

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B 2301 Strojní inženýrství
Studijní zaměření: Průmyslové inženýrství a management

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Hodnocení lokální svalové zátěže pomocí metody EMG

Autor: **Karolína HRČKOVÁ**

Vedoucí práce: **Ing. Martin Kába**

Akademický rok 2019/2020

zadání

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

V Plzni dne:

.....
podpis autora

Poděkování

Ráda bych tímto poděkovala svému vedoucímu Ing. Martinu Kábovi za odbornou pomoc, cenné rady, věcné připomínky a vedení při vypracování této práce. Dále bych také velmi ráda poděkovala své konzultantce Ing. Iloně Kačerové za ochotu, trpělivost a poskytnutí všech potřebných a užitečných informací.

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Hrčková	Jméno Karolína	
STUDIJNÍ OBOR	Průmyslové inženýrství a management		
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Kába	Jméno Martin	
PRACOVISŤE	ZČU – FST – KPV		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Hodnocení lokální svalové zátěže pomocí metody EMG		

FAKULTA	Strojní	KATEDRA	KPV	ROK ODEVZD.	2020
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	63	TEXTOVÁ ČÁST	40	GRAFICKÁ ČÁST	23
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

STRUČNÝ POPIS	<p>Cílem této práce je uskutečnit měření lokální svalové zátěže pomocí metody EMG a podle výsledků provést kategorizaci vybraných pracovních činností. V případě zařazení práce do 3. kategorie navrhnout opatření pro optimalizaci pracoviště, zavést opatření do provozu a provést přeměření, zda mělo zavedené opatření smysl. První část je věnována teorii, kterou je potřeba znát k porozumění řešené problematice. Jsou zde představeny důležité podmínky ochrany zdraví při práci, elektromyografie a samotný postup při měření EMG.</p>
KLÍČOVÁ SLOVA	<p>ergonomie, elektromyografie, lokální svalová zátěž, EMG Holter, hygienické limity, Fmax, horní končetiny, počet pohybů, hodnocení</p>

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Surname Hrčková	Name Karolína		
FIELD OF STUDY	Industrial Engineering and Management			
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Kába	Name Martin		
INSTITUTION	ZČU – FST – KPV			
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable	
TITLE OF THE WORK	Evaluation of local muscular load using EMG methods			

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Industrial Engineering and Management	SUBMITTED IN	2020
----------------	------------------------	-------------------	---------------------------------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	63	TEXT PART	40	GRAPHICAL PART	23
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION	<p>The aim of this work is to make measurements of local muscular load using EMG methods and with the results perform categorization of selected work activities. In case of classification of work into the 3rd category, propose measures for workplace optimization, introduce measures into operation and re-measure whether the introduced measure made sense. The first part is devoted to the theory that is needed to understand the problem. Important conditions of occupational health protection, electromyography and the procedure for measuring EMG are presented here.</p>
KEY WORDS	<p>Ergonomics, electromyography, local muscular load, EMG Holter, hygienic limits, Fmax, upper limbs, number of movements, evaluation</p>

Obsah

Seznam tabulek.....	10
Seznam obrázků.....	10
Přehled použitých zkratk 11	11
Úvod.....	13
1 Úvod do ergonomie.....	14
1.1 Předmět zkoumání.....	14
1.2 Pracovní zátěž.....	14
Fyzická zátěž.....	15
Psychická zátěž.....	15
Nemoci z povolání.....	16
2 Legislativa.....	17
3 Podmínky ochrany zdraví při práci s fyzickou zátěží.....	19
3.1 Celková fyzická zátěž.....	19
3.1.1 Hygienické limity energetického výdeje při práci.....	19
3.1.2 Hygienické limity pro hodnoty srdeční tepové frekvence.....	20
3.2 Lokální svalová zátěž.....	21
3.3 Pracovní poloha.....	23
3.4 Ruční manipulace s břemeny.....	23
3.5 Kategorizace práce.....	24
3.5.1 Zařazení práce do 3. kategorie.....	24
3.5.2 Hodnotící faktory pro zařazení do jednotlivých kategorií.....	25
4 Elektromyografie (EMG).....	26
4.1 Historie elektromyografie.....	26
4.2 Charakteristika elektromyografie.....	26
4.3 Vznik akčního potenciálu.....	27
4.4 Způsoby měření elektromyografie.....	27
4.4.1 Povrchová elektromyografie.....	27
4.4.2 Jehlová elektromyografie.....	28
4.5 Využití EMG v oblasti ergonomie.....	28
5 Měření lokální svalové zátěže pomocí EMG.....	29
5.1 EMG Biometrics.....	29
5.1.1 DataLog.....	30
5.1.2 EMG senzory.....	30
5.2 EMG Holter a jeho popis.....	30

5.3	Postup při měření svalové zátěže pomocí EMG Holteru	31
5.3.1	Příprava EMG Holteru na měření	31
5.3.2	Očištění kůže před měřením	32
5.3.3	Nalepení elektrod	32
5.3.4	Připojení EMG Holteru k počítači	32
5.3.5	Nastavení měření v počítači	33
5.3.6	Zjištění maximální síly F_{max}	33
5.3.7	Samotné měření	35
6	Úvod do praktické části	37
6.1	Představení společnosti	37
6.2	Popis vybraných pracovních činností	37
6.3	Požadavky na měření	38
7	Analýza pracovních pozic	39
7.1	Vyhodnocení pracovní pozice předmontáž	39
7.1.1	Průměrné hodnoty F_{max}	40
7.1.2	Hodnocení frekvenční analýzy vynakládaných svalových sil	41
7.1.3	Hodnocení v závislosti na počtech pohybů	42
7.1.4	Interpretace výsledků	43
7.1.5	Sestava operací	43
7.2	Vyhodnocení pracovní pozice Finální kontrola	45
7.2.1	Vyskytnutí chyby při měření	45
7.2.2	Průměrné hodnoty F_{max}	46
7.2.3	Hodnocení frekvenční analýzy vynakládaných svalových skupin	47
7.2.4	Hodnocení v závislosti na počtech pohybů	49
7.2.5	Interpretace výsledků	49
7.2.6	Sestava operací	50
7.3	Závěrečné hodnocení	51
8	Optimalizace pracovní pozice finální kontrola	52
8.1	Technická a technologická opatření	52
8.2	Opatření zaměřená na zdravotní stav pracovníků	53
8.3	Organizační opatření	54
9	Zavedení vybraného opatření do provozu	55
9.1	Nový pracovní postup finální kontroly	55
9.2	Přeměření pracovní pozice finální kontrola	55
9.2.1	Průměrné hodnoty F_{max}	55

9.2.2	Hodnocení frekvenční analýzy vynakládaných svalových skupin	56
9.2.3	Hodnocení v závislosti na počtech pohybů.....	58
9.2.4	Interpretace výsledků	59
9.2.5	Sestava operací	59
9.3	Zhodnocení změny u pozice finální kontrola	60
	Závěr.....	61
	Seznam použité literatury	62

Seznam tabulek

Tabulka 3-1: Hygienické limity energetického výdaje při práci s celkovou fyzickou zátěží dle pohlaví [8]	19
Tabulka 3-2: Hygienické limity energetického výdaje při práci s celkovou fyzickou zátěží – chlapci [8]	20
Tabulka 3-3: Hygienické limity energetického výdaje při práci s celkovou fyzickou zátěží – dívky [8]	20
Tabulka 3-4 Přípustné hygienické limity pro hodnoty srdeční tepové frekvence při práci [8]	21
Tabulka 3-5 Hygienické limity pro počty pohybů [8]	22
Tabulka 3-6: Hygienické limity pro ruční manipulaci s břemeny [8]	23
Tabulka 3-7: Kategorizace prací [21]	24
Tabulka 6-1: Informace k pracovní činnosti předmontáže [autor]	37
Tabulka 6-2: Informace k pracovní činnosti finální kontroly [autor]	38
Tabulka 7-1: Údaje o vybraných osobách – pozice předmontáž [autor]	39
Tabulka 7-2: Průměrné hodnoty F_{max} pro pracovní pozici předmontáž [autor]	40
Tabulka 7-3: Výpočet pohybů pozice předmontáže [autor]	42
Tabulka 7-4: Hygienické limity pro počty pohybů pro pracovní pozici předmontáž [autor]	43
Tabulka 7-5: Údaje o vybraných osobách – pozice finální kontrola [autor]	45
Tabulka 7-6: Průměrné hodnoty F_{max} pro pracovní pozici finální kontrola [autor] ...	47
Tabulka 7-7: Výpočet pohybů pozice finální kontrola [autor]	49
Tabulka 7-8: Hygienické limity pro počty pohybů pro pracovní pozici finální kontrola [autor]	49
Tabulka 8-1: ukázka portálového jeřábu [26]	53
Tabulka 9-1: Informace k pracovní činnosti finální kontroly [autor]	55
Tabulka 9-2: Průměrné hodnoty F_{max} pro pracovní pozici finální kontrola [autor] ...	56
Tabulka 9-3 Výpočet pohybů pozice finální kontrola [autor]	58
Tabulka 9-4 Hygienické limity pro počty pohybů pro pracovní pozici finální kontrola [autor]	59
Tabulka 9-5: porovnání výsledků před a po zavedení opatření u pozice finální kontroly [autor]	60

Seznam obrázků

Obrázek 1-1: Systém člověk – stroj – prostředí [7].....	14
Obrázek 3-1: Správné sezení [24]	23
Obrázek 4-1: Ukázka EMG signálu [25].....	26
Obrázek 4-2: Povrchová elektromyografie [19].....	27
Obrázek 4-3: Jehlová elektromyografie [20].....	28
Obrázek 5-1: Kompletní balíček Biometrics DataLog [14]	29
Obrázek 5-2: Snímací elektroda [14]	30
Obrázek 5-3: EMG Holter [17]	31
Obrázek 5-4: Elektrody a EMG Holter [autor].....	32
Obrázek 5-5: Interface pro připojení EMG Holteru [autor]	33
Obrázek 5-6: Dynamometr [autor]	34
Obrázek 5-7: Správné držení dynamometru [autor].....	34
Obrázek 5-8: Zesilovací kanály na EMG Holteru [13]	35
Obrázek 5-9: EMG Holter [autor]	35
Obrázek 5-10: Ukázka EMG signálu při měření [autor]	36
Obrázek 7-1: Naměřené hodnoty F_{max} z jednotlivých měření – pozice předmontáž [autor]	40
Obrázek 7-2: Frekvenční analýza vynakládaných svalových sil pozice předmontáž – 1. osoba [autor].....	41
Obrázek 7-3: Frekvenční analýza vynakládaných svalových sil pozice předmontáž – 2. osoba [autor].....	42
Obrázek 7-4: Ukázka části grafu s vyskytnutou chybou [autor]	46
Obrázek 7-5: Naměřené hodnoty F_{max} z jednotlivých měření – pozice finální kontrola [autor]	46
Obrázek 7-6: Frekvenční analýza vynakládaných svalových sil pozice finální kontrola - 1. osoba [autor].....	48
Obrázek 7-7: Frekvenční analýza vynakládaných svalových sil pozice finální kontrola - 2. osoba [autor].....	48
Obrázek 9-1: Naměřené hodnoty F_{max} z jednotlivých měření – pozice finální kontrola [autor]	56
Obrázek 9-2 Frekvenční analýza vynakládaných svalových sil pozice finální kontrola - 1. osoba [autor].....	57
Obrázek 9-3 Frekvenční analýza vynakládaných svalových sil pozice finální kontrola - 2. osoba [autor].....	58

Úvod

Tato práce je zaměřena na využití elektromyografie v oblasti ergonomie, ve která se používá při měření lokální svalové zátěže. Měření lokální svalové zátěže je potřebné pro posouzení přetěžování horních končetin v oblasti ruky a předloktí pracovníků. V dnešní době se klade stále větší důraz na dodržování hygienických limitů a předpisů. Ergonomie se stala základem pro chod celého průmyslového či výrobního podniku. Případné nedodržování hygienických limitů zapříčiní přetěžování pracovníka, které vede k nižším výkonům, k únavě pracovníka až případně po nemoc z povolání. Je zřejmé, že tyto faktory vedou k větší zmetkovitosti výroby a ke zvyšování nákladů podniku. Prosperita firmy se tedy mimo jiné odvíjí od zdravého a spokojeného pracovníka, kterému je poskytnuto vhodné pracovní prostředí a přidělena pracovní činnost, při které se dodržují hygienické limity.

Teoretická část se věnuje oboru ergonomie, legislativě, podmínkám ochrany zdraví při práci s fyzickou zátěží, elektromyografii a samotnému postupu měření. První část obsahuje definici a vysvětlení podstaty ergonomie, dále poté rozdělení pracovních zátěží a jejich případné následky. Ve druhé části je zmíněna potřebná legislativa, pomocí které se upracuje problematika bezpečnosti na pracovišti a hygienické limity. Další částí jsou podmínky ochrany zdraví při práci, které stanovuje výše zmíněná legislativa. Jsou zde uvedeny způsoby hodnocení ochrany zdraví při práci, včetně jejich popisu, a především jsou zde zobrazeny potřebná data a znalosti pro jejich hodnocení. Jedna ze způsobů je právě lokální svalová zátěž, která je pro tuto práci nejvíce podstatná. S tímto dále souvisí zmíněná kategorizace práce, která je základním prostředkem pro hodnocení vlivu práce na zdraví zaměstnavatele. Jednotlivé kategorie jsou určeny mírou překročení hygienických limitů a rizikem ohrožení zdraví při práci. Následně je ve čtvrté části zmíněna historie a charakteristika elektromyografie. Jsou zde také popsány způsoby měření elektromyografie a jejich nejčastější využití v různých vědních oborech. Poslední část je věnována nejprve měřícím přístrojům, pomocí kterých lze provádět měření lokální svalové zátěže. Na závěr je uvedena příprava a postup samotného měření lokální svalové zátěže pomocí přístroje EMG Holteru, podle kterého se provádí měření v praktické části této práce.

Praktická část se zaměřuje na hodnocení lokální svalové zátěže vybraných pracovních pozic. Cílem je zařazení práce do kategorií podle dat získaných během měření a jejich následného zhodnocení. V první řadě praktická část seznamuje s podnikem a pracovními činnostmi, které jsou v praktické části řešeny a vyhodnoceny. Každá pracovní pozice je detailně popsána a zanalyzována s informacemi poskytnutými podnikem. V další části probíhá vyhodnocení naměřené lokální svalové zátěže pomocí metody EMG dvou vybraných pracovních pozic. Pokud je práce zařazena do 3. kategorie a dochází k nedodržování hygienických limitů, je potřeba zavést určitá opatření. Tomuto opatření se věnuje další část, kde jsou popsány možnosti, jak lze pracovní činnosti ve 3. kategorii optimalizovat. Z těchto variant je vybráno nejpříjemnější řešení a následně zavedeno do provozu. V poslední části je provedeno přeměření pracovní pozice a zhodnocení, zda zavedené opatření mělo smysl.

1 Úvod do ergonomie

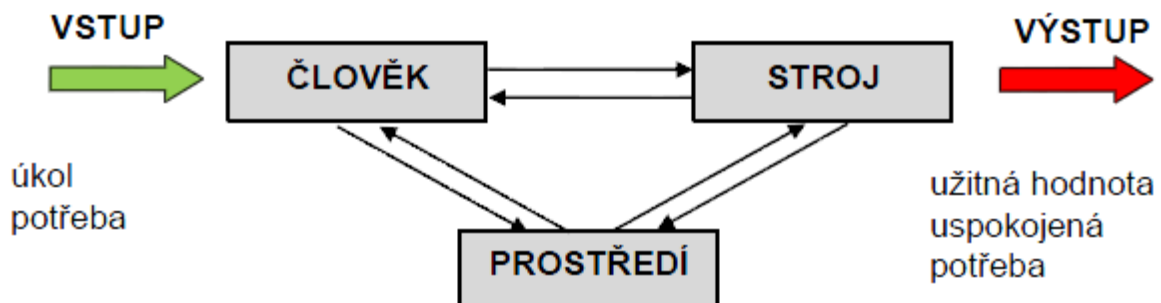
Pojem ergonomie je převzatý z anglického slova ergonomics, který byl původně spojen ze dvou řeckých slov – ergon (práce) a nomos (pravidlo). Ergonomie je vědecký obor, který zkoumá fyzické a duševní potřeby lidí podle fyzických a psychických požadavků za účelem ochrany života a zdraví při práci. [22][23]

V roce 1857 použil pojem ergonomie profesor Wojciech Jastrzechowski v jednom ze svých článků v časopise Przvroda i Przemysl. Po prvním zmínění nebyla věnována ergonomie příliš velká pozornost. Až v 60. letech 20. století byla zahájena první ergonomická studie a od té doby se ergonomie a její zásady uplatňují ve všech hlediskách moderního života. [23]

1.1 Předmět zkoumání

Jak už bylo zmíněno na začátku, cílem ergonomie je napomáhat přizpůsobit práci člověku tak, aby vyhovovala jeho požadavkům v pracovním prostředí a nebyl u ní nijak ohrožen. Prostor, ve kterém člověk pracuje, lze definovat jako systém člověk – technika – prostředí. V tomto dynamickém a otevřeném systému je člověk chápán jako rozhodující a zároveň limitující složka, která ovlivňuje chování celého zmíněného systému.

Slovem technika je označován pojem, který zahrnuje všechny prostředky, pomocí kterých člověk vytváří užitkovou hodnotu. Technické prostředky, tj. nástroje, nářadí a stroje, tvoří nezbytnou součást pracovního prostředí. Člověk vykonává práci v daném pracovním prostředí, které ho obklopuje a ovlivňuje jeho pracovní činnost. Pracovní prostředí je tedy základna pro činnost člověka a tvoří souhrn podmínek, pomocí kterých se práce vykonává. [22]



Obrázek 1-1: Systém člověk – stroj – prostředí [7]

Jinými slovy řečeno, ergonomie upravuje složky v pracovním systému, ve kterém člověk vykonává danou práci, za účelem zajištění kompatibility s potřebami, schopnostmi a výkonnostním omezením člověka. [22]

1.2 Pracovní zátěž

Jedná se o soubor vnějších podmínek a požadavků v určitém pracovním systému, které působí na fyziologický a psychický stav jedince při práci. Všechny činnosti člověka způsobují organismu určitou zátěž. Pokud při pracovní činnosti dojde k překročení hodnoty úrovně zatížení, kterou označujeme jako pracovní pohoda daného člověka, spadá tato zátěž do přetížení, a tudíž se vytváří nepříznivé vlivy na člověka. Pokud je člověk zatěžován nadměrnou pracovní zátěží, dochází ke zhoršení pracovního nasazení, velikosti fyzické síly a je i příčinou

negativních vlivů na psychiku člověka. Proto mezi pracovní zátěž zařazujeme jak fyzickou, kterou lze objektivně měřit v určitých jednotkách, tak i psychickou zátěž. [15]

Fyzickou i psychickou zátěž můžeme dělit na [22]:

- **Optimální** – pracovní činnost je bezpečně prováděna, jelikož se zátěž pohybuje v optimálních hodnotách,
- **Mírná** – jen u některých vlivů zátěže došlo k překročení optimálních hodnot, a proto člověk vnímá narušení pracovní pohody a pociťuje únavu,
- **Nepříjemná** – dochází k úplnému překročení povolených hodnot optimální zátěže, tudíž je pracovní výkon nemožný, jelikož by mohlo dojít k nevratným následkům či k ohrožení zdraví jedince.

