předpisy Evropských společenství a upravuje další požadavky na zajištění bezpečnosti práce a pracovního prostředí. Pracoviště musí být po dobu provozu udržována potřebnými technickými a organizačními opatřeními, splňujícími požadavky tohoto nařízení, ve stavu, který neohrožuje bezpečnost a zdraví osob. [5]

V souvislosti s řešením této práce je také nutné zmínit vyhlášku č. 432/2003 Sb., která se zabývá kategorizací prací a vyjadřuje souhrnné hodnocení úrovně zátěže zaměstnanců faktory rozhodujícími ze zdravotního hlediska o kvalitě pracovních podmínek. [6] Vyhláška č.432/2003 Sb. ustanovuje konkrétní čtyři kategorie práce a upravuje další limity pro pracovní zátěž. S touto kategorizací se dále pracuje v nařízení vlády č. 361/2007 Sb. nebo v již zmíněném zákoně o ochraně zdraví člověka při práci. [7]

Vyhláška dále stanovuje podmínky pro zařazování prací do kategorií, limitní hodnoty ukazatelů biologických expozičních testů, podmínky odběru biologického materiálu pro provádění biologických expozičních testů a náležitosti hlášení prací s azbestem a biologickými činiteli, posuzuje výskyt a míra působení 13 faktorů pracovních podmínek, viz následující Obr. 2.

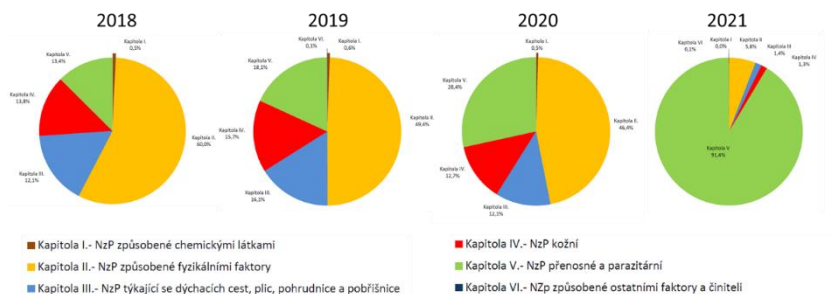


Obr. 2: Faktory pracovních podmínek [6]

## 1.2 Nemoci z povolání

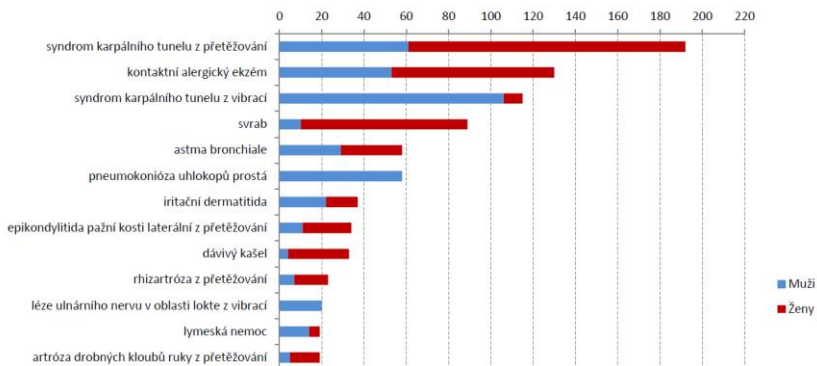
Nemoci z povolání se dělí celkem do šesti kapitol, kdy právě kapitola II, která definuje nemoci z povolání způsobené fyzikálními faktory, hraje nejvýznamnější roli v kontextu řešení této disertační práce. Dle struktury hlášených případů nemocí z povolání podle velikostí podniků v roce 2018 a v roce 2019 je patrné, že i podniky nad 500 zaměstnanců mají poměrně hodně výskytů nemocí z povolání, konkrétně v roce 2018 a 2019 byly podniky v rozmezí 500 až 999 zaměstnanců s nejvyšším absolutním počtem výskytů nemocí z povolání. V souvislosti s velikostí podniků, bude použitelnost modelu pro hodnocení ergonomie pracoviště univerzální a další směřování

práce se nebude omezovat na konkrétní velikost podniku. Dále se model bude z pohledu typu pracoviště primárně orientovat na procesy montážního charakteru. Montáž je v průmyslové výrobě jednou z nejnáročnějších činností, kde je zaměstnáno největší množství pracovníků. Právě při montážních činnostech vznikají nejčastější typy nemocí z povolání jako například syndrom karpálního tunelu z přetěžování. V oblasti montážních pracovišť budou do aplikovatelnosti modelu zahrnuta pracoviště jak na práci vestoje, tak na práci vsedě.



Obr. 3: Struktura hlášených případů nemocí z povolání podle kapitol seznamu nemocí z povolání v letech 2018 – 2021 [8] [9] [10] [11]

Syndrom karpálního tunelu z přetěžování vzniká nejčastěji díky nadměrnému jednostrannému přetěžování končetiny a nadlimitními vibracemi, které jsou přenášeny na horní končetiny, kdy právě tyto aspekty jsou charakteristické pro sériovou, monotónní výrobu. Další směřování práce se v oblasti sériovosti bude věnovat pouze výrobě sériové, nikoliv kusové výrobě. Dalším krokem při řešení disertační práce bude provedení rešerše stávajících metod a přístupů pro hodnocení ergonomie pracovišť s ohledem na legislativu České republiky.



Obr. 4: Nejčastěji se vyskytující diagnózy hlášených případů nemocí z povolání v roce 2018 [8]

### 1.3 Hodnocení ergonomičnosti pracoviště

V předchozí kapitole je popsána široká škála metod, jako nástrojů pro hodnocení ergonomických rizik z fyzické zátěže pracovníka. Z titulu četnosti nemocí z povolání je právě hodnocení fyzické zátěže velmi důležité. V této kapitole bude provedeno porovnání výše popsaných metod pro hodnocení fyzické zátěže.

Všechna kritéria jsou stanovena tak, aby bylo při porovnání zřejmé, jak je efektivní práce s danou metodou hodnocení fyzické zátěže, zda daná metoda koresponduje s platnou legislativou České republiky a jaké parametry fyzické zátěže hodnotí. Kritéria jsou zároveň stanovena tak, aby bylo možné při porovnání jednotlivých metod určit nedostatky pro stanovení okrajových podmínek nové metody pro komplexní hodnocení ergonomičnosti pracoviště. Vlastní porovnání jednotlivých metod je uvedeno v následující Tab. 1.

Tab. 1: Porovnání metod pro hodnocení fyzické zátěže

Hodnotící kritérium		Metoda							
		RULA	REBA	OWAS	OCRA index	NIOSH RWL a LI	Snook a Ciriello	EAWS	KIM
Obsluha	Časová náročnost	Nizká	Střední	Střední	Vysoká	Nizká	Střední	Vysoká	Střední
	Odbornost/zkušenost uživatele	Nizká	Nizká	Střední	Střední	Nizká	Střední	Vysoká	Střední
	Subjektivita	Vysoká	Vysoká	Vysoká	Vysoká	Nizká	Nizká	Vysoká	Vysoká
	Časové metody	NE	ANO	NE	ANO	NE	NE	ANO	NE
	Přístup k posuzování	Posturální	Posturální	Srovnávací	Srovnávací	Matematická	Tabulková	Srovnávací	Srovnávací
Legislativa ČR	ČSN EN 1005	NE	NE	NE	ANO	ANO	NE	ANO	ANO
	ČSN EN 614	NE	NE	NE	NE	NE	NE	ANO	ANO
	NV 361	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
Fyzická zátěž	Hodnocení fyzické zátěže	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO
	Hodnocení poloh	ANO	ANO	ANO	ANO	NE	NE	ANO	ANO
	Manipulace s břemeny	NE	NE	NE	NE	ANO	ANO	ANO	ANO
	Počet pohybů	NE	NE	NE	ANO	NE	NE	NE	ANO

Z provedené literární rešerše vyplývá, že existující přístupy nejsou schopny poskytnout komplexní zhodnocení ergonomičnosti pracoviště a existující metody nejsou schopny poskytnout celistvý ergonomický pohled na ergonomičnost daného pracoviště, což je zapříčiněno tím, že jednotlivé metody mohou dávat různé výsledky, které se mohou překrývat, ale mohou si i odporovat. Další zásadním problémem dostupných metod je rozdíl mezi generovanými výstupy a legislativou České republiky. Všechny porovnávané metody jsou schopny hodnotit fyzickou zátěž, ale ne všechny hodnotí pracovní polohy, počty pohybů a manipulaci s břemeny. Aby byla nová metoda určena pro komplexní hodnocení fyzické zátěže, pak musí být schopná provádět analýzy a hodnocení nejen fyzické zátěže, ale i hodnocení pracovních poloh, manipulaci s břemeny, počty pohybů, ale i další parametry jako například hluk, vibrace, nebo i ergonomický design. Je nutné podotknout, že právě

fyzická zátěž je klíčový parametr pro identifikaci možných problémů v podobě nejčastěji uznaných nemocí z povolání.