Po provedení pracovní zátěže na organismus se vždy dostaví únava, která je ovlivněna velikostí právě vynaložené činnosti. Po krátkou dobu lze únavu přemáhat a nevěnovat jí pozornost, nicméně k jejímu úplnému odstranění je potřeba dostatek odpočinku a především pravidelné přestávky.

Fyzická zátěž

Fyzickou zátěž lze definovat jako určitou činnost, při které dojde k aktivaci svalstva, a tím dochází ke svalovému stahu, podle kterého lze rozdělit fyzickou práci na převážně statickou nebo dynamickou. Velikost fyzické zátěže je ovlivněna činností jednotlivých svalových skupin a také spotřebou energie. Dělení fyzické zátěže na [15]:

- **Statickou fyzickou zátěž** – o statické zátěži mluvíme tehdy, kdy je sval stažený déle jak 3 vteřiny. Sval v tomto případě nemění svou délku, roste pouze jeho napětí a v této poloze setrvává dlouhou dobu. Dochází k přetížení svalu, jelikož není dostatečné zásobování krví a kyslíkem,
- **Dynamickou fyzickou zátěž** – u dynamické zátěže po stažení svalu následuje relaxace. Zátěž je v tomto případě dána střídavým zapojováním svalů a je způsobeno i střídavé napětí.

Dynamická fyzická zátěž v porovnání se statickou je pro člověka více zatěžující. Pokud je činnost prováděná staticky, potřebují svaly po skončení zátěže regeneraci. Posuzování tělesné zátěže závisí především na silových schopnostech člověka, na pohlaví a věku a na schopnosti regenerace svalů. [22][6]

Psychická zátěž

Psychická zátěž je proces, u kterého dochází k psychickému zpracování a vyrovnání se s požadavky a vlivy pracovního prostředí. Dochází k zatížení organismu a procesu psychického vnímání, a to má vliv na zhoršení zpracování požadavků pracovního okolí. Při pracovní činnosti působí na jedince řada vlivů a ovlivňují jeho kognitivní a psychické procesy, které mohou zapříčinit snížení pracovní schopnosti člověka. [22]

Rozlišují se tři druhy psychické zátěže [22]:

- **Senzorická zátěž** – představuje zátěž smyslových orgánů. Jedná se především o sluch, zrak a jejich centrální nervový systém.
- **Mentální zátěž** – zátěž, která ovlivňuje především psychické procesy, zejména pozornost, paměť, myšlení a rozhodování. To může způsobit nesoustředěnost člověka a zároveň dochází k potřebě zvýšení nároků na zpracování přijímaných informací.
- **Emoční zátěž** – je vyvolávána určitými situacemi, při kterých se člověk dostává do stresu.

Jednotlivé zátěže se mohou vzájemně kombinovat a působit na člověka naráz. Pokud se u jedince projeví kombinace senzorické a mentální zátěže, je možné si všimnout fyziologických změn, jako například napětí svalů, změna tělesné teploty či zbarvení kůže. Tyto fyziologické změny se projeví během pracovní činnosti, ale i po skončení. [22]

Nemoci z povolání

Pracovní činnosti se skládají z jednotlivých dílčích úkonů, které se provádějí opakovaně po cyklech. Působení nadměrné pracovní zátěže nebo pouze jednostranné vykonávání dílčích úkonů, vede k přetěžování částí těla. Po dlouhodobém přetěžení se mohou objevit náznaky únavy, snížení produktivity pracujícího a v nejhrošším případě i nemoc z povolání.

Cumulative Trauma Disorder – CTD

Jde o onemocnění, které postihuje části těla, které jsou opakovaně a nadměrně namáhány zatížením či stresem. K tomuto stavu dochází, jednak pokud je část těla tlačena k práci na vyšší úrovni, ale nestačí na ni nebo při zvedání těžkých břemen či nedostatku odpočinku. K projevům nedojde ihned, postupně se hromadí, rostou a později se projeví ve velké formě. Poraněné osoby mají v postižené oblasti částečnou nebo úplnou necitlivost, v některých případech dochází až ke sníženému rozsahu pohybu, například při postižení ruky a zápěstí je obtížné udělat pěst. Onemocnění se obvykle vyznačuje bolestí či brněním v místě poranění. CTD se nejčastěji vyskytuje u šlach, svalů a kostí, u kterých dochází k narušení rovnováhy mezi pevností a pružností. [22]

Repetitive Strain Injury – RSI

Poškození z opakovaného namáhání je označován jako syndrom RSI. Je to syndrom, při kterém dochází k nadměrné opakované zátěži ve špatné poloze těla při práci a z opakovaných pohybů. Postupem času může RSI přejít v chronické onemocnění svalů, šlach a nervů či zasáhnout další části těla.

Tato nemoc často vede k operativním zákrokům, mezi které převážně patří zánět šlach, syndrom karpálního tunelu, tenisový loket nebo poškození hybnosti ramenních pletenců. Nejčastější poruchou je syndrom karpálního tunelu vznikající při stálým stlačením nebo dlouhodobým vystavením tlaku na středový nerv nacházející se v oblasti zápěstí.

Příznaky RSI syndromu jsou značeny bolestí či brněním v místě poranění. Dále je RSI vyznačeno sníženou pohyblivostí, zvýšenou citlivostí, otokem či ztuhlostí svalů. [15] [16]

2 Legislativa

Dne 28. prosince 2007 vstoupilo v platnost nařízení vlády č. 361/2007 Sb. ze dne 12. prosince 2007, kterým se stanovily podmínky a upravily se další požadavky bezpečnosti a ochrany zdraví při práci.

Cílem tohoto nařízení bylo mimo jiné stanovit požadavky, jež mohou zabránit částečnému či trvalému poškození pohybových struktur. Toto poškození může nastat jako důsledek mnoha faktorů. Mezi ty nejčastější se řadí [1]:

- Celková fyzická zátěž,
- lokální svalová zátěž – jedná se o nadměrné přetěžování malých svalových skupin horních končetin, vysoké počty jednostranných pohybů ruky a předloktí, opakované vynakládání velkých svalových sil (55–70 % F_{max}) či vynakládání nadlimitních svalových sil (nad 70 % F_{max}) například při manipulaci s břemenem,
- nevhodné pracovní polohy,
- nevhodná ergonomie práce,
- špatná organizace práce,
- psychosociální faktory,
- zraková zátěž,
- psychická zátěž,
- pracovní poloha,
- fyzická zátěž,
- jiné vlivy jako například vibrace, hluk, prach, chemické látky apod.

Jde o závazný právní dokument, který upravuje další požadavky bezpečnosti a ochrany zdraví při práci a který vychází z předpisů Evropských společenství.

Upravuje především [8]:

- rizikové vlivy podmínek na pracovišti, jejich rozdělení, hygienické limity, postupy a způsob jejich zjišťování,
- různé způsoby hodnocení těchto rizikových vlivů s ohledem na ochranu zdraví zaměstnance při práci,
- minimální rozsah preventivních opatření, která vedou k ochraně zdraví zaměstnance,
- určení podmínek, při kterých budou poskytnuty ochranné pracovní prostředky a návody na jejich údržbu při práci s chemickými a toxickými látkami, biologickými činiteli, prachem, karcinogeny či při pracovní činnosti se zátěží chladem nebo teplem,
- podmínky poskytování ochranných nápojů k ochraně zdraví při práci v zátěži teplem či chladem,
- určení bližších hygienických požadavků a limitů na pracoviště a pracovní prostředí,
- vytyčení požadavků určujících způsob organizace práce a pracovních postupů při zátěži teplem nebo chladem, při fyzické zátěži a práci, kdy se pracovník dostává do kontaktu s chemickými látkami, prachem či biologickými činiteli,

- rozsah důležitých informací, které se týkají ochrany zdraví při práci s olovem, při nadměrnému vystavení chemickým karcinogenům, mutagenům nebo toxickým látkám, biologickým činitelů a při působení fyzické zátěže,
- minimální rozsah informací, které jsou nezbytně kladeny pracovníkům při školení, pokud vykonávají pracovní činnost, při které dochází k působení azbestu nebo prachu z materiálu obsahujícího azbest.

3 Podmínky ochrany zdraví při práci s fyzickou zátěží

Nařízení vlády upravuje v Hlavě IV také podmínky ochrany zdraví při práci s fyzickou zátěží. V rámci jejího hodnocení se posuzuje [1]:

- **celková fyzická zátěž** – jedná se o zátěž, která je způsobena při dynamické fyzické práci vykonávanými velkými svalovými skupinami, při které je zapojováno a zatěžováno více než 50 % svalové hmoty,
- **lokální svalová zátěž** – v tomto případě se jedná o zátěž malých svalových skupin, přesněji o svaly horních končetin – rukou a předloktí,
- **pracovní poloha při trvalé práci**
- **ruční manipulace s břemeny** – jedná se o přemísťování nebo nošení břemen lidskou silou.

3.1 Celková fyzická zátěž

Celková fyzická zátěž je definovaná jako zátěž při fyzické práci dynamické, která je vykonávána velkými svalovými skupinami, při které dochází k zatěžování více jak 50 % svalové hmoty. Velkými svalovými skupinami jsou chápány části těla jako trup, paže či končetiny. [8]

Celková fyzická zátěž je hodnocena z pohledu energetické náročnosti pracovní činnosti. Hodnocení se odvozuje pomocí hodnot energetického výdeje (vyjádřeno v netto hodnotách) a pomocí hodnot srdeční frekvence. Od hodnot energetické náročnosti práce se odvíjejí povinné hygienické limity, které musí být dodržovány. Patří mezi ně například limity energetického výdeje na směnu pracovníka či přípustné hodnoty srdeční frekvence při výkonu fyzické zátěže při práci. Zmíněné limity jsou rozlišovány podle pohlaví a věku pracovníka. [8]

Energetický výdej	Jednotky	Muži	Ženy
Směnový průměrný	MJ	6,8	4,5
Směnový přípustný	MJ	8	5,4
Roční	MJ	1 600	1 060
Minutový přípustný	$\text{kJ}\cdot\text{min}^{-1}$	34,5	23,7

Tabulka 3-1: Hygienické limity energetického výdeje při práci s celkovou fyzickou zátěží dle pohlaví [8]

3.1.1 Hygienické limity energetického výdeje při práci

Dané hygienické limity jsou hodnoty energetického výdeje, které jsou rozlišovány jako směnové průměrné, směnové přípustné, minutové přípustné a průměrné roční. Hygienické limity zahrnují také přípustné hodnoty srdeční frekvence v průměrné směně. Za přípustné hygienické limity se považují ty, které se během průměrné pracovní směny nenavysoují. Průměrnou pracovní směnou rozumíme osmihodinovou směnu s běžnými pracovními podmínkami, kdy se doba výkonu práce řídí skutečnou mírou zátěže při jednotlivých pracovních operacích. [8]

Chlapci		Věková kategorie		
Energetický výdej	Jednotky	15 až 16	16 až 17	17 až 18
Směnový průměrný	MJ	5,9	6,9	7,9
Směnový přípustný	MJ	6,2	7,3	8,5
Roční	MJ	1 390	1 620	1 860
Minutový přípustný	$\text{kJ}\cdot\text{min}^{-1}$	26,4	30	32,4

Tabulka 3-2: Hygienické limity energetického výdaje při práci s celkovou fyzickou zátěží – chlapci [8]

Dívky		Věková kategorie		
Energetický výdej	Jednotky	15 až 16	16 až 17	17 až 18
Směnový průměrný	MJ	3,7	3,8	4,8
Směnový přípustný	MJ	4,4	4,6	5
Roční	MJ	870	890	1 130
Minutový přípustný	$\text{kJ}\cdot\text{min}^{-1}$	20,9	22,2	22,5

Tabulka 3-3: Hygienické limity energetického výdaje při práci s celkovou fyzickou zátěží – dívky [8]

3.1.2 Hygienické limity pro hodnoty srdeční tepové frekvence

Dále je důležité zmínit přípustné hygienické limity pro hodnoty srdeční frekvence při práci s fyzickou zátěží. Hygienický limit používaný pro minutovou hodnotu srdeční frekvence je maximálně 150 tepů za minutu. V případě, že jde o práci, která má dobu trvání delší než osm hodin, hodnoty minutového ergonického výdaje se snižují o 20 % a zároveň by neměly být zvýšeny průměrné směnové hodnoty o 20 %. Pro mladistvé se hodnoty přípustné srdeční frekvence při práci nevztahují. [8]

Průměrná klidová tepová frekvence ^{a)}	80
Nejvyšší přípustná ^{b)}	+ 28

Tabulka 3-4 Přípustné hygienické limity pro hodnoty srdeční tepové frekvence při práci [8]

- a) Klidová tepová frekvence se u každého člověka liší, proto je nutné ji změřit individuálně a podle ní se řídit,
- b) Po přičtení této hodnoty k naměřené individuální tepové frekvenci, dostaneme nejvyšší přípustnou tepovou frekvenci.

3.2 Lokální svalová zátěž

Lokální svalovou zátěží se rozumí zátěž malých svalových skupin při výkonu práce horními končetinami. Při hodnocení lokální svalové zátěže se zjišťuje a posuzuje, které svalové skupiny jsou nejvíce zatěžovány a namáhány, vyhodnocují se počty pohybů a určují pracovní polohy končetin v závislosti na rozsahu statické a dynamické složky práce při práci v průměrné osmihodinové směně.

Tato lokální zátěž je vyjádřena hygienickým limitem, který udává přípustné hodnoty v procentech maximální svalové síly (F_{max}), které jsou přepočtené na osmihodinovou směnu. Dále je také určen limitní počet jednostranných pohybů týkající se drobných svalů ruky a prstů a ten je zároveň přepočten na osmihodinovou směnu. [8]

Hygienické limity lokální svalové zátěže dle legislativy jsou stanoveny tímto způsobem [8]:

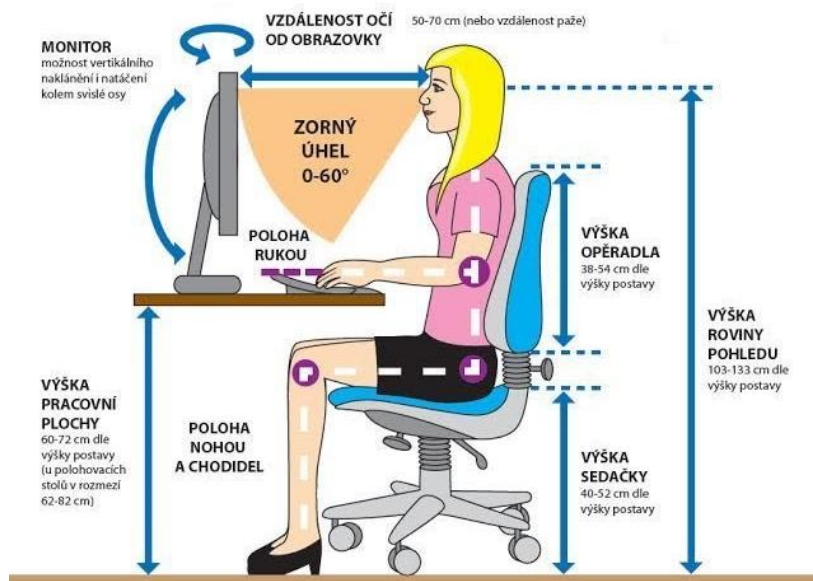
- průměrné minutové počty pohybů drobných svalů prstů a ruky při vynakládaných svalových silách 3 % F_{max} je 110 pohybů za minutu, u 6 % F_{max} 90 pohybů za minutu,
- pokud se jedná o práci s převažující dynamickou složkou, tak je pro použitou svalovou sílu jako pravidelnou součást hlavní pracovní operace 70 % F_{max} ,
- u práce s převažující dynamickou složkou pro vynakládané svalové síly od 55 % do 70 % F_{max} , které jsou pravidelnou součástí pracovní činnosti měřené jednou za sekundu, je určena hygienická limitní hodnota výskytu těchto svalových sil 600krát za osmihodinovou směnu,
- u pracovní činnosti, při které převažuje statická složka práce, je pro využívanou svalovou sílu, která je pravidelnou součástí pracovní operace, 45 % F_{max} ,
- u práce ve směnách delších než osmihodinových musí být hygienické limity sníženy o 20 % a průměrné počty pohybů pro jinou dobu než osmihodinovou směnu nesmí být zvýšeny o více než 20 %.

% Fmax	Počet pohybů za osmihodinovou pracovní směnu	Průměrný minutový počet pohybů za osmihodinovou směnu
7	27600	56
8	24300	50
9	21800	44
10	19800	41
11	18100	37
12	16700	34
13	15500	32
14	14 000	28
15	13 500	27
16	12 700	26
17	12 000	25
18	11 400	24
19	10 900	23
20	10 400	22
21	10 000	21
22	9 600	21
23	9 300	20
24	9 000	19
25	8 700	18
26	8 400	18
27	8 100	17
28	7 800	17
29	7 500	16
30	7 200	15
31	6 900	15
32	6 600	14
33	6 300	14
34	6 000	13
35	5 800	12

Tabulka 3-5 Hygienické limity pro počty pohybů [8]

3.3 Pracovní poloha

Chybná pracovní poloha při trvalé práci vykonávané zaměstnancem je také častou příčinou zdravotních problémů. Zdravotní riziko pracovní polohy je hodnoceno na základě jejího členění na pracovní polohu přijatelnou, podmíněně přijatelnou a nepřijatelnou. Nařízení vlády upravuje a stanovuje průměrné hygienické limity v jednotlivých pracovních polohách, které zahrnuje i minimální opatření k ochraně zdraví při vykonávání pracovní činnosti v podmíněně přijatelných a nepřijatelných pracovních polohách. Na Obrázku 3.1 je zobrazena správná poloha při sedavé práci u počítače, kterou málo který pracovník u práce s počítačem dodržuje. [1]



Obrázek 3-1: Správné sezení [24]

3.4 Ruční manipulace s břemeny

Při ruční manipulaci s břemenem (nošení, zvedání, pokládání, přemísťování, tahání, strkání) může dojít k poškození páteře zaměstnance nebo k onemocnění z jednostranné nadměrné fyzické zátěže.

Nařízení vlády jednak hodnotí zdravotní rizika při ruční manipulaci s břemenem, jednak stanoví hygienické limity pro hmotnost ručně manipulovaného břemene přenášeného jak muži, tak ženami. Součástí nařízení je také vytyčení minimálních opatření k ochraně zdraví při práci, hygienických požadavků na pracoviště a bližších požadavků na pracovní postupy [8].

	Ruční manipulování břemeny			
	Občasné [kg]	Časté [kg]	Vsedě [kg]	Ve směně [kg]
Muž	50	30	5	10 000
Žena	20	15	3	6 500

Tabulka 3-6: Hygienické limity pro ruční manipulaci s břemeny [8]

3.5 Kategorizace práce

Povinnost kategorizace prací je dána §37, ze zákona č. 258/2006 Sb., o ochraně veřejného zdraví, vč. vyhlášky č. 432/2003 Sb., které rozdělují práce na 4 kategorie podle stanovených pravidel. Toto rozdělení je základním prostředkem, který se podílí na hodnocení vlivu práce na zdraví zaměstnance. Jednotlivé kategorie jsou definovány mírou překročení hygienických limitů a rizikem ohrožení zdraví. Kategorizace je zákonnou povinností nejen všech zaměstnavatelů, ale i osob, které vykonávají práci sami (OSVČ) nebo s rodinnými příslušníky. [21]

Kategorizace práce je dána vyhláškou č. 432/2003 Sb. [1]:

1. Kategorie	2. Kategorie	3. Kategorie	4. Kategorie
Nevyplyvá pravděpodobný nepříznivý vliv na zdraví	Nepříznivý vliv na zdraví ve výjimečných případech	Jsou překročeny hygienické limity	Hrozí vysoké riziko ohrožení zdraví při práci

Tabulka 3-7: Kategorizace prací [21]

- **1. kategorie** – do této kategorie jsou zařazeny práce, které nemají pravděpodobný nepříznivý vliv na zdraví pracovníka,
- **2. kategorie** – do této kategorie jsou zařazeny práce, které mají ve výjimečných případech (citliví jedinci – astmatici, alergici apod.) vliv na zdraví pracovníka, aniž by byly trvale překračovány hygienické limity. Při zařazení práce do této kategorie je zákonnou povinností zaměstnavatele zaslat oznámení orgánu ochrany veřejného zdraví, tj. krajské hygienické stanici, která posoudí jeho správnost,
- **3. kategorie** – do této kategorie jsou zařazeny nejen práce, u kterých jsou trvale překračovány hygienické limity, ale i práce, při nichž je pracovník vystaven riziku působení chemických a biologických látek bez možnosti spolehlivého snížení jejich působení technickými opatřeními. Z tohoto důvodu se musí pro zajištění ochrany zdraví osob nezbytně používat osobní ochranné pracovní prostředky. Práce, které jsou zařazeny ve 3. kategorii, mají také častější výskyt nemocí z povolání. Při zařazení práce do této kategorie je nutné zaslat přímo návrh zařazení ke schválení krajské hygienické stanici (nikoliv jen oznámení),
- **4. kategorie** – do této nejzávažnější kategorie jsou zařazeny práce, u kterých hrozí vysoké riziko ohrožení zdraví. Zdravotní rizika nelze vyloučit ani s použitím ochranných opatření. Při zařazení do této kategorie je také nutné zaslat návrh o zařazení ke schválení krajské hygienické stanici.

3.5.1 Zařazení práce do 3. kategorie

Povinnost kategorizace prací ukládá zaměstnavatelům zákon. Zdraví člověka je velmi důležité, a tak je snížení pracovních zdravotních rizik důležitou prioritou nejen zaměstnavatelů, ale i státu, zaměstnanců samotných, zdravotníků a dalších fyzických a právních subjektů.

Zařazením práce do 3. kategorie se již statisticky častěji vyskytují nemoci související s prací nebo nemoci z povolání. Ochrana před poškozováním zdraví z práce je reálná dvěma způsoby. Jednak je nutné kontrolovat a sledovat faktory, kterým jsou pracovníci na pracovišti vystaveni, jednak je potřeba kontrolovat a sledovat následky, tj. zdravotní stav pracovníků a ohrožení nemocemi z povolání. [1]

Důsledky zařazení práce do 3. kategorie [1]:

- Automaticky zvýšení nákladů pro zaměstnavatele (náklady na pojištění, pravidelné lékařské prohlídky jednou ročně),
- Administrativní zatížení – evidence konkrétní docházky přímo daného pracoviště, která musí být archivována po dobu 10 let – evidence papírová (náklady spjaté se skladovacím místem pro archivaci) či elektronická (náklady spjaté s datovým uložištěm),
- Změny v organizaci práce (bezpečnostní přestávky každé 2 hodiny alespoň 5 minut, rotace pracovních pozic),
- Uznání nemoci z povolání zvyšuje náklady zaměstnavatele o bolestné a v případě propuštění z důvodu NzP je zaměstnavatel povinen odškodnit zaměstnance částkou v hodnotě 12 měsíčního odstupného.

3.5.2 Hodnotící faktory pro zařazení do jednotlivých kategorií

Při zařazení práce do jednotlivých kategorií se posuzují následující faktory [21]:

- Hluk,
- Prach,
- Zátěž chladem a teplem,
- Vibrace,
- Fyzická zátěž,
- Pracovní poloha,
- Psychická zátěž,
- Zraková zátěž,
- Práce s biologickými a chemickými činiteli.

O zařazení práce do druhé, třetí a čtvrté kategorie rozhoduje osoba s příslušným osvědčením nebo autorizací, která může provést náležitá měření a vyšetření a vyhodnotit možná rizika. [21]

4 Elektromyografie (EMG)

Následující kapitola se věnuje samotné elektromyografii, její historii a rozdělení metod pomocí kterých se dá provést.

4.1 Historie elektromyografie

Počátek elektromyografie v dnešním významu lze datovat k roku 1851, kdy Frenchman DuBois-Reymond podal první zprávu o elektrických signálech produkovaných při volní aktivitě lidských kosterních svalů. Použil jako registrační elektrody baňky s elektrolytem a zachytil tak elektrickou odpověď svalu při volné kontrakci. Zároveň objevil, že na velikost zaznamenaného proudu má vliv odpor (impedance) kůže. Ke snímání signálu použil drátěnou elektrodu. V roce 1907 Němec H. Piper metodu záznamu zdokonalil použitím kovových plošných elektrod.

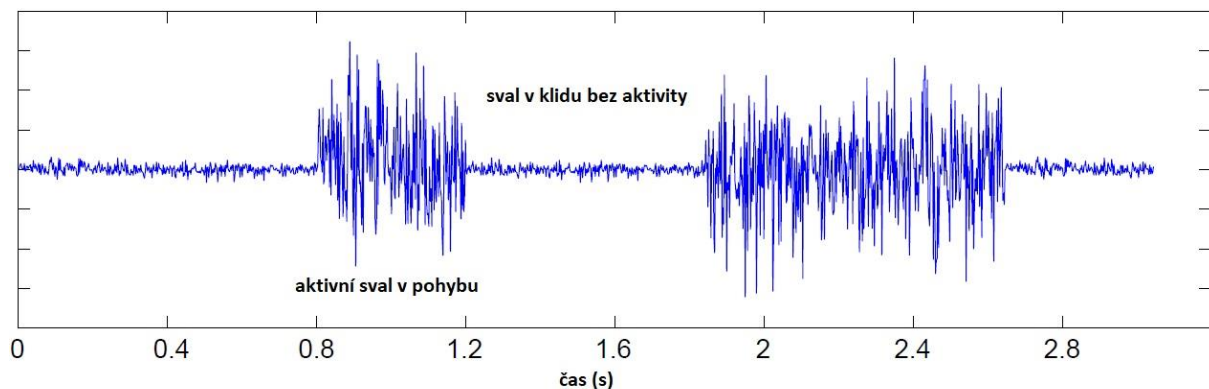
Další pokrok v technice záznamu představoval objev katodové trubice, když Joseph Erlanger a Herbert Spencer Gasser v roce 1922 jako první použili k registraci biopotenciálu namísto galvanometru osciloskop, založený na principu katodové trubice. Za tento výzkum a za úspěšnou interpretaci akčního potenciálu získali Nobelovu cenu za fyziologii.

Rychlý rozmach klinické myografie pak přineslo až zavedení jehlové elektrody Adrianem a Bronkem v roce 1929. Tato metoda poprvé v historii umožnila sledovat aktivitu spojenou s činností jednotlivých svalových vláken a akustické monitorování EMG záznamu. Metodu využití elektromyografických jehel dále zdokonalil v průběhu 50. a 60. let F. Buchthal.

Následující desetiletí přinesla bouřlivý rozvoj v oblasti EMG, zejména v jehlové EMG. Díky tomu se mohl v roce 1961 v Itálii konat I. Mezinárodní elektromyografický kongres, na kterém byla dohodnuta určitá míra shody na algoritmech a interpretacích EMG. To bylo nutností, jelikož druhá polovina 20. století přinesla díky velkému rozmachu technologií další zdokonalování elektrofyziologických technik. Postupně tak bylo možné rozšířit oblast zájmu EMG i na celý motorický a senzitivní systém. [9]

4.2 Charakteristika elektromyografie

Elektromyografie je jedna z elektrofyziologických vyšetřovacích metod, která slouží k hodnocení stavu pohybového systému. Patří mezi diagnostické metody, při které elektromyograf umožňuje snímat svalovou aktivitu. Měření spočívá v zaznamenání elektrické aktivity svalu, která vzniká změnou elektrického potenciálu při svalové aktivaci. Akční potenciál se tedy dá nazvat jako elektrickou aktivitu činného svalu. [9][10]



Obrázek 4-1: Ukázka EMG signálu [25]

4.3 Vznik akčního potenciálu

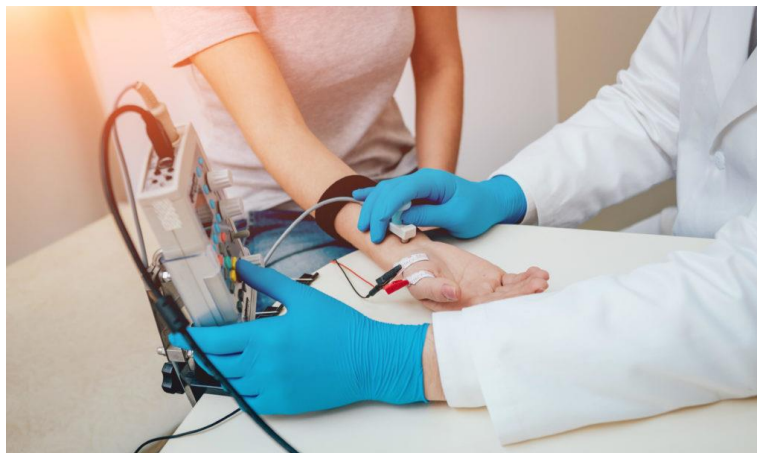
Při překročení klidové hodnoty membránového potenciálu v kořene axonu dochází ke vzniku akčního potenciálu. Dochází k otevření sodíkových kanálků a do buňky začnou proudit sodné ionty. Tímto dějem proběhne depolarizace (elektrická změna náboje) membrány a akční potenciál se začne postupně šířit. Pokud je sval volně aktivován, šíří se akční potenciál z mozku k motoneuronům. Akční potenciál je dále veden k jednotlivým svalovým vláknům a poté se rozšiřuje po jejich membránách. [9] [10]

4.4 Způsoby měření elektromyografie

Přístroj, který měří elektrickou aktivitu svalu se nazývá elektromyograf. Existují 2 způsoby tohoto snímání, a to podle charakteru onemocnění vyšetřovaného místa. Jedním ze způsobů je povrchová elektromyografie, která se měří přímo na povrchu těla pomocí povrchových elektrod. Druhým je jehlová elektromyografie, kde je snímací elektroda umístěna přímo v testovaném svalu. Použití těchto 2 metod závisí na druhu vyšetření a podle zkoumaného místa.

4.4.1 Povrchová elektromyografie

Pomocí povrchové elektromyografie se měří rychlost vedení vzruchu ve stimulovaném nervu a velikost odpovědi, kterou způsobí zmíněná stimulace ve svalu a nervu. Měření se provádí pomocí snímacích elektrod, které jsou přilepeny na kůži nad testovaným svalem, a zároveň jsou elektrody připojeny k záznamovému zařízení. Rozlišují se plovoucí a suché povrchové elektrody. Povrchové elektrody snímají akční potenciál většího počtu svalů současně či větší oblasti svalové tkáně. Jedná se o nebolestivou metodu. Nejčastějším případem tohoto měření bývají 2 elektrody, které jsou umístěny paralelně s průběhem svalových vláken. Snímání různých elektrických potenciálů pomocí těchto 2 elektrod je vztaženo k referenční (zemnicí) elektrodě, která je umístěna v místě bez jakéhokoliv vzruchu. Výsledek elektromyografického měření je ovlivněn řadou faktorů. Mezi vnější faktory ovlivňující měření patří umístění elektrod na kůži, vzdálenost elektrod od sebe a jejich velikost, špatný kontakt mezi kůží a elektrodami nebo externí šum. Vnitřní faktory nelze vlastním snímáním ovlivnit, jelikož se jedná o fyziologický a biochemický vlastnosti svalu. Mezi neovlivnitelné faktory měření patří aktivita okolních svalů, aktivita zkoumaného svalu a vlastnosti tkání mezi elektrodami a povrchem zkoumaného svalu. [11]



Obrázek 4-2: Povrchová elektromyografie [19]

4.4.2 Jehlová elektromyografie

Při jehlové elektromyografii se měří akční potenciál souboru svalových vláken, který je zásobený pouze jedním nervovým vláknem. Snímání probíhá pomocí elektrody, která je zabodnutá přímo v testovacím nervu. Tato metoda patří mezi podpovrchové. Jehla je velmi tenká a její velikost se dá srovnat s velikostí inzulínové jehly. Výsledkem měření je zhodnocení parametrů inzerční aktivity, spontánní aktivity v klidu a volní aktivity (aktivita během kontrakce). Inzerční aktivita je způsobena podrážděním svalových vláken, které jsme vyvolali hrotem jehly. Při volní aktivitě registrujeme vzruch souboru svalových vláken, které jsou zapojeny do kontrakce svalu při působení dané síly. Tato metoda se převážně používá k diagnostice nervosvalových onemocnění. Měření není vhodné pro pohybovou analýzu, jelikož by mohlo při rozsáhlejšímu pohybu dojít k poškození tkáně. [12]



Obrázek 4-3: Jehlová elektromyografie [20]

4.5 Využití EMG v oblasti ergonomie

Metoda EMG měla prvotní využití v lékařství. V medicíně se vyskytuje u měření svalové aktivity, svalové síly či svalové únavy. Dále ji lze využít v ortopedii, ve funkční neurologii a pro analýzu chůze a držení těla, konkrétně pro hodnocení průběhu nemoci nebo pro její léčbu. [5]

Tato metoda našla využití i v dalších vědních oblastech jako například ve sportu. Pomocí EMG lze sledovat aktivitu svalů během výkonu sportovců a následně vyhodnotit a stanovit lepší tréninkový plán a zjistit, který sval je potřeba více posílit. Dají se i určit případné sportovní rehabilitace. [5]

Nejvíce podstatné je v této práci využití elektromyografie v oblasti ergonomie. Povrchové EMG měření se často využívá pro vyjádření fyzické zátěže během práce. Velikost signálu EMG poměrně přesně udá velikost svalové zátěže. Během práce se zaznamenává průběh signálu EMG a tento záznam se později používá pro ergonomickou analýzu. Především se hodnotí aktivita specifických svalových skupin při určitých pracovních polohách. Tyto informace mohou přispět k postupům, které se pomůžou vyhnout pracovním problémům, lépe uspořádat pracoviště a celkově napomůžou ke zvýšení produktivity. [5]

Jednou ze základních otázek ergonomie je studium svalové únavy (tj. stav, kdy osoba, která vykonává určitou práci již není schopna vyvinout požadovanou sílu). Podle zpracování signálu, se kontrakce unaveného svalu projevuje postupným zvýšením velikosti povrchového signálu EMG a nastávají významné změny ve výkonovém spektru. [22]

5 Měření lokální svalové zátěže pomocí EMG

Tato kapitola se věnuje měřicí technice EMG, která bude použita pro snímání lokální svalové zátěže v praktické části.

K měření lokální svalové zátěže byl zvolen přístroj EMG Holter, který patří mezi přístroje povrchové elektromyografie, a který je jako jediný přístroj povolený pro měření v České republice. Dále ale také existuje měřicí přístroj EMG Biometrics, který je velice srovnatelný s EMG Holterem.

5.1 EMG Biometrics

Společnost Biometrics Ltd. Patří mezi světovou jedničku v oblasti, která se zabývá technologicky vyspělými senzory, nástroji a softwarem využívající se v biomedicíně, inženýrském výzkumu a v rehabilitacích. Společnost je zaměřena na výrobu a vývoj bezdrátových přístrojů a senzorů, které se využívají při měření a analýze dynamických pohybů a vývoji počítačových softwarů, pomocí kterých probíhá vyhodnocení výkonu klinické rehabilitace. [14]

Systémy pro sběr analogických i digitálních dat z biomedicínských senzorů jsou z důvodu rychlosti, přesnosti a snadné aplikace preferovány v oblasti sledování pohybů. Vyhodnocení výsledků lze rovněž považovat za dynamické a velmi přesné. Produkované systémy je možné snadno integrovat s dalšími systémy jiných výrobců a tím je umožněna vzájemná synchronizace a propojení získaných dat. Produkty od Biometrics Ltd. pro sledování namáhání a pohybů lze rozdělit do dvou skupin na snímače a systémy a programovatelné sběrače dat. [14]

Snímače a systémy jsou označovány jako DataLite a jsou nabízeny i v bezdrátové variantě. DataLite obsahuje multisenzorový vstup včetně goniometrů a pokročilou funkci snímání EMG na povrchu kloubu. Jako snímače označujeme senzory, které snímají svalovou aktivitu v typickém pracovním prostředí. Programované sběrače dat jsou nazývány jako DataLog a DataLink. Jde o více kanálové programovatelné sběrače dat, které také obsahují multisenzorový vstup. [14]



Obrázek 5-1: Kompletní balíček Biometrics DataLog [14]

5.1.1 DataLog

DataLog je kompletní balíček, ve kterém se nachází senzory a přístroje určené pro statické i dynamické měření jak v klinickém prostředí, tak i v jakémkoliv pracovním prostředí. Jde o nejnovější technologii od společnosti Biometrics Ltd. v oblasti získávání a přenosu dat. Jedná se o novinku ve sledování lidských výkonů v ergonomii pomocí přístroje, který obsahuje malou baterii, barevný grafický LCD displej, joystickem a hlavně bezdrátové připojení k počítači přes Bluetooth. Přístroj může být při měření umístěn na rameni, nohou či připevněn na trup. Místo umístění na pozorované osobě zaleží na tom, aby nebyla osoba při pohybu nějak omezena či rušena. Pokud je potřeba, je možné k přístroji dále připojit různé senzory či goniometry. [14]

5.1.2 EMG senzory

EMG senzory, které jsou nabízeny společností k měřicímu přístroji, jsou dostupné ve třech verzích [14]:

- Povrchové senzory – obsahují integrované elektrody, které jsou od sebe pevně vzdálené 20 mm. V tomto případě není potřeba žádné očištění kůže ani aplikace vodivého gelu,
- bezdrátové povrchové senzory – obsahují integrované elektrody s případným dosahem až 40 metrů,
- bezdrátový EMG Amplifier – v tomto případě se používají jednorázové elektrody, které mezi sebou mají maximální vzdálenost 170 mm a minimální vzdálenost variabilní podle použitých elektrod.