Žádná z hodnocených metod nedává konkrétní návrhy na řešení nevyhovujícího stavu fyzické zátěže nebo pracoviště a nenabízí komplexní hodnocení ergonomičnosti pracoviště, které by bylo rychle realizovatelné s nižšími požadavky na obsluhu. Mým hlavním cílem je vytvořit model pro všechny typy pracovišť v průmyslu, a ne pouze pro průmysl automobilový, jak je tomu u mnoho stávajících metod.

#### **1.4 Stanovení cílů disertační práce**

Hlavním cílem disertační práce je na základě teoretického základu znalosti legislativního rámce navrhnout model a metodiku pro komplexní posouzení ergonomičnosti pracoviště aplikovatelnou v průmyslové praxi. Dílčím cílem je tuto metodu co nejvíce zjednodušit pro univerzální a rychlou aplikaci v průmyslu.

K dosažení tohoto cíle jsem samotné řešení disertační práce rozdělil do následujících dílčích cílů:

- 1. Stanovení hodnotících faktorů a charakteristiky jejich limitů s ohledem na legislativní rámec**
- 2. Návrh zjednodušeného modelu pro komplexní posouzení ergonomičnosti pracoviště**
- 3. Vlastní návrh modelu a metodiky pro komplexní posouzení ergonomičnosti pracoviště**
- 4. Ověření vyvinutého modelu a metodiky pro komplexní posouzení ergonomičnosti pracoviště**

## **2 Návrh modelu a metodiky hodnocení ergonmičnosti pracoviště**

Tato kapitola se věnuje vlastnímu návrhu modelu a metodiky pro komplexní hodnocení ergonmičnosti pracoviště. V tomto případě je hlavním cílem práce zlepšit kvalitu interakce mezi člověkem a okolními podmínkami při realizaci výrobního či montážního procesu, zejména pak snížit riziko vzniku onemocnění pohybového aparátu, především onemocnění páteře a horních končetin z přetížení. Vlastní řešení disertační práce ve své návrhové části přímo zohledňuje legislativu České republiky, která hraje klíčovou roli pro zpracování nové metodiky a modelu hodnocení ergonmičnosti pracoviště. Dalším významným činitelem, který ovlivňuje zpracování modelu a metodiky jsou data týkající se hlášených nemocí z povolání v České republice. Poslední obecnou podmínkou pro zpracování modelu a metodiky je její univerzálnost a použitelnost napříč průmyslem.

### **2.1 Zjednodušený model**

Hlavním úkolem stanovení zjednodušeného modelu pro komplexní hodnocení ergonmičnosti pracoviště je stanovení okrajových podmínek pro realizaci vlastního modelu pro hodnocení ergonmičnosti pracoviště. Hlavním rámcem a zároveň první okrajovou podmínkou modelu jsou nemoci z povolání. V této souvislosti bude model hrát důležitou roli v prevenci vzniku a v odhalování možných příčin nemocí z povolání z titulu nevhodných podmínek pracovního procesu. Z pohledu diagnostikovaných nemocí z povolání jsou nemoci z povolání způsobené fyzikálními faktory nejvýznamnější a nejčetnější, proto hlavní zaměření modelu bude právě na fyzikální faktory.

Druhou okrajovou podmínkou modelu je stanovení souladu s platnou legislativou České Republiky. Zde je nutné zahrnout vyhlášku č. 432/2003 Sb.,



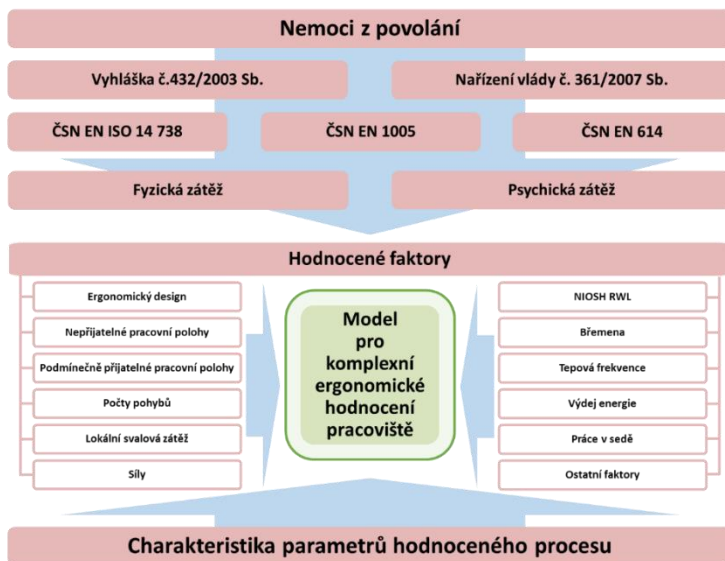
kteřá se zabývá kategorizací prací a vyjadřuje souhrnné hodnocení úrovně zátěže zaměstnanců faktory rozhodujícími ze zdravotního hlediska o kvalitě pracovních podmínek. Ovšem z pohledu zpracování této disertační práce je nejdůležitějším legislativním předpisem nařízení vlády č. 361/2007 Sb., které je svým obsahem provázané s výše zmiňovanou vyhláškou č. 432/2003 Sb. Nařízení vlády stanovuje minimální opatření k ochraně zdraví při práci. Zabývá se rizikovými faktory, jejich členěním a hodnocením.

Třetí okrajovou podmínku pro zpracování modelu je vymezení typu zátěže, kterou bude hodnotit. Z titulu nemocí z povolání je nejvýznamnější fyzická zátěž. Nicméně i hodnocení psychické zátěže je velice důležité, zejména pro pracovní pohodu a předcházení pracovních úrazů. Proto bude model schopen částečně hodnotit i psychickou zátěž. [K1]

Všechny výše zmíněné okrajové podmínky vedou ke stanovení hodnocených faktorů ergonmičnosti pracoviště.

Mezi hodnocené faktory patří ergonomický design, hodnocení nepříjemné pracovní polohy, hodnocení podmínečně přijatelné pracovní polohy, hodnocení počtu pohybů, hodnocení lokální svalové zátěže, hodnocení sil, využití metody NIOSH RWL, hodnocení manipulace s břemeny, hodnocení tepové frekvence, výdeje energie, dále pak hodnocení práce v sedě a dalších ostatních faktorů, kam spadá například psychická zátěž a zraková zátěž. Posledním vstupem do modelu budou poté konkrétní charakteristiky parametrů hodnoceného procesu. Vlastní model bude součástí metodického postupu, pro zpracování komplexního hodnocení ergonmičnosti pracoviště.

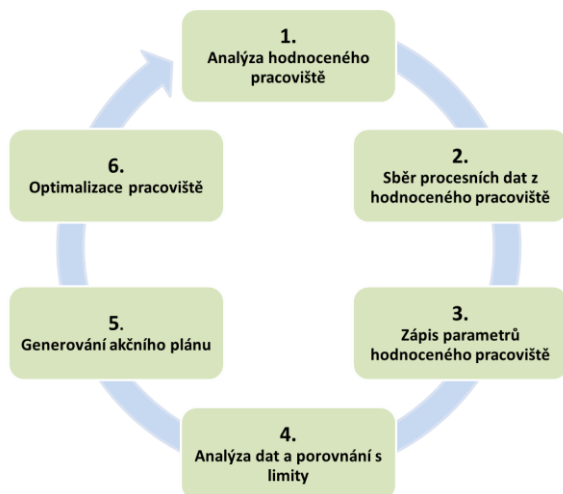
Zjednodušený model pro komplexní hodnocení ergonmičnosti pracoviště je uveden na následujícím Obr. 5.



Obr. 5: Zjednodušený model pro komplexní ergonomické hodnocení pracoviště

## 2.2 Model a metodika komplexního hodnocení ergonomičnosti pracoviště

V této kapitole jsou uvedeny výsledky práce spojené s realizací modelu a metodiky pro komplexní hodnocení ergonomičnosti pracoviště. Je zde popsána realizace modelu a metodiky pro komplexní hodnocení ergonomičnosti pracoviště. Na následujícím Obr. 6 je uvedeno základní schéma metodiky pro komplexní hodnocení ergonomičnosti pracoviště.