Obrázek 5-2: Snímací elektroda [14]

5.2 EMG Holter a jeho popis

EMG Holter zaznamenává svalovou zátěž člověka při práci. Záznam se uskutečňuje pomocí čtyř EMG signálů a pulsní frekvence, která je vypočtena z jednosvodového EKG. Měření může probíhat po dobu celé směny, jelikož snímaná data jsou ukládána do paměti holteru, která činí 17 hodin. K dalšímu hodnocení měření se data nahrají do počítače. Při zaznamenávání svalové zátěže dochází k ukládání integrálních hodnot a hodnot frekvence EMG signálu. K přístroji lze dále připojit vnější modul např. modul teploty, pomocí volného DC kanálu. [17]

Holter se nachází v ocelovém pouzdru, které chrání elektroniku před mechanickým poškozením a zároveň zabraňuje elektrostatickému a elektromagnetickému rušení. EMG svody jsou připojeny k přístroji pomocí speciálních konektorů, které mají pojistku proti samovolnému uvolnění, při kterém by došlo k přerušení ukládání dat do přístroje. Do jednoho svodu jsou připojeny dva EMG kanály. Tím se zredukoval počet kabelů a zjednodušila se příprava měření. Komunikaci mezi Holterem a počítačem zajišťuje program EMG zvaný Analyzer. Ten nám umožňuje zobrazit databáze měření, zobrazení křivek, základní statistické výpočty, export/import hodnot apod. Analyzer Umožňuje analýzu zaznamenaných signálů během měření, kde jsou signály normalizovány k hodnotám F_{max} . Dále mohou být vypočteny průměrné hodnoty signálů, které jsou vyjádřeny v procentech F_{max} . Může být také zobrazen histogram EMG hodnot, ty jsou také vyjádřené v procentech F_{max} . Než začne měření EMG, je nutné si nejprve určit, zda je pracovní činnost vykonávaná dynamicky, či staticky. [17]



Obrázek 5-3: EMG Holter [17]

Z výzkumu vyplynulo, že EMG Holter v porovnání s Biometrics DataLog měří srovnatelným způsobem a jejich použití je obdobné. Každý z těchto přístrojů má své specifické možnosti využití a je třeba podotknout, že EMG Holter je jediným legislativně povoleným přístrojem pro měření lokální svalové zátěže v ČR. [27]

5.3 Postup při měření svalové zátěže pomocí EMG Holteru

Kapitola se věnuje postupu při měření lokální svalové zátěže pomocí EMG Holteru, abychom co nejvíce předešli neúspěšnému měření.

5.3.1 Příprava EMG Holteru na měření

Nejprve je do EMG Holteru vložena baterie. Vložení baterie je jediný způsob, jak přístroj zapnout a opět vypnout. Na elektrody, které jsou spojeny s EMG svody, se nejprve nasadí lepicí kroužky. Lepicí kroužky musí být nasazeny na elektrody ještě před nalepením na kůži, jelikož by mohlo dojít k ovlivnění měření, kdyby přicvaknutí elektrod na lepicí kroužky proběhlo až po nalepení na kůži. EMG svod obsahuje pět elektrod, které jsou rozeznatelné podle barvy (červená, žlutá a zelená).

5.3.2 Očištění kůže před měřením

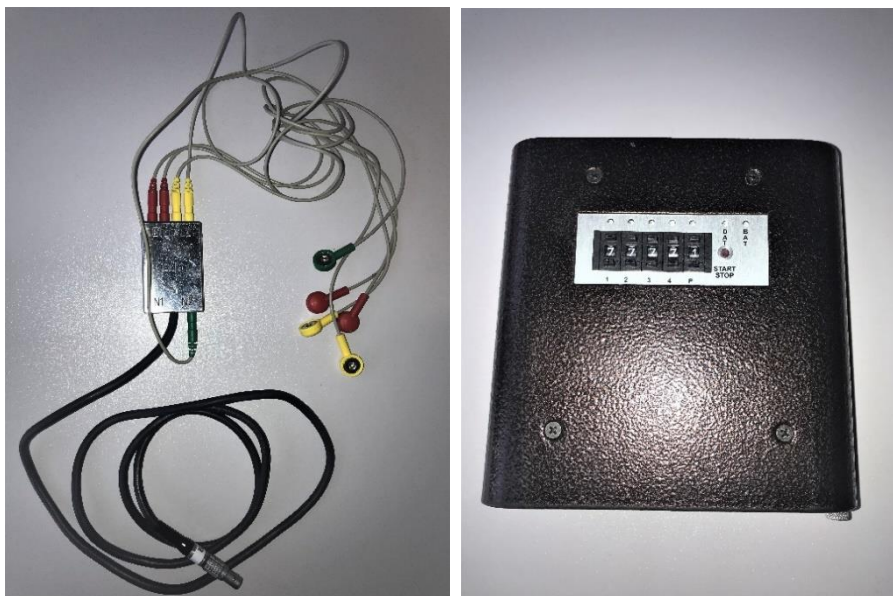
Na očištění pokožky v místě měření se použije elektrodový krém (abrazivní pasta). Krém má za úkol odstranit odumřelé zbytky kůže, zlepšit přilnavost lepících kroužků a napomáhá k lepšímu vedení signálu. Po nanesení krému je pokožka usušena ubrouskem, aby byl krém co nejlépe odstraněn pro měření.

5.3.3 Nalepení elektrod

Před nalepení elektrod se vyhledávají dva svaly – extensor a flexor. Měřený pracovník provádí určité pohyby (např. zatínání pěsti) pro vyhledání těchto svalů a pro objevení vhodného místa na nalepení elektrod.

Po nalezení extenzorů a flexorů se na každou paži umístí 5 elektrod. Na horní stranu předloktí, kde se nacházejí extensor, se nalepí elektrody. Následně další elektrody, které se nalepí na spodní stranu předloktí, kde se nachází flexor. Poslední elektroda je užívána jako zemnicí a je nalepena na místo, kde by neměl být, pokud možno, žádný sval (např. loketní kost).

Extensor se nachází na horní části předloktí a přibližně ve 4/5 jeho délky od zápěstí směrem k lokti se na něj umístí dvě červené elektrody vedle sebe. Elektrody by neměly překážet v pohybu měřeného člověka a zároveň se při pohybu vzájemně nedotýkat. Pokud máme elektrody na horní části předloktí nalepené, můžeme přejít na dolní část předloktí a nalézt flexor. Ten nahmatáme přibližně ve 2/3 jeho délky od zápěstí a umístíme na něj po jeho délce dvě žluté elektrody. Poslední zelená elektroda tzv. elektroda zemnicí je umístěna na loketní kost, kde se nenachází žádný sval. Před nalepením elektrod je nutné použít v místě nalepení elektrodový krém, který má minimalizovat přechodový odpor mezi elektrodou a kůží. Podle potřeby se elektrody přelepí lepící páskou, aby nedošlo při pohybu k odlepení. Dále se použijí pružné bandáže tzv. prubany, které přichytí elektrody a EMG svody na měřeného člověka tak, aby se mohl lépe pohybovat.



Obrázek 5-4: Elektrody a EMG Holter [autor]

5.3.4 Připojení EMG Holteru k počítači

Po nalepení elektrod na pracovníka a po připojení EMG svodů k Holteru, můžeme Holter připojit k Interface, který propojí počítač s přístrojem. Zmáčknutím tlačítka START se interface aktivuje a tím se k počítači připojí EMG Holter.



Obrázek 5-5: Interface pro připojení EMG Holteru [autor]

5.3.5 Nastavení měření v počítači

Po připojení EMG Holteru k Interface zapneme program EMG Analyzer a klikneme na tlačítko „Holter < -- > PC“, které nám propojí Holter k PC. Po načtení ikonky můžeme zvolit tlačítko „Načíst info“. Nejdříve si nastavíme měření tím, že napíšeme informace o měřeném pracovníku (např. Jméno, příjmení).

Před dalším krokem je nutné zmáčknout na Holteru tlačítko STOP/START, kterým se zapne ukládání měřených záznamů. Jde o malé červené blikající tlačítko, které nalezneme vedle zesilovacích kanálů. Ukládání záznamů probíhá tak dlouho, dokud nejsou záznamy přetaženy pomocí Interface do počítače nebo pokud nedojde k vytažení baterie z Holteru.

5.3.6 Zjištění maximální síly Fmax

Nejprve je nutné si u pracovníka zjistit jeho maximální volnou sílu (Fmax). Je to síla, kterou osoba dokáže vynaložit při maximálním volném úsilí konkrétními svalovými skupinami a v konkrétní pracovní poloze. Při výkonu práce se budou veškeré naměřené síly odkazovat k referenční síle, kterou bude právě tato maximální volná síla.

Měření maximální síly probíhá například dynamometrem. Proband by měl u měření stát, provést úchop dynamometru tzv. podhmatem, mít paže ohnuty do pravého úhlu v lokti a sílu by měl držet kolem tří sekund.



Obrázek 5-6: Dynamometr [autor]



Obrázek 5-7: Správné držení dynamometru [autor]

Pomocí maximální síly probíhá i nastavení citlivosti měřícího přístroje. Citlivost elektrod lze nastavit pomocí zesilovacích kanálů, které nastavíme podle křivek maximální síly, které by se měly pohybovat v počítači do 2/3 osy. Senzitivita se odvíjí i od červeně svítících LED diod, které jsou umístěny nad přepínačem. Pokud dojde k překročení maximální síly, začne dioda svítit. Po nastavení citlivosti odpojíme přístroj od počítače, vložíme Holter do brašny, kterou předáme pracovníkovi a samotné měření může začít.



Obrázek 5-8: Zesilovací kanály na EMG Holteru [13]

5.3.7 Samotné měření

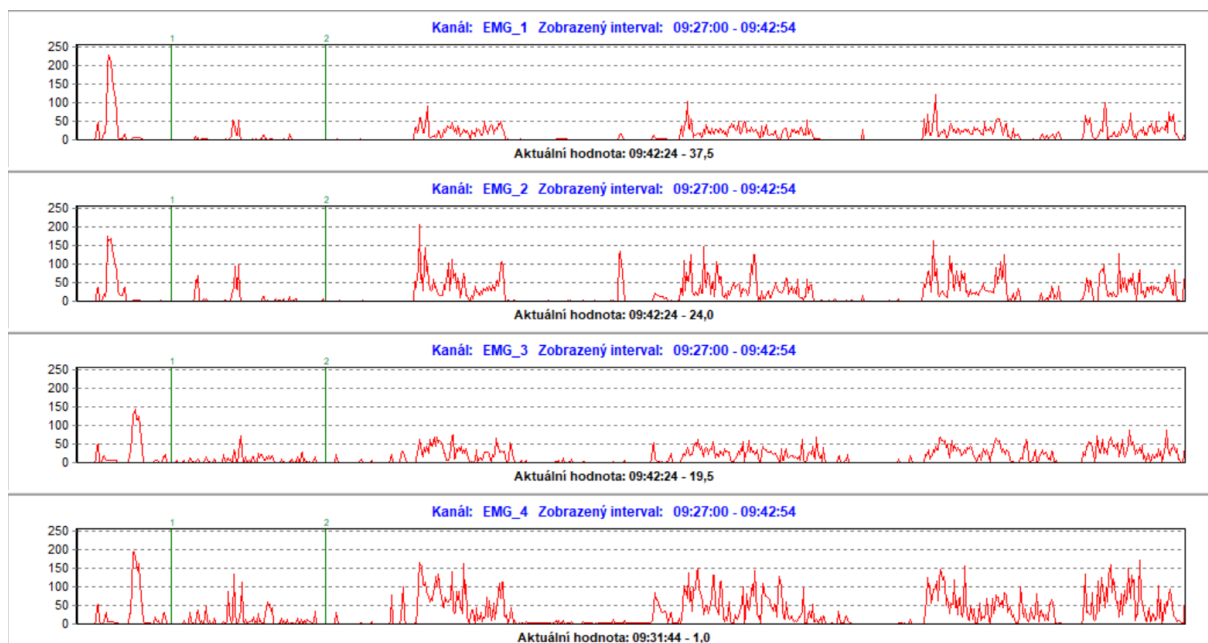
Pokud chceme zaznamenat cokoliv důležitého (např. začátek směny, přestávka) můžeme zmáčknout velké červené tlačítko na přístroji zvané „marker“. Při jeho zmáčknutí se do grafu zanesou zelené čáry, které nám oddělí jednotlivé důležité milníky a můžou nám pomoci při pozdější analýze.

Po skončení měření se opět stiskne červené tlačítko na Holteru START/STOP, které nám ukončí ukládání dat. Poté měřené osobě sundáme Holter a odpojíme elektrody. Měřicí přístroj opět spojíme přes Interface k počítači a přetáhneme naměřená data do programu.



Obrázek 5-9: EMG Holter [autor]

Předem bylo provedeno zkušební měření, aby se předešlo případným chybám při skutečném měření v terénu. Byl zvolen doporučený postup měření lokální svalové zátěže pomocí metody EMG. Po převedení dat do počítače program zpracuje data a vyhodnotí křivky, které zobrazují průběh měření.



Obrázek 5-10: Ukázka EMG signálu při měření [autor]

První marker na obrázku 6-10 v grafu odděluje maximální volnou sílu (F_{max}), ke které se nadále odkazují ostatní naměřené síly v průběhu měření. Je tedy nutné zapsat do programu časové rozmezí, v jakém se tato síla nachází, před vyhodnocováním samotného měření.

6 Úvod do praktické části

Tato kapitola se nejprve bude věnovat vybraným pracovištím, včetně popsání samostatné činnosti pracovníků a požadavků na měření. Další část bude zaměřena na postup vyhodnocení jednotlivých pracovních pozic a následné zařazení do jednotlivých pracovních kategorií. Na závěr praktické části budou navržena doporučená opatření v případě, že pracovní pozice nebude vyhovovat přípustným hygienickým limitům, a poté bude následovat přeměření, zda zavedená opatření byla efektivní.

6.1 Představení společnosti

Pro analýzu pracovišť byla vybrána společnost XY, která se zabývá automobilovými interiéry a je předním světovým dodavatelem automobilových komponentů a systémů. Výrobní závod je postaven na základech technologického pokroku včetně environmentální udržitelnosti, prvotřídní výroby a neustálého zlepšování svých produktů. Zákazníkům poskytuje bezkonkurenční dosah výroby, inovace materiálů a technické možnosti. Výsledkem pokroků jsou vynikající řešení, která pomáhají snižovat hmotnost, zapojit přírodní materiály a rozlišovat vozidla v jejich tržních částech.

6.2 Popis vybraných pracovních činností

V rámci auditu byla vybrána 2 pracoviště, pro která byla provedena měření lokální svalové zátěže pomocí metody EMG. Jedno pracoviště bylo vybráno tak, že už při chvilkovém pozorování pracovní činnosti pozice finální kontroly dílů bylo zřejmé nedodržování hygienických limitů a zařazení do 3. pracovní kategorie, aby mohlo být následně doporučeno opatření. U této pozice je největším problémem manipulace s velmi těžkým břemenem. Měřena a vyhodnocena byla práce operátorů výroby, která je vykonávána ve třísměnném provozu v osmihodinových směnách. Denní odpracovaný čas pracovníka činí 450 minut vyjma třicetiminutové pauzy na oběd.

Pozice předmontáž

Operátor nejprve připravuje několik drobných komponentů. Jedná se o plastové boční krytky, upevňovací prvky (například plastové nýty), těsnění a úchytky. Tyto díly dále nemontuje, ale položí pouze na stůl pro následné pracoviště. Dále probíhá montáž tří komponentů, které byly předány a zkontrolovány předchozím pracovníkem. Pracovní náplň tedy tvoří příprava drobných dílů, které ale dále nemontuje, a montáž tří komponentů, které byly pracovníkovi předány z jiného pracoviště. Váha těchto montovaných komponentů činí 340 g, 290 g a 420 g. Doba trvání jednoho cyklu činí 140 sekund. Denní norma předmontáže je 190 kusů za směnu.

Váha komponentů	340 g	290 g	420 g
Doba trvání pracovního cyklu	140 s		
Denní norma	190 ks/směna		

Tabulka 6-1: Informace k pracovní činnosti předmontáže [autor]

Pozice finální kontrola kusu

Tato pozice se věnuje kontrole finálního dílu. Pracovník odebere hotový komponent ze zařízení, ve kterém probíhala elektronická kontrola, a uloží ho na pracovní stůl. Operátor má za úkol zkontrolovat kvalitu panelu z pohledové a následně z nepohledové strany komponentu. Dále probíhá kontrola ovladačů a důležitých problémových míst, která jsou označena fixem. Při dalším kroku pracovník vytiskne štítek a poté ho nalepí na dané místo komponentu. Následně je finální komponent umístěn do balícího boxu a zajištěn páskem. Na tomto pracovišti probíhá manipulace s úplným komponentem o váze 3 120 g. Finální kontrola jednoho dílu činí 90 sekund a denní norma kontroly je 300 ks.

Váha komponentů	3 120 g
Doba trvání pracovního cyklu	90 s
Denní norma	300 ks/směna

Tabulka 6-2: Informace k pracovní činnosti finální kontroly [autor]

6.3 Požadavky na měření

Cílem této práce je co nejlépe vyhodnotit dané pracovní pozice. S tímto předpokladem souvisí několik faktorů, které mohou samotné měření ovlivnit a následně i znehodnotit výsledky.

Pro měření jsou vybrány 2 osoby, které by měly splňovat následné požadavky:

- Stejně pohlaví,
- přibližně stejný věk,
- odpovídající váha a výška,
- stejná dominantní horní končetina,
- osoba dostatečně zacvičená.

Pokud se na pracovišti nacházejí muži i ženy, jsou vybrány pro měření ženy, jelikož mají menší svalovou sílu a k onemocnění u nich dojde dříve než u mužů. Osoby by měly být bez prodělaného poranění horních končetin, jelikož po zhojení zlomeniny dochází k omezenému pohybu v kloubech ruky. Měření není vhodné ani u pracovníků, kteří prodělali ztrátu článku prstů, při které dojde ke zhoršení úchopových vlastností a síly stisku.

Důležité je i zmínit důležitost přípravy zaměstnanců na měření. Souvisí to se zajištěním dostatku materiálu na pracovišti, aby nedošlo k prostojům pracovníka při čekání na dodání chybějícího materiálu. Je důležité, aby pracovník dodržoval daný pracovní postup a denní normu počtu výrobků. Při zaznamenávané práci by pracovník neměl vykonávat zbytečné pohyby při čekání či přestávkách např. zatínání rukou v pěst, jelikož by mohlo dojít ke zkreslení měření kvůli používání pohybu, který nesouvisí s pracovní činností.

7 Analýza pracovních pozic

Tato kapitola je zaměřena na samotné vyhodnocení jednotlivých pracovních pozic. Jedná se o pracovní pozice předmontáž a finální kontrolu kusu, které byly vybrány na základě žádosti samotné firmy o měření lokální svalové zátěže, aby byl zjištěn stav pracovních pozic. Při šetření lokální svalové zátěže byla použita integrovaná elektromyografie. Jsou zde vyhodnocena data zaznamenaná EMG Holterem, která byla naměřena v průběhu přibližně 30 minut pracovního času a následně přepočítána na celou pracovní směnu. Během 30 minut se stačí naměřit dostatečný počet jednotlivých pracovních cyklů, aby bylo průměrné vyhodnocení co nejvíce přesné.

Po zpracování dat následovalo hodnocení jednotlivých výstupů s limity danými vládním nařízením č. 361/2007 Sb. v platném znění, kterým se určí podmínky ochrany zdraví zaměstnanců při práci a vyhláškou č. 432/2003 Sb. v platném znění, kterou se vymezí podmínky pro zařazení práce do kategorie. Při hodnocení pracovních pozic z naměřených dat se posuzují vynakládané svalové síly, počty pohybů a dále se i hodnotí pracovní polohy končetin v závislosti na rozsahu statické či dynamické práce, při dané pracovní směně.

Jak již bylo zmíněno, veškeré vynakládané svalové síly jsou hodnoceny podle síly F_{max} , což je síla, kterou je osoba schopna vynaložit při maximálním volním úsilí konkrétními svalovými skupinami v dané poloze. F_{max} odpovídá 100 % a udává poměr vynakládaných svalových sil při práci.

7.1 Vyhodnocení pracovní pozice předmontáž

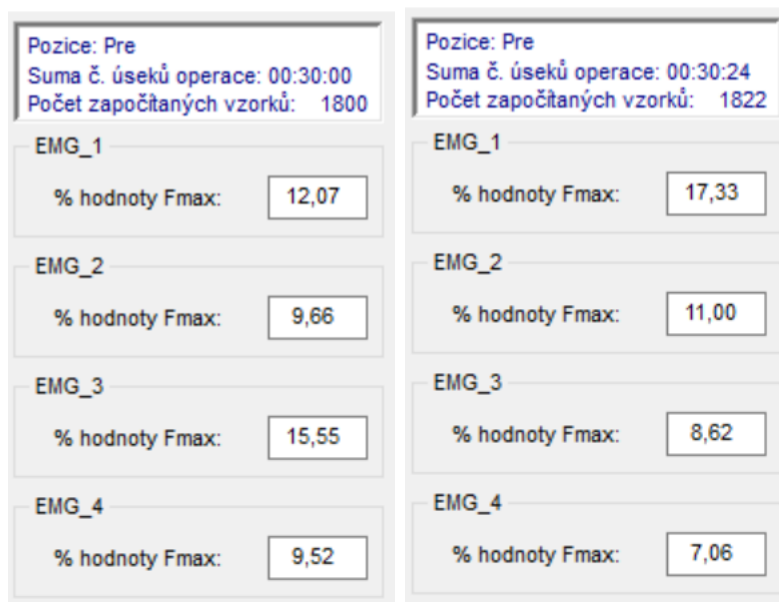
Pro měření byly vybrány 2 osoby ženského pohlaví, které odpovídají požadavkům v předchozí podkapitole. Po připojení elektrod a zapnutí přístroje byly osoby seznámeny s vlastním měřením. Byl použit stejný postup měření, který je podrobně rozepsán v podkapitole 5.3 Postup při měření svalové zátěže pomocí EMG Holteru. Tento průběh měření byl použit v obou případech pracovní pozice předmontáž. Jednotlivá měření proběhla přibližně 30 minut, jeden pracovní cyklus má trvání přibližně 140 sekund a při měření nedošlo k žádným komplikacím.

Profese	Dominantní horní končetina	Věk	Výška	Váha
Předmontáž	Pravá	41	170 cm	82 kg
	Pravá	37	165 cm	75 kg

Tabulka 7-1: Údaje o vybraných osobách – pozice předmontáž [autor]

7.1.1 Průměrné hodnoty Fmax

V tomto případě se jedná o práci staticko-dynamickou s převahou dynamické složky práce, což nám udává, že průměrné hodnoty Fmax nesmí být vyšší jak 30 %. Tyto hodnoty potřebné k vyhodnocení dostaneme z průměru hodnot jednotlivých měření, které byly vypočítány programem (Obrázek 7-1). Dále je nutné tyto hodnoty propočítat s průměrnou pracovní dobou (v tomto případě 450 minut) a dále zohlednit i bezpečnostní přestávky, které odpovídají 5 % Fmax.



Obrázek 7-1: Naměřené hodnoty Fmax z jednotlivých měření – pozice předmontáž [autor]

Průměrné vynakládané síly dle časově váženého průměru, které byly dostány průměrem z jednotlivých měření z tabulek uvedených výše, činí u extenzorů svalové skupiny pravého předloktí 14,83 % Fmax a u flexorů svalové skupiny pravého předloktí 10,46 % Fmax. U svalových skupin levého předloktí se objevují hodnoty 12,22 % Fmax u extenzoru a 8,42 % Fmax u flexoru. Z hodnot je zřejmé, že v tomto případě nedochází k nedodržování hygienických limitů v rámci proměřených svalových skupin, a to při charakteru práce s převahou dynamické složky. Ani jedna hodnota u průměrné Fmax extenzorů a flexorů pravé a levé horní končetiny nepřesahuje a ani se zdaleka nepřibližuje maximální dovolené hodnotě 30 %.

Pravá horní končetina		Levá horní končetina	
EMG 1	EMG 2	EMG 3	EMG 4
14,83 %	10,46 %	12,22 %	8,42 %

Tabulka 7-2: Průměrné hodnoty Fmax pro pracovní pozici předmontáž [autor]

7.1.2 Hodnocení frekvenční analýzy vynakládaných svalových sil

Další hodnoty, které je nutné zkontrolovat, jsou výsledky frekvenční analýzy. V této části jsou důležité hodnoty, které se pohybují v rozmezích 55–70 % Fmax a které nesmí překročit hodnotu 600x za průměrnou 8 hodinovou směnu. Z výsledků je zřejmé, že při konání práce nedochází k vynakládání velkých svalových sil, jelikož se výsledky ani k hodnotě 600 nepřibližují. U měřených svalových skupin tedy nedochází k překročení daného hygienického limitu pro celosměnový počet vynakládaných velkých svalových sil.

Dále je v tabulce frekvenční analýzy důležitý výskyt nadlimitních svalových sil, mezi které patří síly překračující 70 % Fmax. Zde je nezbytné porovnat, zda se jedná o vynakládané síly spjaté s pravidelnou součástí práce či nikoli. V tomto případě dochází k přítomnosti nadlimitních svalových sil (nad 70 %) pouze ojediněle, a tudíž se jedná o nepravidelnou součást práce. Tyto ojedinělé nadlimitní síly se objevují v malém množství u pravé horní končetiny u flexorové i extenzorové skupiny u první měřené osoby a u levé horní končetiny u flexorové a extenzorové skupiny u druhé měřené osoby.

	EMG_1			EMG_2			EMG_3			EMG_4		
	%	Počet	Poč./čas	%	Počet	Poč./čas	%	Počet	Poč./čas	%	Počet	Poč./čas
0 - 5	27,11	488	7320	35,50	639	9585	29,94	539	8085	43,78	788	11820
0 - 10	47,56	856	12840	64,11	1154	17310	44,67	804	12060	67,39	1213	18195
0 - 15	67,94	1223	18345	80,17	1443	21645	56,50	1017	15255	81,50	1467	22005
0 - 20	81,94	1475	22125	89,33	1608	24120	68,33	1230	18450	88,94	1601	24015
0 - 25	90,50	1629	24435	93,06	1675	25125	78,22	1408	21120	92,78	1670	25050
0 - 30	94,56	1702	25530	95,61	1721	25815	84,72	1525	22875	95,50	1719	25785
0 - 35	97,17	1749	26235	97,17	1749	26235	90,94	1637	24555	97,00	1746	26190
0 - 40	98,72	1777	26655	98,06	1765	26475	94,28	1697	25455	98,22	1768	26520
0 - 45	99,50	1791	26865	98,89	1780	26700	96,39	1735	26025	98,83	1779	26685
0 - 50	99,78	1796	26940	99,22	1786	26790	97,67	1758	26370	99,00	1782	26730
0 - 55	99,83	1797	26955	99,39	1789	26835	98,61	1775	26625	99,22	1786	26790
55 - 70	0,11	2	30	0,39	7	105	1,00	18	270	0,44	8	120
> 70	0,06	1	15	0,22	4	60	0,39	7	105	0,33	6	90

Volby tabulky

Čas přepočtu [min]

Způsob zobrazení údajů

Kumulativní součty

Absolutní hodnoty

Zobrazit sloupce

Procenta

Počet

Počet za čas přepočtu

Hodnoty času v patičce

Obrázek 7-2: Frekvenční analýza vynakládaných svalových sil pozice předmontáž – 1. osoba [autor]

	EMG_1			EMG_2			EMG_3			EMG_4		
	%	Počet	Poč./čas	%	Počet	Poč./čas	%	Počet	Poč./čas	%	Počet	Poč./čas
0 - 5	21,24	387	5735	43,63	795	11781	43,91	800	11855	57,41	1046	15501
0 - 10	30,13	549	8136	57,19	1042	15441	60,10	1095	16227	71,79	1308	19383
0 - 15	44,73	815	12077	70,20	1279	18953	77,28	1408	20865	82,05	1495	22154
0 - 20	61,53	1121	16612	81,17	1479	21917	90,56	1650	24451	90,45	1648	24422
0 - 25	75,03	1367	20257	88,31	1609	23844	97,42	1775	26304	94,51	1722	25518
0 - 30	84,52	1540	22821	92,92	1693	25088	98,96	1803	26718	97,53	1777	26333
0 - 35	90,56	1650	24451	95,39	1738	25755	99,56	1814	26881	98,52	1795	26600
0 - 40	94,46	1721	25503	97,42	1775	26304	99,95	1821	26985	99,12	1806	26763
0 - 45	97,31	1773	26274	98,46	1794	26585	99,95	1821	26985	99,45	1812	26852
0 - 50	99,07	1805	26748	99,01	1804	26733	99,95	1821	26985	99,73	1817	26926
0 - 55	99,51	1813	26867	99,29	1809	26807	100,00	1822	27000	100,00	1822	27000
55 - 70	0,38	7	104	0,60	11	163	0,00	0	0	0,00	0	0
> 70	0,11	2	30	0,11	2	30	0,00	0	0	0,00	0	0

Volby tabulky: Čas přepočtu [min]

Způsob zobrazení údajů:
 Kumulativní součty
 Absolutní hodnoty

Zobrazit sloupce:
 Procenta
 Počet
 Počet za čas přepočtu
 Hodnoty času v patičce

Obrázek 7-3: Frekvenční analýza vynakládaných svalových sil pozice předmontáž – 2. osoba [autor]

7.1.3 Hodnocení v závislosti na počtech pohybů

U hodnocení lokální svalové zátěže v závislosti na počtech pohybů se vychází z celosměnového počtu jednostranných pohybů rukou a předloktí. Během měření byl pořizován i videozáznam, který se po vyhodnocení propojí s naměřenými křivkami, díky kterému je možné zjistit, při jaké poloze byla naměřena nepřiměřená svalová zátěž, eventuálně spočítat počet pohybů. Pro získání použitelného počtu pohybů pro hodnocení je nutné nejprve zprůměrovat napočítané počty pohybů z jednotlivých obou měření a následně tento počet pohybů přepočítat s normou počtu kusů za průměrnou pracovní dobu (v tomto případě 190 kusů za směnu).

Celosměnový počet jednostranných pohybů rukou a předloktí pracovní činnosti předmontáže se v průměrné směně pohybuje kolem hodnoty 7 220 pohybů/směnu (38 pohybů/kus) u pravé ruky. U levé ruky a předloktí se v průměrné směně pohybuje počet pohybů kolem hodnoty 5 890 pohybů/směnu (31 pohybů/kus).

Pravá ruka a předloktí	7 220 pohybů/směnu
Levá ruka a předloktí	5 890 pohybů/směnu

Tabulka 7-3: Výpočet pohybů pozice předmontáže [autor]

Průměrné hygienické limity pro směnové počty pohybů ruky a předloktí za průměrnou osmihodinovou směnu jsou stanoveny nařízením vlády č. 361/2007 Sb. Při hodnocení jsou použity naměřené F_{max} , které jsou použity pro porovnání se stanovenými hodnotami maximálního počtu pohybů za osmihodinovou směnu. Hodnoty, podle kterých se provádí

vyhodnocení, jsou uvedeny v podkapitole 3.2 Lokální svalová zátěž. Z údajů v tabulce je zřejmé, že se vzrůstajícím % Fmax se snižuje dovolený maximální počet pohybů za osmihodinovou pracovní směnu.

Pro vyhodnocené Fmax (maximální svalové síly) extenzorů a flexorů levé a pravé ruky pro pracovní pozici předmontáž jsou stanoveny průměrné hygienické limity následovně:

	% Fmax	Počet pohybů za osmihodinovou pracovní směnu
EMG 1	14,83	13 500
EMG 2	10,46	19 800
EMG 3	12,22	16 700
EMG 4	8,42	24 300

Tabulka 7-4: Hygienické limity pro počty pohybů pro pracovní pozici předmontáž [autor]

Pokud se hodnota Fmax pohybuje v desetinných číslech, tak se výsledná hodnota zaokrouhluje na celé číslo. Například výsledná hodnota 14,83 % Fmax u extenzoru pravé ruky se zaokrouhlí na hodnotu vyšší v tabulce, tedy na číslo 15 % Fmax, pro které je maximální počet pohybů za osmihodinovou pracovní směnu 13 500 pohybů. Naopak výsledná hodnota 10,46 % Fmax u flexoru pravé ruky se zaokrouhlí na hodnotu nižší, tedy na číslo 10 % Fmax, pro které je maximální počet pohybů za osmihodinovou pracovní směnu 19 800 pohybů.

Celosměnový počet jednostranných pohybů rukou a předloktí pracovní činnosti předmontáže v průměrné směně (viz Tabulka 7-3) s ohledem na vynakládané svalové síly nepřekračuje daný hygienický limit u žádné ze sledovaných skupin.

7.1.4 Interpretace výsledků

Po převedení výsledků na průměrnou osmihodinovou směnu se průměrná směnová časově vážená hodnota % Fmax pohybuje u pravé i levé ruky v limitu. U celosměnového počtu velkých svalových sil (55–70 % Fmax) nedocházelo v rámci měření k překročení. Co se týče nadlimitních svalových sil (nad 70 % F max), dochází k jejich výskytu pouze ojediněle. Po detailním prozkoumání videa, které bylo natočeno v procesu pracovní činnosti a dále propojeno s EMG křivkami, je stanoveno, že vynaložené nadlimitní síly nejsou součástí pravidelné pracovní činnosti. Celosměnový počet jednostranných pohybů rukou a předloktí byl vyhodnocen tak, že nedochází k překročení limitních hygienických limitů u žádné ze sledovaných skupin.

7.1.5 Sestava operací

Sestava operací je nedílnou součástí vyhodnocení. V první části sestavy jsou zobrazeny maximální dosažené svalové síly extenzorů a flexorů levé a pravé horní končetiny, u kterých byl při výpočtu odečten posun od nulové linie u všech hodnot křivky. Sestava operací také ukazuje dobu celkového měření, které v tomto případě trvalo 30 minut, a počet sebraných vzorků v průběhu měření. V poslední části sestavy jsou zobrazeny hodnoty průměrné Fmax za dobu měření, které byly vypočteny programem. Pomocí těchto hodnot, které byly přepočítány pomocí průměrů, bezpečnostních přestávek a hodnot na celou směnu, byly v podkapitole 7.1.1 Průměrné hodnoty Fmax vypočteny potřebné hodnoty % Fmax k výslednému vyhodnocení.

Zde jsou uvedeny sestavy operací z obou měření pro pracovní činnost předmontáž:

SESTAVA OPERACÍ 1

Při výpočtu byl odečten posun od nulové linie u všech hodnot křivky.

EMG_1 Fmax =149,000

EMG_2 Fmax =109,500

EMG_3 Fmax =100,500

EMG_4 Fmax =101,000

Operace: Pre Čas op. celkem: 00:30:00 Počet vzorků: 1800

% hodnoty Fmax: EMG_1 : 12,07 EMG_2 : 9,66 EMG_3 : 15,55
EMG_4 : 9,52

SMĚNA PO ČASOVÉM VÁŽENÍ: 28.2.20 08:14:05 – 08:49:05 délka: 00:35:00 Počet
vzorků: 2100

% hodnoty Fmax: EMG_1 : 12,13 EMG_2 : 9,70 EMG_3 : 15,04
EMG_4 : 9,61

SESTAVA OPERACÍ 2

Při výpočtu byl odečten posun od nulové linie u všech hodnot křivky.

EMG_1 Fmax = 99,500

EMG_2 Fmax =102,500

EMG_3 Fmax =122,000

EMG_4 Fmax = 85,500

Operace: Pre Čas op. celkem: 00:30:24 Počet vzorků: 1824

% hodnoty Fmax: EMG_1 : 17,33 EMG_2 : 11,00 EMG_3 : 8,62
EMG_4 : 7,06

SMĚNA PO ČASOVÉM VÁŽENÍ: 28.2.20 09:09:50 – 09:44:14 délka: 00:34:24 Počet
vzorků: 2064

% hodnoty Fmax: EMG_1 : 17,31 EMG_2 : 11,05 EMG_3 : 8,67
EMG_4 : 7,05

7.2 Vyhodnocení pracovní pozice Finální kontrola

Pro vyhodnocení pracovní pozice Finální kontrola byly vybrány 2 osoby ženského pohlaví podle požadavků zmíněných v podkapitole 6.3 Požadavky na měření. V tomto případě se na této pozici nacházejí pouze ženy. Nejprve byly připojeny elektrody, zapnut přístroj a osoby byly seznámeny s postupem měření. Celý postup měření je detailně rozepsán v podkapitole 5.3 Postup při měření svalové zátěže pomocí EMG Holteru. Tento zmíněný postup byl použit v případě obou měření pozice Finální kontrola. Výsledky byly zaznamenávány v průběhu pracovní činnosti po dobu 30 minut, kde jeden pracovní cyklus má trvání přibližně 90 sekund.