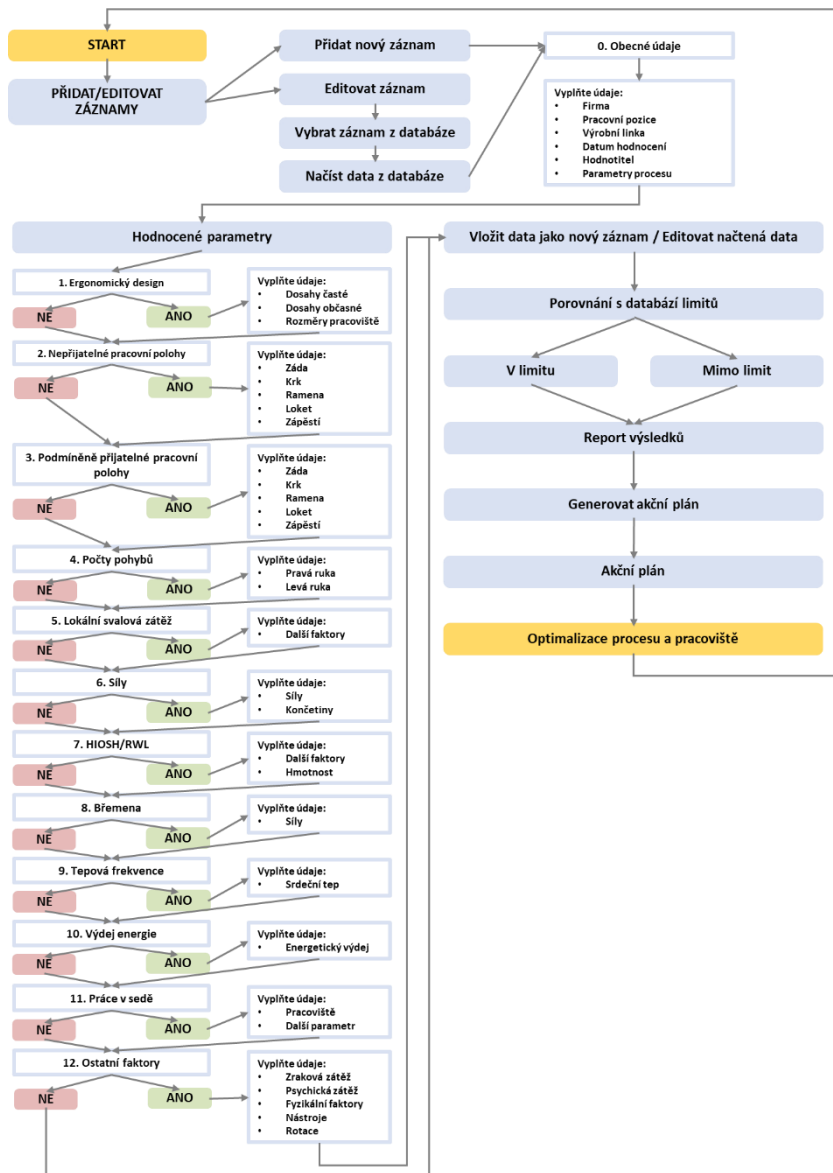


Obr. 6: Metodika pro komplexní hodnocení ergonomičnosti pracoviště

Schéma zobrazuje metodický návod, jak postupovat při hodnocení ergonomičnosti pracoviště. Prvním krokem je provedení fyzické analýzy hodnoceného pracoviště. V tomto kroku je nutné provést analýzu pracoviště, jeho vybavení a následně také celého procesu. Zde doporučuji pořídit fotografie pracoviště a jeho vybavení, a dále také video záznam celého procesu, tak aby bylo možné zpětně ověřit všechna data. Druhým krokem je sběr dat z hodnoceného pracoviště. V tomto kroku se jedná primárně o data o pracovišti a jeho vybavení, jako jsou například rozměry pracoviště, vzdálenosti dosahu operátora, intenzita osvětlení, intenzita hluku a teplota. Součástí tohoto kroku je také sběr dat k samotnému procesu, tedy dat, která se týkají interakce člověka s pracovištěm a předmětem práce. Zde je nutné zaznamenat veškerá procesní data, která týkají nepříjemných poloh, podmíněčně přijatelných poloh, počtu pohybů, lokální svalové zátěže, data o využitých silách operátora, manipulace s břemeny, tepová frekvence a výdej energie. Třetím krokem je zápis dat do formuláře modelu. Čtvrtým krokem je provedení vlastní analýzy

zapsaných dat a porovnání dat s legislativními a normativními limity. Na základě takto provedené analýzy je možné vygenerovat akční plán, jako soubor kroků pro optimalizaci stávajícího stavu pracoviště. Posledním krokem je pak vlastní optimalizace pracoviště na základě námětů z akčního plánu. V okamžiku, kdy je provedena optimalizace pracoviště a operátor je zapracovaný do optimalizovaného procesu je možné celý koloběh zopakovat v rámci systému kontinuálního zlepšování.

Procesní schéma modelu pro komplexní hodnocení ergonomičnosti pracoviště představuje jednoznačně určený postup činností, které vedou k aplikaci modelu pro řešení konkrétního ergonomického problému. Procesní schéma zobrazuje běh a rozhodovací pravidla pro dosažení stanoveného cíle. Vlastní algoritmus celého modelu je sestaven z konečného počtu jednoduchých a velice snadno realizovatelných činností, které vedou k porovnání hodnocených parametrů se stanovenými limity. Každý krok práce v modelu je přesně a jednoznačně určen současným stavem řešení, kdy po každém kroku lze tedy určit, zda popisovaný proces skončil či neskončil, případně jak má dále pokračovat. Algoritmus je formulován konečným počtem kroků, které vedou k jednoznačnému řešení konkrétní úlohy. Jako nejvhodnější formu pro znázornění algoritmu fungování modelu je stanovení procesního schéma. Procesní schéma zpracované v software Microsoft Powerpoint je uvedeno na následujícím Obr. 7.



Obr. 7: Procesní schéma modelu pro komplexní hodnocení ergonomičnosti pracoviště

### 2.3 Přehled a shrnutí výsledků

Reporting přehledu výsledků plně vychází z dat z provedené analýzy. Výstupní přehled výsledků modelu pro komplexní hodnocení ergonomičnosti pracoviště je uveden na následujícím Obr. 8. Přehled výsledků je rozdělen do celkem třech hlavních částí, které slouží ke komplexnímu hodnocení ergonomičnosti pracoviště.

Přehled výsledků						
Charakter práce:						
Celkové hodnocení						
Číslo	Název práce	Počet hodnocených faktorů	Legislativní překročení	Celkový počet překročení	Procento překročení	
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
Souhrnné hodnocení:						

Obr. 8: Přehled výsledků modelu pro komplexní hodnocení ergonomičnosti pracoviště

Akční plán modelu pro komplexní hodnocení ergonomičnosti pracoviště je nástroj určený pro následnou optimalizaci pracoviště, procesu či operace s cílem zlepšení ergonomičnosti pracoviště tak, aby došlo v maximální míře k eliminaci rizika vzniku nemoci z povolání. Výstupní akční plán modelu pro komplexní hodnocení ergonomičnosti pracoviště je uveden na následujícím Obr. 9. Akční plán je zpracován tak, aby obsahoval informace důležité pro řešení zjištěných problémů, které souvisí s ergonomičností pracoviště.

Akční plán										
Číslo	Zánamy / Opis práce	Kategorie	Zjištěný problém	Zjištěný stav	Limit	Priorita	Komentář	Zodpovědná osoba	Datum úpravy	Nový stav
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										

Obr. 9: Akční plán modelu pro komplexní hodnocení ergonmičnosti pracoviště

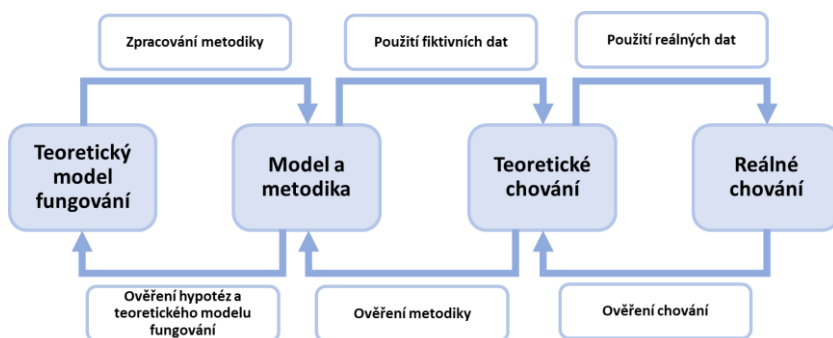
Na základě provedené rešerše ergonomie a rešerše hodnocení ergonmičnosti pracovišť byl sestaven zjednodušený model pro komplexní hodnocení ergonmičnosti pracoviště. Tento zjednodušený model slouží ke stanovení okrajových podmínek pro realizaci vlastního modelu a metodiky pro hodnocení ergonmičnosti pracoviště. První okrajovou podmínkou modelu je prevence vzniku a odhalování možných příčin nemocí z povolání z titulu nevhodných podmínek pracovního procesu.