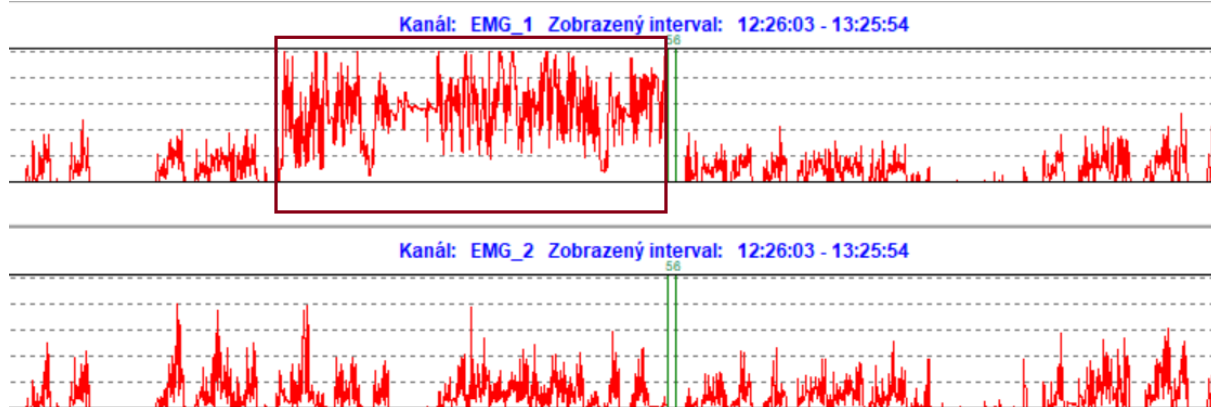
Profese	Dominantní ruka	Věk	Výška	Váha
Finální kontrola	Pravá	32	171 cm	65 kg
	Pravá	29	165 cm	60 kg

Tabulka 7-5: Údaje o vybraných osobách – pozice finální kontrola [autor]

7.2.1 Vyskytnutí chyby při měření

Při každém měření je nutné se co nejvíce vyvarovat chybovosti lidského faktoru, ke kterému může dojít před měřením či během samotného měření. Pro co nejpřesnější výsledky měření je nutné vytvořit správné podmínky a zázemí pro jeho realizaci. Důležitý je jak výběr osob pro měření, tak i správný postup při zavedení měření (od seznámení osob s měřením po správné nalepení elektrod), až po samotné konečné vyhodnocení měření. K chybám před začátkem měření může patřit například špatné nalepení elektrod, chybně naměřené maximální svalové síly či špatné zavedení přístroje EMG Holteru. Během měření může dojít k odlepení elektrod, i když jsou přelepeny lepenkou a chráněny síťovaným hadicovým obvazem. Nedopatřením může dojít ke zmáčknutí tlačítka na přístroji EMG Holteru, při kterém dojde k ukončení nahrávání dat měření. Chybu může způsobit i nedostatečné seznámení osoby s měřením, při kterém by osoba neměla činit pohyby, které nejsou součástí pracovní činnosti, a měla by se vyvarovat i téměř nevědomým svalovým interakcím, například zatínání ruky v pěst.

Při měření druhé osoby pracovní činnosti finální kontrola došlo k chybě, která byla způsobena špatně nalepenými elektrodami. Přibližně po 10 minutách měření došlo k odlepení dvou elektrod extenzoru pravé horní končetiny. Po zpozorování uvolněných elektrod bylo měření pozastaveno, aby se elektrody mohly znovu nalepit na přibližně stejné místo a lépe se zabezpečit proti spadnutí. Po opravném procesu elektrod bylo stisknuto tlačítko MARKER, aby byla oddělena část chybného měření od nového správného. Část chybného měření jde dobře rozeznat i z grafu křivek zaznamenávaného přístrojem během měření. Tato chybná část nesmí být zahrnuta do vyhodnocení měření, jinak by došlo ke zkreslení výsledků a k chybnému zhodnocení pracovní pozice finální kontroly.



Obrázek 7-4: Ukázka části grafu s vyskytnutou chybou [autor]

Na Obrázek 7-4 je vyznačena část grafu křivek, kdy došlo k odlepení elektrod při měření a bylo způsobeno chybné zaznamenávání hodnot přístrojem. Tento časový úsek, kdy probíhalo chybné měření, nebyl počítán do celkového vyhodnocení. Na obrázku je zobrazen MARKER 5 a 6, mezi kterými v tomto časovém rozmezí probíhalo opravné nalepení elektrod. Z následujících křivek je zřejmé, že oprava proběhla úspěšně a měření mohlo dále pokračovat bez komplikací.

7.2.2 Průměrné hodnoty Fmax

Jedná se o pracovní pozici s pracovní činností staticko-dynamickou s převahou dynamické složky práce. V tomto případě se průměrné hodnoty Fmax nesmí pohybovat výš jak 30 %. Hodnoty, pomocí kterých je provedeno hodnocení, lze získat z průměru hodnot jednotlivých dvou měření, které byly vypočítány programem (Obrázek 7-5). Dále jsou průměrné hodnoty propočítány s průměrnou pracovní dobou (v tomto případě 450 min) a musí být zohledněny i bezpečnostní přestávky, které činí 5 % Fmax.

Měření: Pa1	Měření: Pa2
Hodnoty Fmax Pozice: Kontrola Suma č. úseků operace: 00:48:27 Počet započítaných vzorků: 2907	Hodnoty Fmax Pozice: Kontrola Suma č. úseků operace: 00:40:43 Počet započítaných vzorků: 2443
EMG_1 % hodnoty Fmax: 7,33	EMG_1 % hodnoty Fmax: 7,92
EMG_2 % hodnoty Fmax: 11,85	EMG_2 % hodnoty Fmax: 11,85
EMG_3 % hodnoty Fmax: 13,48	EMG_3 % hodnoty Fmax: 5,88
EMG_4 % hodnoty Fmax: 17,77	EMG_4 % hodnoty Fmax: 5,66

Obrázek 7-5: Naměřené hodnoty Fmax z jednotlivých měření – pozice finální kontrola [autor]

Průměrné vynakládané síly dle časově váženého průměru, které byly dostány průměrem z jednotlivých měření z tabulek uvedených výše, činí u extenzorů svalové skupiny pravého předloktí 7,76 % F_{max} a u flexorů svalové skupiny pravého předloktí 11,98 % F_{max} . U svalových skupin levého předloktí se objevují hodnoty 9,81 % F_{max} u extenzoru a 11,85 % F_{max} u flexoru. Všechny průměrné hodnoty F_{max} nepřesahují ani se zdaleka nepřibližují k limitní hodnotě 30 % F_{max} , a tak v tomto případě nedochází k nedodržování hygienických limitů v rámci proměřených svalových skupin při charakteru práce s převahou dynamické složky.

Pravá ruka		Levá ruka	
EMG 1	EMG 2	EMG 3	EMG 4
7,76 %	11,98 %	9,81 %	11,98 %

Tabulka 7-6: Průměrné hodnoty F_{max} pro pracovní pozici finální kontrola [autor]

7.2.3 Hodnocení frekvenční analýzy vynakládaných svalových skupin

Další hodnoty, které je nutné zkontrolovat pro hodnocení lokální svalové, jsou v rámci frekvenční analýzy vynakládaných svalových sil. U frekvenční analýzy jsou důležité hodnoty, které se pohybují v rozmezích 55-70 % F_{max} a které nesmí překročit hodnotu 600x za průměrnou 8 hodinovou směnu. Jak ukazují výsledky z frekvenční analýzy, u měřené první osoby (Obrázek 7-6) při provádění práce dochází k vynakládání velkých pracovních svalových sil (55–70 % F_{max}). Daný hygienický limit pro jejich celosměnový počet je překročen u flexoru levé ruky. Při měření druhé osoby se hodnota počtu velkých pracovních svalových sil téměř přibližuje k danému hygienickému limitu pro jejich celosměnový počet, a to u flexoru pravé horní končetiny. Při zprůměrování počtů velkých svalových sil z obou měření sice nedojde k překročení limitního počtu, ale i přes to se k němu limitně blíží.

V případě výskytu nadlimitních svalových sil, mezi které patří síly překračující 70 % F_{max} , je nezbytné porovnat, zda se jedná o vynakládané síly během pravidelné činnosti práce či nikoli. V tomto případě dochází k přítomnosti nadlimitních svalových sil u flexoru levé ruky při měření první osoby a u flexoru pravé ruky u měření druhé osoby. Tyto nadlimitní svalové síly se u pracovní pozice finální kontrola vyskytují jako pravidelná součást vykonávané práce.

	EMG_1			EMG_2			EMG_3			EMG_4		
	%	Počet	Poč./čas	%	Počet	Poč./čas	%	Počet	Poč./čas	%	Počet	Poč./čas
0 - 5	46,78	1360	12632	42,45	1234	11461	39,01	1134	10533	39,59	1151	10690
0 - 10	70,76	2057	19105	55,04	1600	14861	47,51	1381	12827	50,12	1457	13533
0 - 15	86,14	2504	23257	69,80	2029	18845	57,89	1683	15632	57,31	1666	15474
0 - 20	93,22	2710	25170	78,71	2288	21251	69,28	2014	18706	64,09	1863	17303
0 - 25	96,28	2799	25997	84,80	2465	22895	79,57	2313	21483	70,14	2039	18938
0 - 30	97,87	2845	26424	89,16	2592	24074	87,65	2548	23666	75,68	2200	20433
0 - 35	98,62	2867	26628	92,60	2692	25003	93,02	2704	25115	80,80	2349	21817
0 - 40	99,04	2879	26740	94,50	2747	25514	96,01	2791	25923	84,62	2460	22848
0 - 45	99,66	2897	26907	96,56	2807	26071	98,28	2857	26536	88,10	2561	23786
0 - 50	99,83	2902	26954	97,39	2831	26294	99,59	2895	26889	91,47	2659	24697
0 - 55	100,00	2907	27000	98,07	2851	26480	99,83	2902	26954	93,98	2732	25375
55 - 70	0,00	0	0	1,44	42	390	0,17	5	46	4,02	117	1087
> 70	0,00	0	0	0,48	14	130	0,00	0	0	2,00	58	539

Volby tabulky

450 Čas přepočtu [min]

Způsob zobrazení údajů

Kumulativní součty

Absolutní hodnoty

Zobrazit sloupce

Procenta

Počet

Počet za čas přepočtu

Hodnoty času v pátičce

Obrázek 7-6: Frekvenční analýza vynakládaných svalových sil pozice finální kontrola - 1. osoba [autor]

	EMG_1			EMG_2			EMG_3			EMG_4		
	%	Počet	Poč./čas	%	Počet	Poč./čas	%	Počet	Poč./čas	%	Počet	Poč./čas
0 - 5	55,59	1358	15009	54,89	1341	14821	62,30	1522	16821	70,16	1714	18943
0 - 10	66,31	1620	17904	64,14	1567	17318	75,11	1835	20280	81,13	1982	21905
0 - 15	77,04	1882	20800	71,63	1750	19341	85,80	2096	23165	86,86	2122	23452
0 - 20	86,74	2119	23419	77,61	1896	20955	91,90	2245	24812	90,63	2214	24469
0 - 25	93,08	2274	25132	81,99	2003	22137	95,58	2335	25806	94,23	2302	25442
0 - 30	96,64	2361	26094	86,16	2105	23264	98,16	2398	26503	96,40	2355	26027
0 - 35	98,04	2395	26470	89,52	2187	24171	99,26	2425	26801	97,63	2385	26359
0 - 40	98,98	2418	26724	92,18	2252	24889	99,80	2438	26945	98,28	2401	26536
0 - 45	99,43	2429	26845	93,82	2292	25331	99,96	2442	26989	98,81	2414	26679
0 - 50	99,84	2439	26956	95,01	2321	25652	99,96	2442	26989	99,22	2424	26790
0 - 55	99,88	2440	26967	96,44	2356	26038	100,00	2443	27000	99,35	2427	26823
55 - 70	0,12	3	33	2,05	50	553	0,00	0	0	0,29	7	77
> 70	0,00	0	0	1,51	37	409	0,00	0	0	0,37	9	99

Volby tabulky

450 Čas přepočtu [min]

Způsob zobrazení údajů

Kumulativní součty

Absolutní hodnoty

Zobrazit sloupce

Procenta

Počet

Počet za čas přepočtu

Hodnoty času v pátičce

Obrázek 7-7: Frekvenční analýza vynakládaných svalových sil pozice finální kontrola - 2. osoba [autor]

7.2.4 Hodnocení v závislosti na počtech pohybů

Pokud se hodnotí lokální svalová zátěž v závislosti na počtech pohybu, tak se vychází z celosměnového počtu jednostranných pohybů rukou a předloktí. Díky videozáznamu, který byl pořizován během měření pracovní činnosti, je možné zjistit, při jaké poloze byla naměřena nepřiměřená svalová zátěž, či přesněji spočítat počet pohybů. Tento videozáznam se při vyhodnocení propojí s naměřenými křivkami. K získání použitelného počtu pohybů pro hodnocení je potřeba zprůměrovat napočítané počty pohybů za pracovní cyklus z jednotlivých měření a následně tento počet pohybů přepočítat s průměrnou denní normou počtu kusů (v tomto případě 300 kusů za směnu).

Celosměnový počet jednostranných pohybů rukou a předloktí se v průměrné směně pohybuje u pravé ruky kolem hodnoty 10 200 pohybů/směnu (34 pohybů/kus), u levé ruky kolem hodnoty 9 300 pohybů/směnu (31 pohybů/kus).

Pravá ruka a předloktí	10 200 pohybů/směnu
Levá ruka a předloktí	9 300 pohybů/směnu

Tabulka 7-7: Výpočet pohybů pozice finální kontrola [autor]

Průměrné hygienické limity pro směnové počty pohybů ruky a předloktí za průměrnou osmihodinovou směnu jsou stanoveny nařízením vlády č. 361/2007 Sb.. Při hodnocení lokální svalové zátěže se u počtu pohybů hodnotí naměřené F_{max} , které jsou použity pro porovnání se stanovenými hodnotami maximálního počtu pohybů za osmihodinovou směnu. Hodnoty, které se používají pro vyhodnocení lokální svalové zátěže v závislosti na počtu pohybů, jsou uvedeny v Tabulka 3-5 Hygienické limity pro počty pohybů [8]. Z této tabulky je jasně viditelné, že se vzrůstajícím % F_{max} se snižuje maximální povolený počet pohybů za osmihodinovou směnu.

Pro vyhodnocené % F_{max} extenzorů a flexorů levé a pravé ruky pro pracovní pozici finální kontrola (viz Tabulka 7-6), jsou stanoveny průměrné hygienické limity následovně:

	% F_{max}	Počet pohybů za osmihodinovou pracovní směnu
EMG 1	7,76	24 300
EMG 2	11,98	16 700
EMG 3	9,81	19 800
EMG 4	11,98	16 700

Tabulka 7-8: Hygienické limity pro počty pohybů pro pracovní pozici finální kontrola [autor]

Celosměnový počet jednostranných pohybů rukou a předloktí pracovní činnosti předmontáže v průměrné směně (viz Tabulka 7-7) s ohledem na vynakládané svalové síly nepřekračuje daný hygienický limit u žádné ze sledovaných skupin.

7.2.5 Interpretace výsledků

Po provedení vážení na průměrnou 8 hodinovou pracovní směnu u žen se průměrná časově vážená hodnota % F_{max} pohybuje v rámci pravé a levé horní končetiny v daném limitu.

Co se týče celosměnového počtu velkých svalových sil (55–70 % F_{max}), v rámci měření došlo k překročení limitu, a to u flexoru levé horní končetiny u první osoby a u flexoru pravé horní končetiny u druhé osoby. K výskytu nadlimitních svalových sil (nad 70 % F_{max}) docházelo po prozkoumání spojeného videozáznamu s EMG křivkami pravidelně u flexoru levé horní končetiny u první osoby a u flexoru pravé končetiny u druhé osoby. Z toho vyplývá, že po detailním prozkoumání byly tyto nadlimitní svalové síly vyhodnoceny jako pravidelná součást práce. U celosměnového počtu jednostranných pohybů rukou a předloktí nedochází k překročení limitních hygienických limitů u žádné ze sledovaných skupin.

7.2.6 Sestava operací

Celé sestava operací je dána programem, kterým probíhá vyhodnocení. V první části sestavy jsou zobrazeny maximální dosažené svalové síly extenzorů a flexorů levé a pravé horní končetiny. Dále je tu zobrazena doba celkového měření, které v tomto případě proběhlo přibližně 30 minut a počet sebraných vzorků v průběhu měření. V poslední řadě sestava zobrazuje hodnoty průměrné F_{max} , se kterými se pracovalo po celou dobu vyhodnocování lokální svalové zátěže. Pomocí těchto hodnot, které byly přepočítány pomocí průměrů, bezpečnostních přestávek a přepočítání hodnot na celou směnu, byly v podkapitole 7.2.2 Průměrné hodnoty F_{max} vypočteny potřebné hodnoty % F_{max} k výslednému vyhodnocení.

Zde jsou uvedeny sestavy operací z obou měření pro pracovní činnost finální kontrola:

SESTAVA OPERACÍ 1

Při výpočtu byl odečten posun od nulové linie u všech hodnot křivky.

EMG_1 F_{max} =225,500

EMG_2 F_{max} =204,500

EMG_3 F_{max} =143,500

EMG_4 F_{max} =192,000

Operace: Pozice Kontrola Čas op. celkem: 00:48:27 Počet vzorků: 2907

% hodnoty F_{max} : EMG_1: 7,33 EMG_2: 11,85 EMG_3: 13,48
EMG_4: 17,77

SMĚNA PO ČASOVÉM VÁŽENÍ: 28.02.20 10:27:00 - 11:17:27 Délka: 00:50:27 Počet vzorků: 3027

% hodnoty F_{max} : EMG_1: 7,31 EMG_2: 11,67 EMG_3: 13,29
EMG_4: 17,42

SESTAVA OPERACÍ 2

Při výpočtu byl odečten posun od nulové linie u všech hodnot křivky.

EMG_1 F_{max} =218,500

EMG_2 F_{max} =151,500

EMG_3 F_{max} =239,000

EMG_4 F_{max} =158,500

Operace: Pozice Kontrola Čas op. celkem: 00:40:43 Počet vzorků: 2443

% hodnoty Fmax: EMG_1 : 7,92 EMG_2 : 11,85 EMG_3 : 5,88
EMG_4 : 5,66

SMĚNA PO ČASOVÉM VÁŽENÍ: 28.02.20 12:23:03 - 13:22:57 Délka: 00:59:54 Počet
vzorků: 3594

% hodnoty Fmax: EMG_1 : 21,62 EMG_2 : 12,53 EMG_3 : 6,17
EMG_4 : 5,82

7.3 Závěrečné hodnocení

V této části jsou pracovní pozice zařazeny do kategorií práce z hlediska lokální svalové zátěže. V obou případech měření se jedná o práci staticko-dynamickou s převahou dynamické složky práce. Zařazení do kategorie probíhá pomocí výsledků, které byly naměřeny v průběhu měření pracovní činnosti a následně vyhodnoceny.

Pracovní pozice předmontáž

Na základě uskutečnění měření lokální svalové zátěže u pozice předmontáž bylo provedeno hodnocení. Průměrná směnová časově vážená hodnota % Fmax se pohybuje v daném limitu. V případě celosměnového počtu velkých svalových sil (55–70 % Fmax) nedochází k překročení limitní hodnoty 600x za průměrnou hodinovou směnu. V rámci měření docházelo k výskytu nadlimitních svalových sil (nad 70 % Fmax), ale po detailním prozkoumání nebyly činnosti s nadlimitními svalovými silami vyhodnoceny jako pravidelná součást práce. U celosměnového počtu jednostranných pohybů horních končetin nedošlo k překročení limitu u žádné ze sledovaných skupin.

Podle výsledků měření lokální svalové zátěže je pracovní pozice předmontáž zařazena do kategorie 2. V tomto případě tedy nedochází trvale k překračování hygienickým limitům.

Pracovní pozice finální kontrola

Po provedeném měření lokální svalové zátěže na 2 osobách bylo provedeno hodnocení. Průměrná směnová časově vážená hodnota průměrných vynakládaných sil se pohybuje v limitu. V průběhu měření bylo zaznamenáváno překročení celosměnového počtu velkých svalových sil (55–70 % Fmax) u flexoru levé horní končetiny u první osoby a u flexoru pravé horní končetiny u druhé osoby. K výskytu nadlimitních svalových sil (nad 70 % Fmax) docházelo u flexoru levé ruky u první osoby a u flexoru pravé ruky u měřené druhé osoby. Tyto nadlimitní síly se objevovaly v rámci pracovní činnosti při přenášení finálního dílu ze zařízení a následně po kontrole při přenášení do balícího boxu. U celosměnového počtu jednostranných pohybů rukou a předloktí nedošlo k překročení limitů u žádné ze sledovaných skupin.

V rámci lokální svalové zátěže s ohledem na výsledky měření je práce finální kontrola zařazena do kategorie 3. V tomto případě tedy dochází k překračování hygienických limitů a je potřeba vytvořit opatření k ochraně zdraví zaměstnanců při práci.

8 Optimalizace pracovní pozice finální kontrola

Kategorizace pracoviště není konečným cílem této práce. Jelikož byla pracovní pozice finální kontrola zařazena do 3. kategorie, kde dochází k nedodržování hygienických limitů, je potřeba stanovit příslušná preventivní opatření. Optimalizace je proces průběžný, mělo by neustále docházet ke zlepšování pracovních podmínek při práci. Opatření k ochraně zdraví pracovníků při práci je jedna ze základních povinností zaměstnavatele. Je několik možností, jak rizika zdraví při práci úplně odstranit či alespoň eliminovat na co možná nejmenší míru a mít je neustále pod dohledem. Pokud lze riziko jen částečně eliminovat, je stejně potřeba vynaložit veškeré úsilí, aby se do budoucna směřovalo k úplné eliminaci nebo alespoň k ještě většímu omezení.

Může nastat i situace, kdy se ukáže, že rizikové faktory nelze vyloučit, ani jejich stupeň eliminovat po použití různých technických či technologických zajištění. Potom hovoříme o tzv. neodstranitelném riziku, kdy je nutné používat osobní ochranné prostředky či zavést organizační nebo jiné druhy opatření.

V případě zařazení práce do 3. kategorie u pracoviště finální kontrola je možné navrhnout opatření z několika hledisek:

- Technická opatření,
- technologická opatření,
- opatření zaměřená na zdravotní stav pracovníků,
- organizační opatření.

8.1 Technická a technologická opatření

Technická řešení zahrnují zlepšení pracovního prostředí s využitím technických prostředků. Mezi technická opatření řadíme například výměnu hlučných zařízení za méně hlučná či nehlučná, místní odsávání nebo jiná vzduchotechnická zařízení, technické prostředky snižující nadměrné fyzické zátěže (prostředky pro zvedání břemen), výběr přijatelného pracovního nářadí.

V případě pracoviště finální kontroly by mohl být zkonstruován mechanický prostředek pro zvedání těžkých břemen. Jednalo by se o mechanismus ve smyslu jednoduchého portálového jeřábu s pojezdovou kočkou a kladnicí. Pomocí dvou vypolstrovaných háků (kvůli zamezení poškození výrobku) by byl nadzvednut finální kus na dvou stabilních místech z kontrolního zařízení, kde proběhla automatická elektronická kontrola. Háky by byly na kus umístěny manuálně pracovníkem finální kontroly. Dále by se uskutečnil přesun po pojezdové dráze nad pracovní stůl, kde by byl finální výrobek zpuštěn na pracovní stůl a proběhla by kontrola kusu. Po zkontrolování kusu a naskenování kódu by byl hotový výrobek znovu nadzvednut jeřábové kočky, jejíž pohyb by byl po celou dobu ovládána pracovníkem finální kontroly, umístěn do připraveného balicího boxu. Příprava správného boxu a zajištění finálního kusu páskou v boxu by stále zajišťoval pracovník finální kontroly. Kočka s hákem by byla řízena pracovníkem finální kontroly pomocí dálkového ovládání. Dálkové ovládání by umožňovalo pracovníkovi kontroly lepší ovladatelnost jeřábu.



Tabulka 8-1: ukázka portálového jeřábu [26]

Tento návrh technického řešení ale není možné v tomto případě realizovat. Bylo zjištěno nedostatek místa pro umístění pojezdového zařízení. Pokud by bylo zajištěno více využitelného místa na konstrukci, potom by vstoupily do cesty finance. Ukázalo se, že pojezdový portálový jeřáb by nevyhovoval z hlediska nákladů, které se týkají navržení příslušného mechanismu, následného zkonstruování a zavedení do provozu. Dále by bylo nutné proškolení uživatelů na obsluhu pojezdového zařízení, které je také finančně a časově nákladné. V technických opatření by se dalo najít mnoho dalších možností, při kterých by došlo k eliminaci fyzické zátěže, ale kvůli nedostatku místa a vysokých nákladů se je nepodaří zrealizovat.

8.2 Opatření zaměřená na zdravotní stav pracovníků

Pokud by nedošlo k zavedení technologických či jiných opatření, která zajistí dodržování hygienických limitů, nezbyvá nic jiného než poskytnutí preventivních prohlídek u lékaře. Preventivní prohlídky jsou zajištěny zaměstnavatelem zvoleným lékařem zavodní preventivní péče, který je dobře obeznámený s pracovním prostředím a pracovní činností pracovníka. Četnost a náplň prohlídky určuje právě kategorizace. U zařazení práce do 2. kategorie se u operátorů provádí lékařská prohlídka jednou za dva roky. V případě pracoviště finální kontroly byla práce zařazena do 3. kategorie, pro kterou znamená, že je nutné provádět lékařskou periodickou prohlídku každý rok. Toto opatření je samozřejmě spojeno s určitou výší nákladů. Jelikož dochází k navýšení odpracovaných hodin lékaře, tím dochází i ke zvýšení nákladů na provoz ordinace. Tímto se zvyšují dvojnásobně mzdové náklady lékaře a sestry, které zvyšují náklady zaměstnavatele.

S opatřeními, která jsou zaměřena na zdravotní stav pracovníků, souvisejí i náklady na pojištění. Dochází k opětovnému zvýšení nákladů při pojištění odpovědnosti zaměstnavatele za nemoci z povolání.

Pokud dojde k použití opatření, která se zaměřují na zdravotní stav pracovníků, je nutné zavedení periodických prohlídek, které by měly včas odhalit případné onemocnění spjaté s pracovní činností zaměstnanců či upozornit na změnu pracovní způsobilosti. Jelikož by došlo k dlouhodobým nákladům, je tato varianta brána jako poslední možnost řešení opatření u pracoviště finální kontroly.

8.3 Organizační opatření

Pokud není možné eliminovat riziko technickými opatřeními, je možné zavést organizační opatření. Musí se ale vzít v potaz, že problémem v případě hodnocení lokální svalové zátěže u pozice finální kontroly je vysoký počet velkých a nadlimitních svalových sil. Z toho vyplývá, že by například zavedení rotace mezi pozicemi či zavedení bezpečnostních přestávek nevyřešil problém s výskytem vysokého počtu nadlimitních svalových sil.

V organizační variantě byla vybrána možnost změny pracovního postupu finální kontroly. V tomto případě se sice nejedná o velkou či radikální změnu, ale i přes to by mohla postačit k eliminaci vyskytujícího se počtu nežádoucích nadlimitních svalových sil.

Po prozkoumání okolních pracovišť bylo zjištěno, že u jednoho blízkého pracoviště není pracovník plně vytížen. Tato pracovní pozice (kontrola elboxu) se nachází právě před měřenou pozicí finální kontroly. Pracovník má v popisu práce kontrolovat komponent umístěný v zařízení, ve kterém probíhá automatická elektronická kontrola. Náplní práce je tedy pouze optická kontrola komponentu přes displej kontrolního zařízení. Toto zařízení automaticky zobrazuje, zda je finální kus v pořádku nebo zda se u něj vyskytla nějaká chyba. Pokud je výrobek v pořádku a elektronická kontrola nenašla žádnou chybu, pracovník vysune box s výrobkem z kontrolního zařízení. To je signál pro pozici finální kontroly, která si nyní může odebrat finální výrobek ze zařízení a provádět svoji pracovní činnost. Pracovník kontroly elboxu čeká na další finální výrobek, který je vložen jiným pracovníkem do kontrolního zařízení a dojde k opakování pracovního cyklu. Pracovník má u čekání na vložení dalšího finálního výrobku do zařízení prostoj, který činí 15 % pracovní doby. Tento prostoj může být využit pro odlehčení pracovní pozice finální kontroly tak, že pracovník po otevření boxu od zařízení přesune finální výrobek na pracovní stůl pracovníkovi finální kontroly. Následně vezme z pracovního stolu již zkontrolovaný kus a vloží ho do balícího boxu. Stůl finální kontroly je dostatečně velký pro umístění dvou finálních výrobků. Tímto se eliminují velké a nadlimitní svalové síly u pracovní činnosti finální kontroly, ke kterým docházelo právě při manipulaci finálního výrobku u přesunu z kontrolního zařízení na pracovní stůl a při přesunu z pracovního stolu do balícího boxu.

Na pozici pracovní činnosti kontroly elboxu pracují pouze pracovníci mužského pohlaví, na rozdíl od pozice finální kontroly, kde jsou pouze pracovnice pohlaví ženského. Jelikož ženy dosáhnou menších maximálních svalových sil a mají především obecně menší svalovou sílu než muži, lze předpokládat, že u pozice kontroly elboxu nedojde k překročení limitního počtu velkých svalových sil ani k výskytu nadlimitních svalových sil na rozdíl od pozice finální kontroly.

9 Zavedení vybraného opatření do provozu

V této kapitole je zavedeno vybrané opatření na pozici finální kontroly. Z hlediska nulové finanční nákladovosti a minimální časové nákladovosti bylo vybráno organizační opatření týkající se změny pracovního postupu. Je sice nutné vytvořit nové pracovní postupy dvou pracovišť, nicméně je to pořád pro firmu výhodnější a méně nákladnější varianta. Změna v pracovní činnosti vypadá tak, že pracovník přenechá manipulaci s finálním výrobkem pracovníkovi na předcházející pozici kontroly elboxu.

Po zavedení vybraného opatření bylo provedeno přeměření lokální svalové zátěže a následně jeho vyhodnocení. Měření lokální svalové zátěže pomocí metody EMG proběhlo stejným způsobem jako při předchozím měření

9.1 Nový pracovní postup finální kontroly

Tato pozice se věnuje pouze kontrole finálního výrobku. Pracovník obdrží na pracovní stůl finální výrobek, který je pracovníkem předchozí pozicí odebrán z kontrolního zařízení. Operátor má provést kontrolu kvality panelu z pohledové a následně z nepohledové strany výrobku. Dále má za úkol zkontrolovat ovladače a důležitá problémová místa, které jsou označeny fixem. Při dalším kroku pracovník vytiskne štítek a poté ho nalepí na dané místo komponentu. Tímto je kontrola finálního výrobku u konce. Pracovník přesune po stole zkontrolovaný finální výrobek na druhou stranu stolu a čeká na přinesení nového výrobku na kontrolu. Při přinesení nového výrobku na kontrolu, je již zkontrolovaný finální výrobek ze stolu odnesen do balícího boxu stejným pracovníkem předchozí pozice. Pracovní postup se změnil tak, že pracovník již nepřenáší finální výrobek na stůl a ani ho ze stolu neodnáší do balícího boxu. Na tomto pracovišti probíhá manipulace s úplným výrobkem o váze 3 120 g. Finální kontrola jednoho dílu činí nově 80 sekund a denní norma kontroly je 335 ks.

Váha komponentů	3 120 g
Doba trvání pracovního cyklu	80 s
Denní norma	335 ks/směna

Tabulka 9-1: Informace k pracovní činnosti finální kontroly [autor]

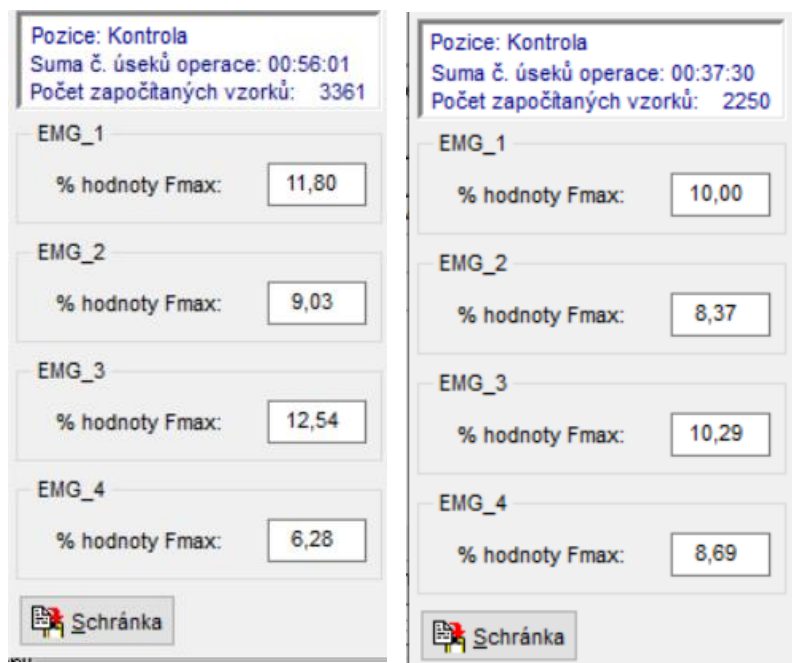
9.2 Přeměření pracovní pozice finální kontrola

Pro vyhodnocení pracovní pozice finální kontroly byli vybráni 2 pracovníci ženského pohlaví, kteří odpovídají požadavkům pro měření. Údaje o pracovnících jsou zmíněny v tabulce 8-7, jelikož jde o stejné osoby jako při prvním měření. Osoby byly seznámeny s postupem měření a po připojení elektrod byl zapnut přístroj EMG Holter. Postup měření byl použit stejný jako je zmíněný v podkapitole 5.3 Postup při měření svalové zátěže pomocí EMG Holteru. Jednotlivá měření proběhla dostatečně dlouhou dobu pro konstruktivní hodnocení, jeden pracovní cyklus trvá nově 80 sekund a při měření nedošlo k žádným komplikacím. Po měření proběhlo následné vyhodnocení.

9.2.1 Průměrné hodnoty F_{max}

U finální kontroly se jedná o pracovní činnost staticko-dynamickou s převahou dynamické složky práce. Průměrné hodnoty F_{max} se nesmí pohybovat více jak 30 %. Průměrné hodnoty F_{max} , které jsou potřebné pro hodnocení, jsou vypočítány automaticky programem

(Obrázek 9-1). Dále je potřeba tyto průměrné hodnoty F_{max} propočítat s průměrnou pracovní dobou (v tomto případě 450 min) a připočítat k tomu i bezpečnostní procházky, které činí 5 % F_{max} .



Obrázek 9-1: Naměřené hodnoty F_{max} z jednotlivých měření – pozice finální kontrola [autor]

Průměrné vynakládané síly se po přepočtu na průměrnou 8 hodinovou pracovní směnu pohybují u extenzoru svalové skupiny pravého předloktí okolo hodnoty 11,03 % F_{max} a u levého předloktí okolo hodnoty 11,55 % F_{max} . U flexoru svalových skupin pravého předloktí se hodnota vyskytuje okolo 8,83 % F_{max} a u svalových skupin levého předloktí 7,62 % F_{max} . Veškeré průměrné hodnoty F_{max} nepřesahují a ani se nepřibližují k limitní hodnotě 30 % F_{max} . Proto v případě hodnocení průměrných hodnot F_{max} nedochází k překračování hygienických limitů v rámci měřených svalových skupin při charakteru práce s převahou dynamické složky.

Pravá ruka		Levá ruka	
EMG 1	EMG 2	EMG 3	EMG 4
11,03 %	8,83 %	11,55 %	7,62 %

Tabulka 9-2: Průměrné hodnoty F_{max} pro pracovní pozici finální kontrola [autor]

9.2.2 Hodnocení frekvenční analýzy vynakládaných svalových skupin

V rámci hodnocení lokální svalové zátěže je nutné zkontrolovat hodnoty frekvenční analýzy vynakládaných svalových sil. Důležité hodnoty pro hodnocení se pohybují v rozmezích 55-70 % F_{max} , které nesmějí překročit četnost 600x za průměrnou 8 hodinovou směnu. Při provádění práce finální kontroly dochází k výskytu velkých svalových sil (55-70 % F_{max}) jen ve velmi malém množství.

Dále jsou důležité hodnoty vyskytující se nad 70 % Fmax, které jsou označeny jako nadlimitní svalové síly. K výskytu těchto sil by nemělo docházet vůbec, maximálně ojediněle a pokud se objeví určitý počet, potom je nutné zvážit, zda jsou tyto síly součástí pravidelné pracovní činnosti či nikoli. Při pohledu na Obrázek 9-2 a Obrázek 9-3 je zřejmé, že nedochází k výskytu nadlimitních svalových sil (nad 70 % Fmax).