Druhou okrajovou podmínkou modelu je stanovení souladu s platnou legislativou České Republiky. Zde byla zahrnuta vyhláška č. 432/2003 Sb., která se zabývá kategorizací prací a vyjadřuje souhrnné hodnocení úrovně zátěže zaměstnanců faktory rozhodujícími ze zdravotního hlediska o kvalitě pracovních podmínek, dále bylo zahrnuto nařízení vlády č. 361/2007 Sb., které stanovuje minimální opatření k ochraně zdraví při práci.

Takto stanovený zjednodušený model pro komplexní hodnocení ergonmičnosti pracoviště, který zohledňuje výše zmíněné okrajové podmínky, které vedou ke stanovení hodnocených faktorů ergonmičnosti pracoviště sloužil jako základní stavební kámen pro zpracování vlastního modelu a metodiky pro komplexní hodnocení ergonmičnosti pracoviště.

### 3 Ověření modelu a metodiky hodnocení ergonomičnosti pracoviště

Ověření modelu a metodiky pro komplexní hodnocení ergonomičnosti pracoviště je založeno na kontrole pravdivosti funkčních vazeb a logického systému vlastního modelu a metodiky. Je nutné ověřit, zda je teoreticky postavený model použitelný v praxi, a že výsledky získané za použití modelu odpovídají reálným měřením. Ověřování modelu má několik fází, které jsou uvedeny na následujícím Obr. 10.



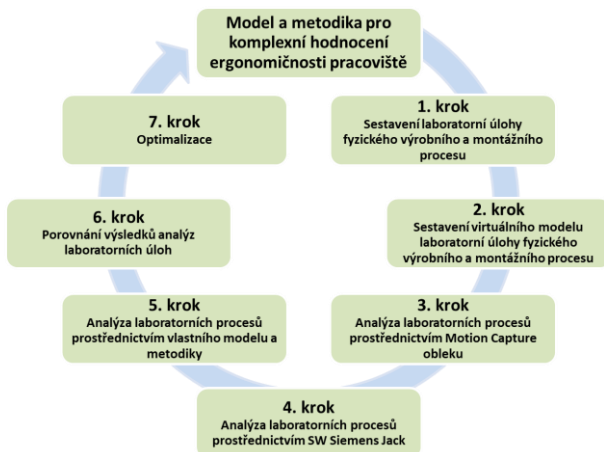
Obr. 10: Schéma ověření modelu a metodiky pro komplexní hodnocení ergonomičnosti pracoviště [12]

Zpracovaný model a metodiku pro komplexní hodnocení ergonomičnosti pracoviště bylo nutné ověřit ve třech fázích. První fází testování modelu a metodiky pro komplexní hodnocení ergonomičnosti pracoviště bylo testování vlastní funkčnosti SW na základě fiktivních dat, kdy v průběhu zpracování modelu byly jednotlivé formuláře testovány prostřednictvím předem stanoveného postupu vkládání fiktivních dat.

Druhou fází testování modelu a metodiky pro komplexní hodnocení ergonomičnosti pracoviště bylo ověření generovaných výsledků na základě



provedených laboratorních zkoušek. Postup ověření modelu a metodiky v prostřednictvím laboratorních zkoušek je uveden na následujícím Obr. 11.



Obr. 11: Postup druhé fáze testování modelu a metodiky pro komplexní hodnocení ergonomičnosti pracoviště laboratorními zkouškami

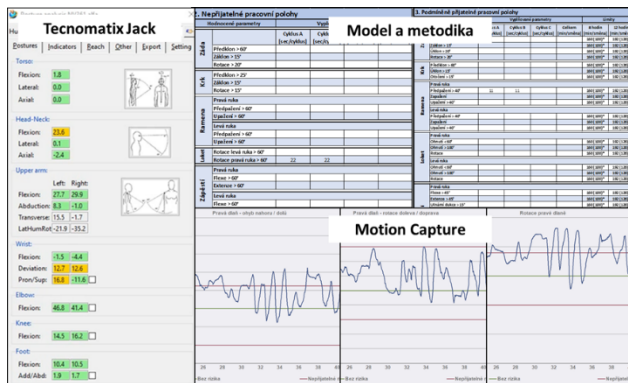
### 3.1 Ověření v laboratorních podmínkách

Prvním krokem druhé fáze testování modelu a metodiky pro komplexní hodnocení ergonomičnosti pracoviště bylo navržení a sestavení laboratorní úlohy fyzického výrobního a montážního procesu. Fyzický model laboratorní úlohy vznikl v laboratoři technologického projektování na Ústavu technologie obrábění, projektování a metrologie fakulty strojní ČVUT v Praze s ohledem na dostupnost vybavení v laboratořích. Fyzický model laboratorní úlohy reprezentuje výrobně montážní pracoviště určené pro montáž drobných komponent do montážního celku flash disku. Ve druhém kroku bylo na základě sestavené fyzické úlohy vytvořeno digitální dvojče laboratorní úlohy v SW Autodesk Inventor. Fyzická laboratorní úloha a její digitální dvojče ve formě virtuálního 3D modelu je zobrazeno na následujícím Obr. 12.



Obr. 12: Vybraná laboratorní úloha montáže (vlevo fyzická úloha, uprostřed s využitím Motion Capture, vpravo digitální dvojče v SW Siemens Tecnomatix Jack)

Na výše uvedeném obrázku je uvedena fyzická realizace úlohy montáže (obrázek vlevo), dále pak záznam z Motion Capture obleku (obrázek uprostřed) a záznam z digitálního dvojčete vytvořeného SW Siemens Tecnomatix Jack. Na této vybrané úloze montáže byly také realizovány postupně analýzy za použití Motion Capture obleku, SW Siemens Tecnomatix Jack a vlastního modelu a metodiky pro komplexní hodnocení ergonomičnosti pracoviště. Ukázka záznamů z analýz je uvedena na následujícím Obr. 13.



Obr. 13: Přehled záznamů z provedených analýz vybrané laboratorní úlohy montáže

Na základě výsledků analýz byla v sedmém kroku druhé fáze testování provedena finální drobná optimalizace limitů modelu a metodiky pro komplexní hodnocení pracoviště. Dále byl model a metodika na základě zjištění drobně upraven z pohledu uživatelské přívětivosti a vizuálního zobrazení. V rámci technického provedení a funkčnosti nebyly nalezeny v podstatě žádné nedostatky. V rámci této druhé fáze testování byla navíc ověřena a vyhodnocena přesnost a správnost možného subjektivního posouzení některých parametrů zkušebních hodnotitelů pomocí vyhodnocení těchto parametrů pomocí Motion Capture obleku. Zde nedošlo k výrazným odchylkám. Lze konstatovat, že model je splňuje zadání a je možné ho dále ověřit v reálném provozu.

### **3.2 Ověření v reálném podniku**

Třetí fáze testování je zaměřena na ověření generovaných výsledků modelem a metodikou pro komplexní hodnocení pracoviště akreditovanou laboratoří. Jedná se o závěrečnou fázi testování a ověření funkčnosti modelu, kdy optimalizovaný, finální model a metodika byla aplikována na hodnocení konkrétních pracovišť výrobního charakteru v oblasti výroby žárovzdorných materiálů a konkrétních pracovišť montážního charakteru v oblasti výroby elektromotorů v reálném výrobním podniku.