	EMG_1			EMG_2			EMG_3			EMG_4		
	%	Počet	Poč./čas	%	Počet	Poč./čas	%	Počet	Poč./čas	%	Počet	Poč./čas
0 - 5	20,95	704	5655	39,16	1316	10572	28,18	947	7608	54,12	1819	14613
0 - 10	40,37	1357	10901	63,79	2144	17223	49,00	1647	13231	81,05	2724	21883
0 - 15	67,51	2269	18228	81,32	2733	21955	66,14	2223	17858	92,17	3098	24887
0 - 20	87,12	2928	23522	90,84	3053	24526	79,41	2669	21441	96,43	3241	26036
0 - 25	95,36	3205	25747	94,64	3181	25554	88,78	2984	23971	98,75	3319	26663
0 - 30	98,36	3306	26558	96,61	3247	26084	93,90	3156	25353	99,58	3347	26888
0 - 35	99,52	3345	26871	98,13	3298	26494	96,55	3245	26068	99,76	3353	26936
0 - 40	99,88	3357	26968	98,90	3324	26703	97,98	3293	26454	99,88	3357	26968
0 - 45	99,94	3359	26984	99,49	3344	26863	98,90	3324	26703	99,97	3360	26992
0 - 50	100,00	3361	27000	99,85	3356	26960	99,61	3348	26896	100,00	3361	27000
0 - 55	100,00	3361	27000	99,97	3360	26992	99,91	3358	26976	100,00	3361	27000
55 - 70	0,00	0	0	0,03	1	8	0,09	3	24	0,00	0	0
> 70	0,00	0	0	0,00	0	0	0,00	0	0	0,00	0	0

volby tabulky

450 Čas přepočtu [min]

Způsob zobrazení údajů

Kumulativní součty

Absolutní hodnoty

Zobrazit sloupce

Procenta

Počet

Počet za čas přepočtu

Hodnoty času v pátičce

Obrázek 9-2 Frekvenční analýza vynakládaných svalových sil pozice finální kontrola - 1. osoba
[autor]

	EMG_1			EMG_2			EMG_3			EMG_4		
	%	Počet	Poč./čas	%	Počet	Poč./čas	%	Počet	Poč./čas	%	Počet	Poč./čas
0 - 5	30,62	689	8268	47,42	1067	12804	31,51	709	8508	40,76	917	11004
0 - 10	51,69	1163	13956	71,78	1615	19380	52,53	1182	14184	66,53	1497	17964
0 - 15	74,93	1686	20232	83,38	1876	22512	75,16	1691	20292	81,29	1829	21948
0 - 20	89,87	2022	24264	89,29	2009	24108	86,71	1951	23412	90,49	2036	24432
0 - 25	96,93	2181	26172	92,31	2077	24924	94,76	2132	25584	95,91	2158	25896
0 - 30	98,76	2222	26664	95,20	2142	25704	98,09	2207	26484	97,87	2202	26424
0 - 35	99,47	2238	26856	97,07	2184	26208	99,11	2230	26760	98,89	2225	26700
0 - 40	99,78	2245	26940	98,31	2212	26544	99,69	2243	26916	99,38	2236	26832
0 - 45	99,87	2247	26964	99,24	2233	26796	99,87	2247	26964	99,69	2243	26916
0 - 50	99,87	2247	26964	99,47	2238	26856	99,91	2248	26976	99,82	2246	26952
0 - 55	99,87	2247	26964	99,78	2245	26940	100,00	2250	27000	99,91	2248	26976
55 - 70	0,13	3	36	0,22	5	60	0,00	0	0	0,09	2	24
> 70	0,00	0	0	0,00	0	0	0,00	0	0	0,00	0	0

vlohy tabulky

450 Čas přepočtu [min]

Způsob zobrazení údajů

Kumulativní součty

Absolutní hodnoty

Zobrazit sloupce

Procenta

Počet

Počet za čas přepočtu

Hodnoty času v pátičce

Obrázek 9-3 Frekvenční analýza vynakládaných svalových sil pozice finální kontrola - 2. osoba [autor]

9.2.3 Hodnocení v závislosti na počtech pohybů

Při hodnocení se vychází z celosměnového počtu jednostranných pohybů rukou a předloktí. Z pořizovaného videozáznamu by bylo možné vypočítat, při jaké poloze by byla naměřena nepřiměřená svalová zátěž nebo přesněji spočítat počet pohybů. Z videa byly spočítány počty pohybů při jednom pracovním cyklu z jednotlivých měření. Následně jsou tyto hodnoty zprůměrovány a přepočítány s normou počtu kusů (335 kusů za směnu) za průměrnou pracovní dobu.

Celosměnový počet jednostranných pohybů rukou a předloktí se v průměrné směně pohybuje vpravo kolem hodnoty 8 375 pohybů/směnu (25 pohybů/kus) a vlevo kolem hodnoty 7 370 pohybů/směnu (22 pohybů/kus).

Pravá ruka a předloktí	8 375 pohybů/směnu
Levá ruka a předloktí	7 370 pohybů/směnu

Tabulka 9-3 Výpočet pohybů pozice finální kontrola [autor]

Průměrné hygienické limity pro směnové počty pohybů ruky a předloktí za průměrnou osmihodinovou směnu jsou stanoveny nařízením vlády č. 361/2007 Sb.. Hodnoty celosměnového počtu jednostranných pohybů rukou a předloktí se porovnávají s hodnotami, které se vztahují ke konkrétním naměřeným hodnotám Fmax a jsou určeny podle Tabulka 3-5 Hygienické limity pro počty pohybů [8]

Pro vyhodnocené Fmax extenzorů a flexorů levé a pravé ruky pro pracovní pozici finální kontroly (viz Tabulka 9-2), jsou stanoveny hygienické limity následovně:

	% Fmax	Počet pohybů za osmihodinovou pracovní směnu
EMG 1	11,03	18 100
EMG 2	8,83	21 800
EMG 3	11,55	16 700
EMG 4	7,62	24 300

Tabulka 9-4 Hygienické limity pro počty pohybů pro pracovní pozici finální kontrola [autor]

Celosměnový počet pohybů rukou a předloktí pracovní činnosti finální kontrola v průměrné směně s ohledem na průměrné hodnoty % Fmax nepřekračuje daný hygienický limit u žádné ze sledovaných skupin.

9.2.4 Interpretace výsledků

Průměrná hodnota % Fmax se po provedení časového vážení na průměrnou 8 hodinovou směnu pohybuje v limitu. V rámci měření nedošlo k překročení limitního počtu velkých svalových sil (55-70 % Fmax) a ani k výskytu nadlimitních svalových sil (nad 70 % Fmax). U pracovní pozice nebyl překročen celosměnový počet jednostranných pohybů rukou a předloktí u žádných ze sledovaných skupin.

9.2.5 Sestava operací

Sestava operací je dána programem, kterým probíhalo vyhodnocení. V sestavě jsou uvedeny fakta o měření a hodnoty, které jsou podstatné pro vyhodnocení. Zde jsou uvedeny sestavy operací z obou měření pro pracovní činnost finální kontrola:

SESTAVA OPERACÍ 1

Při výpočtu byl odečten posun od nulové linie u všech hodnot křivky.

EMG_1 Fmax =149,000

EMG_2 Fmax =109,500

EMG_3 Fmax =100,500

EMG_4 Fmax =101,000

Operace: Kontrola 1_po Čas op. celkem: 00:56:01 Počet vzorků: 3361

% hodnoty Fmax: EMG_1: 11,80 EMG_2 : 9,03 EMG_3: 12,54
EMG_4 : 6,28

SMĚNA PO ČASOVÉM VÁŽENÍ: 02.06.20 08:10:34 - 09:14:55 Délka: 01:04:21 Počet vzorků: 3861

% hodnoty Fmax: EMG_1: 11,82 EMG_2 : 9,01 EMG_3: 12,57
EMG_4 : 6,28

SESTAVA OPERACÍ 2

Při výpočtu byl odečten posun od nulové linie u všech hodnot křivky.

EMG_1 Fmax =149,000

EMG_2 Fmax =109,500

EMG_3 Fmax =152,000

EMG_4 Fmax =101,000

Operace: Kontrola 2_po Čas op. celkem: 00:37:30 Počet vzorků: 2250

% hodnoty Fmax: EMG_1 : 10,00 EMG_2 : 8,37 EMG_3: 10,29
EMG_4 : 8,69

SMĚNA PO ČASOVÉM VÁŽENÍ: 02.06.20 11:37:34 - 12:19:22 Délka: 00:41:48 Počet
vzorků: 208

% hodnoty Fmax: EMG_1 : 10,02 EMG_2 : 8,37 EMG_3: 10,30
EMG_4 : 8,71

9.3 Zhodnocení změny u pozice finální kontrola

V rámci práce bylo provedeno přeměření lokální svalové zátěže u pozice finální kontroly s cílem zjistit, zda zavedené organizační opatření mělo smysl. Průměrné hodnoty % Fmax a celosměnový počet jednostranných pohybů vycházejí v obou případech měření v pořádku a nedochází k překročení limitů. Problémem byl počet výskytů vynakládaných velkých a nadlimitních svalových sil, ke kterým docházelo při přenosu finálního výrobku z místa A na místo B a který se podařilo pomocí změny pracovního postupu úspěšně eliminovat.

Počet velkých svalových sil (55-70 % Fmax) při pracovní činnosti se podařilo snížit téměř na minimum. U výskytu nadlimitních svalových sil (nad 70 % Fmax) došlo k úplné eliminaci a nepříjemné síly byly odstraněny v plném rozsahu. V Tabulka 9-5 jsou zobrazeny hodnoty velkých a nadlimitních svalových sil před a po zavedení opatření.

Fmax	Hodnoty před změnou [počet/směnu]				Hodnoty po změně [počet/směnu]			
	EMG1	EMG2	EMG3	EMG4	EMG1	EMG2	EMG3	EMG4
55-70 %	16,5	471,5	23	582	18	34	12	12
Nad 70 %	0	269,5	0	319	0	0	0	0

Tabulka 9-5: porovnání výsledků před a po zavedení opatření u pozice finální kontroly [autor]

Díky zavedení organizačního opatření, kterým je v tomto případě změna pracovního postupu, je možné přeradit pracovní pozici finální kontrola podle výsledků měření lokální svalové zátěže do 2. kategorie. Po úspěšném zavedení změny již nedochází trvale k překračování hygienických limitů.

Závěr

V dnešním průmyslovém světě je velikou prioritou zdraví a hygiena práce. I přes skutečnost, že dochází k rozvoji a rozšíření automatizace výroby, člověk v průmyslovém podniku zůstává a je stále nejohroženější skupinou v rámci pracovních úrazů či nemocí z povolání. Jednou z priorit podniku by mělo být neustálé zlepšování pracovních procesů, jelikož pracovníci často manipulují s těžkými břemeny, pracují v nepřírozené poloze nebo u nich dochází k jednostrannému namáhání horních končetin. Proto je důležité provádět u jednotlivých pracovních pozic kategorizaci. Jednotlivé kategorie potom určují, zda jsou dodržovány hygienické limity na pracovišti či nikoli a je nutné zavést určitá opatření.

V teoretické části práce byla zmíněna veškerá fakta, která jsou nutná znát k problematice, již se zabývá praktická část. Podstatnou částí byla legislativa, která mimo jiné upravuje podmínky ochrany zdraví při práci, určuje hygienické limity pro hodnocení pracovních činností a tím napomáhá ke stanovení kategorizace práce. Bylo potřeba se zaměřit na hodnocení lokální svalové zátěže a na způsob, jak ji změřit pomocí povrchové elektromyografie. Poslední podstatnou kapitolou byl postup při měření lokální svalové zátěže pomocí přístroje EMG Holteru, podle kterého se bude řídit samotné měření pracovních pozic v praktické části.

Hlavním cílem této práce bylo provést hodnocení lokální svalové zátěže pomocí EMG a podle ní zařadit pracovní činnosti do kategorie práce. Jedná se o pracovní pozici předmontáž, u které jsou dodržovány hygienické limity a která byla zařazena do 2. kategorie. Jako druhá pracovní pozice pro měření byla vybrána finální kontrola. Při vykonávání pracovní činnosti docházelo k překračování limitního počtu velkých svalových sil (55-70 % Fmax) a k výskytu nadlimitních svalových sil (nad 70 % Fmax). Kvůli těmto silám byla pracovní činnost zařazena do 3. kategorie, jelikož nebyly dodržovány hygienické limity, a proto bylo nutné se zaměřit na optimalizaci daného pracoviště. Bylo navrženo několik opatření – technické, zdravotnické a organizační – mezi kterými se rozhodovalo na základě finančních a časových nákladů.

Po zvážení jednotlivých tří navržených variant optimalizace pracovní pozice bylo vybráno organizační opatření. Jako organizační opatření byla navržena změna pracovního postupu. Změna se týkala vymizení manipulace s břemenem, při které právě docházelo k výskytu velkých a výskytu nadlimitních svalových sil, což nám způsobovalo nedodržování hygienických limitů při pracovní činnosti.

V závěrečné části bylo provedeno přeměření pracovní pozice finální kontroly po zavedení organizačního opatření. Změna pracovního postupu způsobila snížení výskytu velkých svalových sil téměř na minimum a úplné vymizení nadlimitních svalových sil při vykonávání pracovní činnosti. Díky zavedenému opatření byla práce finální kontroly přeřazena do vyhovující 2. kategorie práce, při které už dochází k dodržování hygienických limitů.

Seznam použité literatury

- [1] Nařízení vlády č. 361/2007 Sb. stanovující podmínky ochrany zdraví při práci (a jeho aktualizace NV č. 68/2010 Sb.) potažmo dle Vyhlášky č. 432/2003 Sb. stanovující podmínky pro zařazování prací do kategorií.
- [2] MAREK, Jakub. *Základy aplikované ergonomie*. Praha: Výzkumný ústav bezpečnosti práce, 2009. ISBN 978-80-86973-58-6.
- [3] Shrawan Kumar, A. Mital. *Electromyography in Ergonomics*. London: Taylor&Francis, 1996. ISBN 0-7484-0130-X
- [4] STANTON, Neville, HEDGE, Alan, BROOKHUIS, Karel, SALAS, Eduardo, HENDRICK, Hal. *Handbook of Human Factors and Ergonomics Methods*. B.m.: CRC Press, 2004. ISBN 978-0-203-48992-5
- [5] GURRAM R., RAKHEJA S., GOUW GJ. A study of hand grip pressure distribution and EMG of finger flexor muscles under dynamic loads. *Ergonomics* 38.
- [6]] CHUNDELA, L.: *Ergonomie*, ČVUT, Praha, 2005, ISBN 80-01-02301-X
- [7]] BUREŠ, Marek.: *Ergonomie – Úvod*. Plzeň, 2012 Přednáška z předmětu ŘOP, Západočeská univerzita v Plzni, FST, Katedra průmyslového inženýrství a managementu
- [8] Nařízení vlády č. 361/2007 Sb. 361. Nařízení vlády, ze den 12. prosince 2007, kterým se stanovují podmínky ochrany zdraví při práci
- [9] Keller, Otakar. *Obecná elektromyografie: Fyziologické základy a elektrofyziologická vyšetření*. Praha: Triton, 1999 ISBN 80-725-4047-5
- [10] De Luca, C. J. The use of surface electromyography in biomechanics. In *Journal of Applied Biomechanics*, 1997. 135–163 s.
- [11] Soderberf, G. L; Knutson, L. M. A guide for use and interpretation of Kinesiologic electromyographic data. In *Physical Therapy*, 2000. 485–498 s.
- [12] Enoka, R. M. *Neuromechanics of human movement*. Champaign: Human Kinetics, 2002. ISBN 0-7360-0251-0
- [13] Elektromyogram [online]. [cit. 2019-08-23]. Dostupné z: http://is.muni.cz/el/1431/jaro2010/Bi5445/um/BLS_kap5_MYO_6_okulo.pdf
- [14] Biometrics Ltd.[online] Dostupné z: <http://www.biometricsltd.com/about.htm>
- [15] Znalostní systém prevence rizik v BOZP-Pracovní výkon a pracovní zátěž člověka. Znalostní systém prevence rizik v BOZP-Úvod[online]. Copyright © 2016 [cit. 6.11.2019]. Dostupné z: <https://zsbozp.vubp.cz/pracovni-prostredi/ergonomie/335-pracovni-vykon-a-pracovni-zatez-cloveka>
- [16] Syndrom karpálního tunelu – Encyklopedie BOZP. [online]. [cit. 6.11.2019]. Dostupné z: http://ebozp.vubp.cz/wiki/index.php/Syndrom_karp%C3%A1ln%C3%ADho_tunelu
- [17] EMG Holter | Fyziologie práce. Úvodní stránka | Fyziologie práce [online]. Copyright © 2018 [cit. 03.12.2019]. Dostupné z: <http://fyziologie.getacentrum.cz/emg-holter>
- [18] EMG sensor | Details | Hackaday.io. Hackaday.io | The world's largest collaborative hardware development community. [online]. Copyright © 2019 Hackaday [cit. 03.12.2019]. Dostupné z: <https://hackaday.io/project/113338-publys-an-open-source-biosensing-board/log/143756-emg-sensor>

- [19] EMG vyšetření: Je potřebná speciální příprava? - Info Pacient. Info Pacient – Zdravé informace [online]. [cit. 18.12.2019]. Dostupné z: <https://infopacient.cz/emg-vysetreni-kdy-je-potrebne-musime-se-nan-specialne-pripravit/>
- [20] EMG (Electromyography) | Rector Healthcare PCMC, Pune. Neurologist in PCMC | Physician in PCMC | Rector Healthcare,Pune [online]. Copyright © 2019 Rector Healthcare Pvt. Ltd. All rights reserved. Developed by [cit. 21.07.2020]. Dostupné z: <https://www.rectorhealth.com/emg-electromyography/>
- [21] Kategorizace prací | BezpečnostPráce.info. Portál o bezpečnosti práce (BOZP) a požární ochraně (PO) [online]. Copyright © 2013 [cit. 04.12.2019]. Dostupné z: <https://www.bezpecnostprace.info/dokumentace/kategorizace-praci/>
- [22] SLAMKOVÁ, E., DULINA, Ľ., TABAKOVÁ, M.: Ergonómia v priemysle, GEORG, Žilina, 2010, 261 s., ISBN 978-80-89401-09-3
- [23] Co je to ergonomie? - Ergonomie – Profim. Ergonomické kancelářské židle, otočné židle pro počítače, moderní recepční nábytek – Profim [online]. Copyright © Copyright 2018 Profim. [cit. 5.11.2020]. Dostupné z: <https://www.profim.cz/ergonomie/co-je-to-ergonomie>
- [24] Žena: Zpátky do lavic: Pokoj pro školáka má své zásady [online]. [cit. 2020-07-29]. Dostupné z: <https://zena.aktualne.cz/spravne.sezeni/r~i:photo:611361/r~i:article:809441/>
- [25] EMG sensor | Details | Hackaday.io. Hackaday.io | The world's largest collaborative hardware development community. [online]. Copyright © 2020 Hackaday [cit. 21.07.2020]. Dostupné z: <https://hackaday.io/project/113338-publys-an-open-source-biosensing-board/log/143756-emg-sensor>
- [26] Portálový jeřáb KPT | prolift.cz. Manipulační a zdvihací technika | prolift.cz [online]. Copyright © 2017 PRO [cit. 24.07.2020]. Dostupné z: https://www.pro-lift.cz/81-portalovy_jerab_kpt
- [27] KAČEROVÁ, I. KÁBA, M. Využití biomechanických systémů pro hodnocení lokální svalové zátěže, Průmyslové inženýrství 2019: Mezinárodní studentská vědecká konference: 3.-4. září 2019, Darová, s. 65-72. ISBN 978-80-261-0894-8