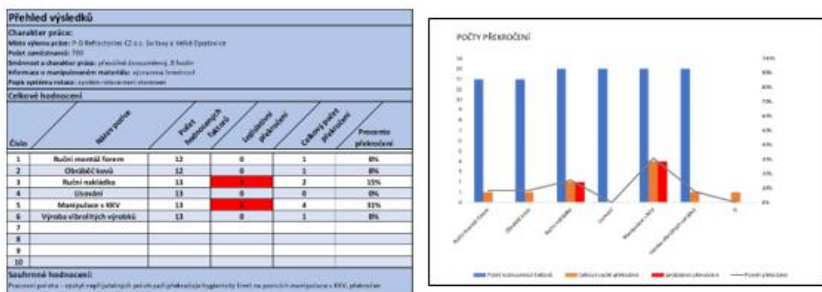
Finální model a metodika byla dále aplikována na hodnocení konkrétních pracovišť výrobního charakteru v oblasti výroby žárovzdorných výrobků v reálném výrobním podniku. Pro toto ověření byla vybrána společnost P-D Refractories CZ a.s. Model a metodika byly použity na pracovištích výroby keramických komínových vložek, dinasů, vibrolitých materiálů a forem, a to na několika pozicích, konkrétně například surová výroba KKV, lisování, nakládka, obrábění kovů a montáž kovových forem. [K3, K5, K6, K7]

Na následujícím Obr. 14 jsou výstřižky z pořízeného videa sloužícího pro analýzu operace manipulace s KKV.



Obr. 14: Operace manipulace s KKV

Po zadání dat do jednotlivých formulářů byly informace vloženy do databáze. Následně automatickým krokem byla data porovnána s limitními hodnotami pro jednotlivé kategorie, kdy limitní parametry vycházejí primárně z NV361/2007 a metodiky NIOSH RWL pro hodnocení zátěže při manipulaci s břemeny. Na následujícím Obr. 15 je pak zobrazen přehledu výsledků a grafického výstupu přehledu výsledků analýzy provedené ve výrobním podniku.

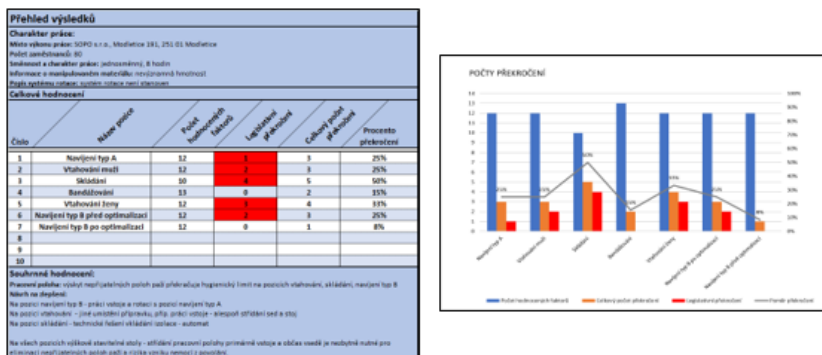


Obr. 15: Ukázka přehledu výsledků a grafického výstupu přehledu výsledků analýzy provedené ve výrobním podniku

Pro ověření modelu a metodiky v oblasti montáže byla vybrána společnost SOPO, s.r.o. Tato společnost se zabývá zejména navíjením, konkrétně na výrobu statorů a rotorů, které lze využít ve všech typech elektromotorů.

Model a metodika byly použity na operacích navíjení, skládání, bandážování, vtaňování a kontroly na různých typech a velikostech výrobků. [K2, K4]

Po zadání dat do jednotlivých formulářů byly informace vloženy do databáze. Následně automatickým krokem byla data porovnána s limitními hodnotami pro jednotlivé kategorie, kdy limitní parametry vycházejí primárně z NV361/2007 a metodiky NIOSH RWL pro hodnocení zátěže při manipulaci s břemeny. Na následujícím Obr. 16 je pak zobrazen přehledu výsledků a grafického výstupu přehledu výsledků analýzy provedené ve výrobním podniku.



*Obr. 16: Ukázka přehledu výsledků a grafického výstupu přehledu výsledků analýzy provedené ve výrobním podniku*

Z uvedeného přehledu výsledků je patrné, jaký byl počet hodnocených faktorů na jednotlivých pozicích (pracovištích, operacích). Dále je z přehledu výsledků patrné, na které konkrétní pozici (pracovišti, operaci) došlo k překročení v první řadě legislativních limitů a v jaké četnosti, ale také celkového počtu

překročení limitů a v jaké četnosti. V přehledu výsledků je také procentuálně vyjádřen poměr počtu překročení limitů vůči počtu hodnocených faktorů. Na základě výsledků analýzy je generován akční plán. Ukázka akčního plánu na základě výsledků analýzy ve výrobním podniku je uvedena na následujícím Obr. 17.

Akční plán											
Číslo	Záření / Operace	Kategorie	Zřetěžený problém	Zřetěžený stav	Limit	Přítaha	Konvenční	Zodpovědná osoba	Datum úpravy	Nový stav	
1	Navijení typ A	Ergodesign	Vertikální dosah	174,0	70 - 150 cm	1		XY	xx.yy.zzzz	148	
2	Navijení typ A	Ergodesign	Přední dosah	60,0	5 - 50 cm	1		XY	xx.yy.zzzz	45	
3	Navijení typ A	Ergodesign	Výška roviny	129,0	75 - 120 cm	1		XY	xx.yy.zzzz	115	
4	Vtahování muži	Ergodesign	Vertikální dosah	134,0	70 - 120 cm	1		XY	xx.yy.zzzz	115	
5	Vtahování muži	Ergodesign	Výška roviny	140,0	75 - 120 cm	1		XY	xx.yy.zzzz	92	
6	Vtahování muži	NPP	P rameno upažení celkem	45,0	30 min (8h)	1		XY	xx.yy.zzzz	25	
7	Vtahování muži	NPP	L rameno upažení celkem	33,8	30 min (8h)	1		XY	xx.yy.zzzz	29	
8	Skládání	Ergodesign	Přední dosah	60,0	5 - 40 cm	1		XY	xx.yy.zzzz	39	
9	Skládání	Ergodesign	Vertikální dosah	10,0	70 - 150 cm	1		XY	xx.yy.zzzz	95	
10	Skládání	NPP	P rameno upažení celkem	34,5	30 min (8h)	1		XY	xx.yy.zzzz	28,3	

Obr. 17: Ukázka akčního plánu na základě výsledků analýzy ve výrobním podniku

Bylo provedeno porovnání na základě úloh v laboratorních podmínkách pomocí Motion Capture obleku a SW Siemens Jack. [K4, K8] Finální ověření bylo provedeno na reálných případech z výrobních podniků, kdy byl model a metodika aplikována na hodnocení konkrétních pracovišť výrobního charakteru ve výrobě žárovzdorných výrobků [K3, K5, K6, K7] a montážního charakteru v oblasti výroby elektromotorů. [K2, K4] Výsledky generované vyvinutým modelem a metodikou pro komplexní hodnocení ergonomičnosti pracoviště byly následně porovnány s výsledky rozhodnutí KHS Pardubického kraje založeného na protokolech o měření faktorů pracovního prostředí (hluk, prach, vibrace přenášené na ruce, pracovní poloha, celková fyzická zátěž a zátěž teplem) a autorizovaného měření společnosti Staff Advance s.r.o., které byly realizovány na stejných výrobních operacích ve stejném výrobním podniku.

## **4 Závěry a diskuze výsledků**

Doktorská práce s názvem „Model a metodika pro komplexní ergonomické hodnocení pracoviště“ se zabývá problematikou ergonomie v průmyslovém prostředí. Práce je strukturována do jednotlivých kapitol, kde v úvodní části práce je uveden přehled problematiky ergonomie práce. Je zde popsána ergonomie jako vědní interdisciplinární obor, který se zabývá interakcí mezi člověkem a pracovním prostředím. [1] [2] [3] Současný stav poznání v oblasti ergonomie ukazuje, že ergonomický design hraje klíčovou roli v prevenci nemocí z povolání a zlepšení produktivity a spokojenosti zaměstnanců. Dále je v této kapitole vymezeno směřování disertační práce vůči prostředí ergonomie práce, jelikož pracovní podmínky a bezpečnost a ochrana zdraví při práci jsou definovány a řízeny platnou legislativou České republiky.

Další kapitola disertační práce se věnuje současnému stavu poznání v oblasti hodnocení ergonmičnosti pracovišť. V rámci kapitoly byly popsány obecné přístupy například dle [20] [21] [22] [23] [24] [25] [26], které slouží k celkovému hodnocení a následné optimalizaci pracovišť. Dále pak byla provedena důkladná rešerše metody [37] [38] [39] [41] [42] [44] [45] [47] [48], které se zaměřují na hodnocení konkrétní ergonomických rizik jako je například manipulace s břemeny, polohy nebo opakující se pohyby. Právě metody jsou často používány v analytických etapách, které definují jednotlivé přístupy k návrhu a hodnocení pracovišť. Dále je ve třetí kapitole provedeno porovnání vybraných nejvýznamnějších metod pro hodnocení fyzické zátěže. Z výsledků porovnání vyplývá, že existující přístupy nejsou schopny poskytnout komplexní zhodnocení ergonmičnosti pracoviště a existující metody nejsou schopny poskytnout celistvý ergonomický pohled na ergonmičnost daného pracoviště, což je zapříčiněno tím, že jednotlivé metody

mohou dávat různé výsledky, které se mohou překrývat, ale i odporovat. Další zásadním problémem dostupných metod je rozdíl mezi výstupy a legislativou České republiky. Všechny porovnávané metody jsou schopny hodnotit fyzickou zátěž, ale už ne všechny hodnotí polohy, počty pohybů a manipulaci s břemeny. Žádná z hodnocených metod nedává konkrétní návrhy na řešení nevyhovujícího stavu fyzické zátěže nebo pracoviště a nenabízí komplexní hodnocení ergonmičnosti pracoviště, které by bylo rychle realizovatelné s nižšími požadavky na obsluhu. [K4, K8]

Poslední kapitola disertační práce se věnuje vlastnímu návrhu modelu a metodiky pro komplexní hodnocení ergonmičnosti pracoviště, který přímo zohledňuje legislativu České republiky. V prvním kroku byl sestaven zjednodušený model pro komplexní hodnocení ergonmičnosti pracoviště, jakožto nástroj pro stanovení okrajových podmínek pro realizaci vlastního modelu a metodiky. Na základě zjednodušeného modelu byla zpracována vlastní metodika pro hodnocení ergonmičnosti pracoviště, která se skládá z šesti kroků.

Dále je zde popsán postup zpracování modelu pro komplexní hodnocení pracoviště, jehož výstupem je zpracování celkem 13 formulářů, kde je kladen důraz na jejich obsah, návod k vyplnění, možnosti vyplnění a limity. Postupně jsou takto definovány formuláře „0. Obecné údaje“, „1. Ergonomický design“, „2. Nepříjemné pracovní polohy“, „3. Podmíněně přijatelné pracovní polohy“, „4. Počty pohybů“, „5. Lokální svalová zátěž“, „6. Síly“, „7. NIOSH/RWL“, „8. Břemena“, „9. Tepová frekvence“, „10. Výdej energie“, „11. Práce v sedě“ a „12. Ostatní faktory“ včetně zdůvodnění jejich výběru a výběru parametrů obsažených v těchto formulářích. Součástí této kapitoly je zpracované procesní schéma modelu a metodiky, které jednoznačně určuje postup činností, běh a



rozhodovací pravidla pro dosažení stanoveného cíle. Pro použitelnost v průmyslu byl jako součást modelu a metodiky zpracován reporting přehledu výsledků, který plně vychází z dat z provedené analýzy. Poslední částí vlastního zpracování modelu a metodiky je pak akční plán. Výsledný model a metodika jsou zpracovány v softwaru Microsoft excel, tak aby byla jeho obsluha co nejvíce uživatelsky přívětivá. [K1]

Ověření pravdivosti funkčních vazeb a logického systému vlastního modelu a metodiky proběhlo v několika fázích. Model byl testován prostřednictvím použití fiktivních dat, kdy na základě výsledků byl algoritmus a limitní data modelu a metodiky v několika iteracích optimalizovány. Dále byla provedeno porovnání na základě úloh v laboratorních podmínkách pomocí Motion Capture obleku a SW Siemens Jack. Finální ověření bylo provedeno na reálných případech z výrobních podniků, kdy byl model a metodika aplikována na hodnocení konkrétních pracovišť výrobního charakteru ve výrobě žárovzdorných výrobků a montážního charakteru v oblasti výroby elektromotorů. Výsledky generované vyvinutým modelem a metodikou pro komplexní hodnocení ergonomičnosti pracoviště byly následně porovnány s protokoly autorizovaného měření KHS Pardubického kraje a společnosti Staff Advance s.r.o., které byly realizovány na stejných výrobních operacích ve stejných výrobních podnicích. Na základě dostupných dat z autorizovaných měření lze konstatovat, že výsledný Model a metodika pro komplexní hodnocení ergonomičnosti pracoviště je funkční, a že poskytuje validní výstupy týkající se hodnoceného pracoviště nebo operace z pohledu ergonomie práce. [K1, K2, K3, K4, K5, K6, K7, K8]

#### **4.1 Splnění cílů práce**

Hlavním cílem disertační práce je na základě teoretického základu znalosti legislativního rámce navrhnout model a metodiku pro komplexní posouzení ergonmičnosti pracoviště univerzálně a rychle aplikovatelnou v průmyslové praxi. Lze konstatovat, že prostřednictvím splnění dílčích cílů práce bylo dosaženo univerzálního a napříč průmyslem použitelného modelu a metodiky pro komplexní posouzení ergonmičnosti pracoviště.

*Tímto byl hlavní cíl práce splněn.*

#### **1. Stanovení hodnotících faktorů a charakteristiky jejich limitů s ohledem na legislativní rámec**

Byla provedena rešerše současné platné české legislativy a norem v oblasti bezpečnosti a ergonomie práce, na jejímž základě byly stanoveny hodnotící faktory jako vstup pro tvorbu zjednodušeného modelu. [K8]

*Tímto byl dílčí cíl práce splněn.*

#### **2. Návrh zjednodušeného modelu pro komplexní posouzení ergonmičnosti pracoviště**

Další částí práce byla tvorba zjednodušeného modelu pro komplexní hodnocení ergonmičnosti pracoviště, kdy byla rešerše současné platné české legislativy a norem doplněna o rešerši metodik a metod pro hodnocení ergonmičnosti pracoviště. Na základě závěrů těchto rešerší a s ohledem na provedenou analýzu nemocí z povolání byl vytvořen zjednodušený model pro komplexní posouzení ergonmičnosti pracoviště. [K4]

*Tímto byl dílčí cíl práce splněn.*

### **3. Vlastní návrh modelu a metodiky pro komplexní posouzení ergonomičnosti pracoviště**

Byl vytvořen model a metodika pro komplexní posouzení ergonomičnosti pracoviště. Metodika se skládá z šesti částí a vlastní model, který se skládá ze 13 formulářů. Metodika a model byly vytvořeny v programu Microsoft Excel. Součástí práce je také procesní schéma, které určuje postup činností, funkci a rozhodovací pravidla pro dosažení cíle. [K1]

*Tímto byl dílčí cíl práce splněn.*

### **4. Ověření vyvinutého modelu a metodiky pro komplexní posouzení ergonomičnosti pracoviště**

Ověření proběhlo v několika fázích. Nejdříve byl model testován prostřednictvím použití fiktivních dat, kdy na základě výsledků byl algoritmus a limitní data modelu a metodiky v několika iteracích optimalizovány. Dále byla provedeno porovnání na základě úloh v laboratorních podmínkách pomocí Motion Capture obleku a SW Siemens Jack. Finální ověření bylo provedeno na reálných případech z výrobních podniků, kdy byl model a metodika aplikována na hodnocení konkrétních pracovišť výrobního charakteru ve výrobě žárovzdorných výrobků a montážního charakteru v oblasti výroby elektromotorů. Výsledky generované vyvinutým modelem a metodikou byly následně porovnány s výsledky autorizovaných měření. [K2, K3, K4, K5, K6, K7]

*Tímto byl dílčí cíl práce splněn.*

Závěry této práce a její výsledky naplňují všechny dílčí zadané cíle, které byly v počátcích výzkumu stanoveny.

## **4.2 Důsledky pro průmyslovou praxi a navazující výzkum**

Z pohledu důsledků a přínosů pro průmyslovou praxi je možné konstatovat, že prostřednictvím nového modelu a metodiky pro komplexní hodnocení ergonmičnosti pracoviště, bylo dosaženo unikátní řešení, které se opírá o automaticky generovaný akční plán pro následnou optimalizace konkrétního pracoviště. Z pohledu průmyslové praxe je možné model rozšířit mezi členy České ergonomické společnosti, jako jednotný nástroj pro hodnocení pracovišť v České republice.

Z výše uvedeného textu je patrné, že disertační práce přispěla k rozšíření stávající teoretické a praktické znalostní základy týkající se ergonomie pracovišť a našla také své uplatnění i při konkrétních praktických aplikacích v průmyslové praxi.

Navazující výzkum v oblasti komplexního hodnocení ergonmičnosti pracoviště by měl spočívat zejména ve stálém zlepšování v podobě zavádění aktualizací současné legislativy, zpřesňování používaných metod, případně automatizaci těchto dvou procesů. Z pohledu průmyslové praxe je další výzvou doplnění této metodiky a modelu o modul cost-benefit analýzy pro vyhodnocení nákladů na optimalizaci, ale zejména reálných přínosů odstraňování nevyhovujícího stavu průmyslových pracovišť a procesů a návratnosti případné investice.

Model by mohl být více automatizován, ne však nad možnosti běžně dostupného a používaného SW v průmyslových podnicích. Chybějící interaktivita, zpracování modelu v pokročilejším nebo komplexnějším programu je jakási daň za potenciál širšího rozšíření a používání modelu.

Dále by měl být model rozšířen o validaci limitů vyplývajících ze současné české legislativy a doplněn o působení kombinace faktorů na lidské tělo, jakými jsou například úhel působících sil, váha břemene, poloha atp. Model také v současnosti zcela nereflektuje antropometrii lidského těla, kdy by se měl rozšířit o tuto možnost a podpořit tak variabilitu použití i na více konkrétní zadání váhy a výšky pozorovaného pracovníka.

V neposlední řadě by model měl být vystaven mnohem většímu ověření uživatelské přívětivosti, tudíž rozšíření mezi uživatele z průmyslové praxe, sběr dat ze zpětné vazby, jejich vyhodnocení a případnou implementaci nápravného opatření nebo optimalizaci modelu. S tím souvisí i motivace, aby se výše popsaný model stal běžně uplatňovanou metodikou v České republice.

## **Publikace autora související s tématem disertace**

- [K1] KYNCL, M. a KYNCL, J. Complex workplace ergonomic evaluation model. In: NOVÁK, M., ed. Sborník abstraktů Konference studentské tvůrčí činnosti STČ 2023. Konference studentské tvůrčí činnosti STČ 2023, Praha, 2023-04-25. Praha: ČVUT. Fakulta strojní, 2023. Dostupné z: [https://stc.fs.cvut.cz/sbornik\\_abstraktu\\_STC\\_2023.pdf](https://stc.fs.cvut.cz/sbornik_abstraktu_STC_2023.pdf)
- [K2] KYNCL, M.; SYROVÝ, P.; KYNCL, J.; JEŘÁBEK, J.; KELLNER, T. OPTIMIZATION OF THE ROTOR ASSEMBLY WORKPLACE. In: TECHNOLOGICAL FORUM 2020. Jaroměř, 2020-11-25. Jaroměř: Ing. Jan Kudláček, 2020. s. 102-106. ISBN 978-80-87583-32-6.
- [K3] KYNCL, M.; KELLNER, T.; KYNCL, J.; SLANÝ, M.; BERÁNEK, L. Optimization of the Production Process of Vibrocasted Refractory Products. In: Modern Technologies in Manufacturing (MTeM 2019). Cluj-Napoca, 2019-10-09/2019-10-12. EDP Sciences - Web of Conferences, 2019. s. 1-6. ISBN 978-2-7598-9083-5. DOI 10.1051/mateconf/201929905001
- [K4] KYNCL, M.; SYROVÝ, P.; KYNCL, J.; KELLNER, T.; BERÁNEK, L. Optimalizace pracoviště ruční montáže s využitím ergonomických simulací. In: KYNCL, J., T. KELLNER a M. KYNCL, eds. Aplikovaná ergonomie 2019 - Sborník konference. Aplikovaná ergonomie 2019, Praha, 2019-09-17/2019-09-18. Praha 6: ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav tech. obrábění, projektování a metrologie, 2019. s. 39-46. ISBN 978-80-01-06642-3. Dostupné z: [http://ergonomickakonference.cz/wp-content/uploads/2019/11/Sborn%C3%ADk\\_AE2019.pdf](http://ergonomickakonference.cz/wp-content/uploads/2019/11/Sborn%C3%ADk_AE2019.pdf)

- [K5] KELLNER, T.; KYNCL, M.; KYNCL, J.; KOPTIŠ, M.; URBAN, J.; BERÁNEK, L.; KOTOUČEK, M. Manipulation with Raw Ceramic Chimney Pipes. *Manufacturing Technology*. 2019, 19.(3.), 419-425. ISSN 1213-2489. DOI 10.21062/ujep/307.2019/a/1213-2489/mt/19/3/419
- [K6] KYNCL, J.; KYNCL M; KELLNER, T. CONCEPT OF MANIPULATION WITH REFRACTORY PRODUCTS. In: *INVENTION FOR ENTERPRISE*. *InvEnt 2019: Industrial Engineering – Invention for Enterprise*, Žilina, 2019-06- 18. Bielsko-Biala: Akademia Techniczno-Humnistyczna, 2019. s. 80-83. ISBN 978-83-66249-18-9.
- [K7] KELLNER, T.; KYNCL, J.; BERÁNEK, L.; KYNCL, M. Technologie uchopování a manipulace s odděleným polotovarem komínové tvarovky. [Funkční vzorek] 2018.
- [K8] KYNCL, M.; KELLNER, T.; KYNCL, J.; BERÁNEK, L.; GREGOR, M. Design of the Assembly workplace considering the Ergonomics. In: *Konference studentské tvůrčí činnosti. Studentská tvůrčí činnost 2018*, Praha, 2018-04-11. ČVUT v Praze, fakulta strojní, 2018. ISBN 978-80-01-06421-4. Dostupné z: [http://stc.fs.cvut.cz/pdf18/8542.pdf?\\_=1522696198](http://stc.fs.cvut.cz/pdf18/8542.pdf?_=1522696198)

## **Seznam použité literatury v tezích**

1. SLAMKOVÁ, E. DULINA, Ľ. a TABAKOVÁ, M. *Ergonómia v priemysle*. Žilina. GEORG knihárstvo a tlačiareň, 2010. ISBN 978-80-89401-09-3.
2. Zákon č. 262/2006 Sb. Zákoník práce, [online]. 2006 [cit. 2023-02-24]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2006-262>
3. Zákon č. 309/2006 Sb. Zákon o zajištění dalších podmínek bezpečnosti a ochrany zdraví při práci [online]. 2006 [cit. 2023-02-24]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2006-309>
4. Zákon č. 258/2000 Sb. Zákon o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů [online]. 2000 [cit. 2023-02-24]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-258>
5. Nařízení vlády č. 101/2005 Sb. Nařízení vlády o podrobnějších požadavcích na pracoviště a pracovní ... [online]. 2005 [cit. 2023-02-24]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2005-101>
6. Vyhláška č. 432/2003 Sb. Vyhláška, kterou se stanoví podmínky pro zařazování prací do kategorií, ... [online]. 2003 [cit. 2023-02-24]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2003-432>
7. Nařízení vlády č. 361/2007 Sb. Nařízení vlády, kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci [online]. 2007 [cit. 2023-02-24]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2007-361>
8. FENCLOVÁ, Z. et al. *NEMOCI Z POVOLÁNÍ V ČESKÉ REPUBLICE V ROCE 2018* [Dokument]. Praha. STÁTNÍ ZDRAVOTNÍ ÚSTAV,



- 2019 [cit. 2023-Březen-07]. ISSN 1804-5960. Dostupné z: [https://szu.cz/wp-content/uploads/2023/02/V-roce-2018\\_hlasene.pdf](https://szu.cz/wp-content/uploads/2023/02/V-roce-2018_hlasene.pdf)
9. FENCLOVÁ, Z. et al. *NEMOCI Z POVOLÁNÍ V ČESKÉ REPUBLICE V ROCE 2019* [Dokument]. Praha. STÁTNÍ ZDRAVOTNÍ ÚSTAV, 2020 [cit. 2023-Březen-07]. ISSN 1804-5960. Dostupné z: [https://szu.cz/wp-content/uploads/2023/02/V\\_roce\\_2019\\_hlasene.pdf](https://szu.cz/wp-content/uploads/2023/02/V_roce_2019_hlasene.pdf)
10. FENCLOVÁ, Z. et al. *NEMOCI Z POVOLÁNÍ V ČESKÉ REPUBLICE V ROCE 2020* [Dokument]. Praha. STÁTNÍ ZDRAVOTNÍ ÚSTAV, 2021 [cit. 2023-Březen-07]. ISSN 1804-5960. Dostupné z: [https://szu.cz/wp-content/uploads/2023/02/Hlaseni\\_NzP\\_2020.pdf](https://szu.cz/wp-content/uploads/2023/02/Hlaseni_NzP_2020.pdf)
11. FENCLOVÁ, Z. et al. *NEMOCI Z POVOLÁNÍ V ČESKÉ REPUBLICE V ROCE 2021* [Dokument]. Praha. STÁTNÍ ZDRAVOTNÍ ÚSTAV, 2022 [cit. 2023-Březen-07]. ISSN 1804-5960. Dostupné z: [https://szu.cz/wp-content/uploads/2022/11/Hlaseni\\_NzP\\_2021.pdf](https://szu.cz/wp-content/uploads/2022/11/Hlaseni_NzP_2021.pdf)
12. STANTON, N. et al. *Handbook of Human Factors and Ergonomics Methods*. Boca Raton (Florida). CRC Press LLC, 2005. ISBN 0-415-28700-6.
13. IEA. *International Ergonomisc Association* [online]. [cit. 2023-01-09]. Dostupné z: <https://iea.cc/about/what-is-ergonomics/>
14. GILBERTOVÁ, S. a MATOUŠEK, O. *Ergonomie*. Praha. Grada Publishing, 2002. ISBN 80-247-0226-6.
15. CHUNDELA, L. *Ergonomie*. Praha. 2005. ISBN 80-01-02301-X.

16. BUREŠ M. *Disertační práce, Metodika digitálního ergonomického návrhu a hodnocení pracovišť ve strojírenských ...* Plzeň. Západočeská Univerzita v Plzni, 2010.
17. GÖRNER, T. *Metodika ergonomického návrhu pracovišť při vyvažování aspektů zdraví člověka, výkonu systému a ...* 2013. Disertační práce. ZČU v Plzni. 218 s..
18. CHUNDELA, L. *Ergonomie*. Praha. ČVUT v Praze, 1993. ISBN 80-01-00327-2.
19. MATOUŠEK, O. a ZÁSTAVA, Z. *Metody rozboru a hodnocení systémů člověk - stroj*. Praha. SNTL, 1977.
20. HLAVENKA, B. *Racionalizace technologických procesů*. Brno. PC-DIR, s.r.o. 1995.
21. KRÁL, M. *Pět kroků chronologického postupu ergonomického zkoumání a hodnocení v rámci pracovního systému*. Praha. VÚBP, 2002.
22. GAŠOVÁ, M. In: *Inovativne riešenia spoločnosti CEIT v ergonómii pre zvyšovanie kvality života pracovníkov* [online]. Praha: 13. říjen. 2016 [cit. 2023-Březen-22]. Dostupné z: <https://www.vubp.cz/konference/2016/prezentace/inovativne-riesenia-spolocnosti-ceit-v-ergonomii,-pre-zvysovovanie-kvality-zivota-pracovnikov-verzia-pre-zverejnenie-gasova.pdf>

23. MCATAMNEY, L. a CORLETT, E. N. *RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders*. Appl. Ergonomics. 1993, č 24, s. 91-99.
24. ErgoPlus. *A Step-by-Step Guide to the RULA Assessment Tool* [online]. [cit. 2023-03-10]. Dostupné z: <https://ergo-plus.com/rula-assessment-tool-guide/>
25. COLOMBINI, D. et al. *Exposure assesment of upper limb repetitive movements: a consensus document*. International Encyklopedia of Ergonomics and Human Factors. London. Taylor & Francis, 2001.
26. HIGNETT, S. a MCATAMNEY, L. *Rapid entire body assasment (REBA)*. Appl. Ergonomics. 2000, č 31, s. 201-05.
27. KARHU, O. KANSI, P. a KUORINKA, I. *Correcting working postures in industry: A practical method for analysis*. Appl. Ergon. 1977, č 8, s. 199-201.
28. baua: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. *Risk Assessment with the Key Indicator Methods (KIM)* [online]. [cit. 2023-Březen-10]. Dostupné z: [https://www.baua.de/EN/Topics/Work-design/Physical-workload/Key-indicator-method/Key-indicator-method\\_node.html](https://www.baua.de/EN/Topics/Work-design/Physical-workload/Key-indicator-method/Key-indicator-method_node.html)
29. NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH (NIOSH). *Work Practices Guide for Manual Lifting*. Cincinnati, OH. Department of Health and Human Services (DHHS), NIOSH, s. Publication No. 81-122.

30. SNOOK, S. H. a CIRIELLO, V. M. *The Design of Manual Handling Tasks: Revised Tables of Maximum Acceptable Weights and Forces*. Ergonomics. 1991, Vol. 34 (No. 9), s. 1197-213.
31. SCHAUB, K. et al. *The European Assembly Worksheet*. Theoretical Issues in Ergonomics Science. 2012.
32. European Agency for Safety and Health at Work. *Assessment of physical workloads to prevent work-related MSDs* [online]. [cit. 2023-03-07]. Dostupné z: <https://oshwiki.osha.europa.eu/en/themes/assessment-physical-workloads-prevent-work-related-msds>
33. Nařízení vlády č. 290/1995 Sb. Nařízení vlády, kterým se stanoví seznam nemocí z povolání [online]. 1995 [cit. 2023-02-24]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1995-290/zneni-20230101>
34. OCRA METHOD. *Nawo Natural Work* [online]. [cit. 2023-03-11]. Dostupné z: <https://nawo-solution.com/ocra-method/>
35. Příručka k použití definice malých a středních podniků [online]. 2021 [cit. 2023-02-24]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/assets/cz/podnikani/dotace-a-podpora-podnikani/oppik-2014-2020/spolecne-prilohy-dotacnich-programu-op-pik/2021/1/Prirucka-k-pouziti-definice-MSP.pdf>
36. [sopo.cz](http://www.sopo.cz). *SOPO s.r.o.* [online]. 2023 [cit. 2023-11-12]. Dostupné z: [www.sopo.cz](http://www.sopo.cz)

37. Zákon č. 251/2005 Sb. Zákon o inspekci práce [online]. 2005 [cit. 2023-02-24]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2005-251#p45>
38. A. T. *BIOLOGICKÁ ZPĚTNÁ VAZBA V TERAPII*. Brno: 2008. Diplomová práce [cit. 2023-03-18]. Dostupné z: <https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/3921/final-thesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
39. BAUMRUK M. *EAWS – European Assembly Worksheet*. Praha. Siemens Product Lifecycle Management Software Inc. [cit. 2023-03-19].
40. CORLETT, E. N. a CLARK, T. S. *The ergonomics of workspaces and machines*. USA. CRC Press, 1995. ISBN 0-7484-0320-5.
41. DOMBEKOVÁ B. *Disertační práce, Model pro hodnocení rizikového faktoru lokální svalová zátěž u vybraných prací*. Zlín. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2018.

**Anotace**

Tato disertační práce s názvem „Model a metodika pro komplexní ergonomické hodnocení pracoviště“ se zabývá problematikou ergonomie v průmyslovém prostředí. Právě v průmyslu hraje velkou roli optimalizace pracovních podmínek s ohledem na potřeby a schopnosti pracovníků, pro dosažení co nejvyšší efektivity. Na základě teoretického základu i praktických zkušeností byl sestaven zjednodušený model pro komplexní hodnocení ergonomičnosti pracoviště. Na jeho základech, s ohledem na stanovené okrajové podmínky, byl navržen a vyvinut vlastní model a metodika pro komplexní hodnocení ergonomičnosti pracoviště. Vlastní řešení bylo nejdříve testováno prostřednictvím fiktivních dat a následně plně ověřeno v laboratorních podmínkách a v reálném výrobním procesu v rámci výrobních podniků v České republice. Výsledkem práce je univerzální model a metodika pro komplexní hodnocení ergonomičnosti pracoviště, který je použitelný napříč průmyslem.

## **Annotation**

This dissertation thesis with the title „Model and Methodology for Complex Ergonomic Workplace Evaluation“, deals with the issue of ergonomics in an industrial environment. In industry the optimization of working conditions with regard to the needs and abilities of workers plays a major role in order to achieve the highest possible efficiency. Based on the theoretical basis and practical experience, a simplified model was compiled for a complex evaluation of workplace ergonomics. On its basis, taking into account the established boundary conditions, a model and methodology for a complex evaluation of workplace ergonomics was designed and developed. The actual solution was first tested using fictitious data and then fully verified in laboratory conditions and in a real production process within a production companies in the Czech Republic. The result of the work is a universal model and methodology for a complex evaluation of workplace ergonomics, which can be used across industries.

*Teze disertační práce*

*Ing. Martin Kyncl*

**Bez ohlasů a recenzí**