

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

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

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Možnosti využití sady ergoPAK pro aplikační účely

Autor: **Ondřej Fuksa**

Vedoucí práce: **Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.**

Akademický rok 2011/2012

Oficiální zadání (vložený list)

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 vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

V Plzni dne:

podpis autora

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Fuksa	Jméno Ondřej		
STUDIJNÍ OBOR	2301R016 „Průmyslové inženýrství a management“			
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Doc. Ing. Edl, Ph.D.	Jméno Milan		
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST – KPV			
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte	
NÁZEV PRÁCE	Možnosti využití sady ergoPAK pro aplikační účely			

FAKULTA	Strojní	KATEDRA	KPV	ROK ODEVZD.	2012
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	38	TEXTOVÁ ČÁST	32	GRAFICKÁ ČÁST	6
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

STRUČNÝ POPIS	Bakalářská práce seznamuje s ergonomickou měřicí sadou ergoPAK a jejím praktickým využitím na vybraných experimentálních měření. Tato měření jsou v této práci porovnány se státními nařízeními v platném znění. Práce dále uvádí výňatky těchto nařízení norem a informativní úvod do problematiky ergonomie.
KLÍČOVÁ SLOVA	ergoPAK, ergonomie, ergonomická metody, fyzická zátěž, pracovní poloha, hygienický limit

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Surname Fuksa	Name Ondřej	
FIELD OF STUDY	2301R016“ Industrial Engineering and Management“		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Doc. Ing. Edl, Ph.D.	Name Milan	
INSTITUTION	ZČU - FST - KPV		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Options of Using ergoPAK Portable Analysis Kit for Application Purposes		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	KPV	SUBMITTED IN	2012
----------------	---------------------------	-------------------	-----	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	38	TEXT PART	32	GRAPHICAL PART	6
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	The main goal of this thesis is to introduce the ergoPAK ergonomic tool kit and options of its usage demonstrated on selected experimental tests. Resulted data are compared with the normative regulations valid in the Czech Republic. Theoretical part of this thesis includes selected parts of these regulations and introduces basic theory of ergonomics.
KEY WORDS	ergoPAK, ergonomics, ergonomic methods, physical load, working position, hygienic limit

Poděkování

Na tomto místě bych rád srdečně poděkoval panu **Ing. Marku Burešovi**, konzultantovi bakalářské práce a panu **Doc. Ing. Milanu Edlovi Ph.D.**, vedoucímu práce, za jejich vedení, čas, vstřícnost, obětavý přístup a faktické připomínky a sdílení odborných znalostí při naší spolupráci.

Obsah

Seznam použitých zkratk a symbolů	8
Seznam obrázků	9
Seznam grafů.....	10
Úvod.....	11
1 Teoretická východiska.....	12
1.1 Ergonomie	12
1.2 Ochrana zdraví při práci	14
1.3 Geometrická orientace lidského těla.....	15
2 Představení měřícího zařízení.....	17
2.1 Základní sada nástrojů ergoPAK.....	17
2.1.1 Velký tenzometr - ergoFET (500 lb.)	18
2.1.2 Malý tenzometr - digitFET (50 lb.).....	18
2.1.3 Inklinometry.....	19
2.1.4 Akcelerometry.....	19
2.1.5 USB Bezdrátový přijímač	20
2.1.6 Rozbočovač.....	20
2.2 ergoPAK FSR's - Force Sensing Resistors	21
2.3 Schéma možností propojení měřícího zařízení.....	22
3 Návrh experimentů	23
3.1 Představení pracoviště	23
3.2 Plán experimentu	24
4 Realizace případové studie	25
4.1 Měření zatížení tahem	25
4.1.1 Měření 1 – tažení stojanu chůzí pozadu.....	25
4.1.2 Měření 2 – tažení stojanu úchopem z boku a s navýšenou zátěží.....	27
4.2 Měření zatížení tlakem	28
4.2.1 Měření 3 – tlačení stojanu před sebe s čistou váhou.....	29
4.2.2 Měření 4 – tlačení stojanu před sebe s přidanou zátěží	29
4.3 Měření 5 - zatížení malými tlaky.....	30
Měření polohy.....	32
4.3.1 Měření 6 – úhlová poloha paže při práci vsedě	32
4.3.2 Měření 7 – úhlová poloha paže při práci ve stoje	33
4.4 Shrnutí možností a návrh dalšího využití	35
Závěr.....	37
Použitá literatura	38

Seznam použitých zkratk a symbolů

IEA	Mezinárodní ergonomická společnost (International Ergonomics Association)	
PAK	Přenosná analytická sada (Portable Analysis Kit)	
FET	Vyhodnocení a testování sil (Force Evaluating and Testing)	
FSR	Odporový senzor síly (Force Sensing Resistors)	
x	označení šípové osy	
y	označení příčné osy	
z	označení svislé osy	
MTM	Metoda předem určených časů (Methods Time Measurement)	
EN	Evropská norma (European Norm)	
ISO	Mezinárodní organizaci zabývající se tvorbou norem (International Standard Organisation)	
t	čas	[s]
F_{MAX}	maximální zjištěná síla (liší se dle jednotlivých měření)	[N]
F_{LIM}	Maximální povolená síla předepsaná hygienickým limitem	[N]
EMG	Elektromyografie	
α	Úhel udávající polohu paže oproti nule ležící na šípové ose souřadného systému	[°]
$\alpha_{\text{MIN}(1,2)}$	Lokální minimální hodnoty úhlu α (liší se dle jednotlivých měření)	[°]
α_{MAX}	Lokální maximální hodnota úhlu α (liší se dle jednotlivých měření)	[°]
α_{LIM}	Maximální povolený úhel vzpažení horní končetiny předepsaná hygienickým limitem	[°]

Seznam obrázků

Obrázek 1.1 Geometrická orientace lidského těla při základním anatomickém postavení ve vztažných hlavních osách a rovinách.....	16
Obrázek 2.1 ergoPAK Essential Tool Kit	17
Obrázek 2.2 ergoPAK tenzometr článek pro měření zátěže	18
Obrázek 2.3 Příslušenství pro zajištění axiálního přenosu zatížení	18
Obrázek 2.4 Malý tenzometr digitFET pro měření malých tlaků	19
Obrázek 2.5 Příslušenství malého tenzometru digitFET.....	19
Obrázek 2.6 ergoPAK inklinometr.....	19
Obrázek 2.7 Akcelerometr ergoPAK	20
Obrázek 2.8 ergoPAK bezdrátový přijímač	20
Obrázek 2.9 ergoPAK rozbočovač.....	20
Obrázek 2.10 ergoPak FSR připojené do rozbočovače a uložené v rukavici ergoGLOVE.....	21
Obrázek 2.11 ergoPAK FSRs.....	21
Obrázek 2.12 Schéma možností propojení komponent měřících zařízení sady ergoPAK.....	22
Obrázek 3.1 Pracoviště.....	23
Obrázek 3.2 Pracoviště – elektrický šroubovák	23
Obrázek 3.3 Pracoviště - stojan s boxy	24
Obrázek 3.4 Model prázdného stojanu pro schematické účely	24
Obrázek 4.1 Schéma měření 1.....	25
Obrázek 4.2 Zajištění polohy tenzometru při měření 1	25
Obrázek 4.3 Screenshot uživatelského prostředí SW ergoPAK	26
Obrázek 4.4 Schéma měření 2.....	27
Obrázek 4.5 Zajištění polohy tenzometru při měření 2.....	27
Obrázek 4.6 Připojení měřících prostředků ke stojanu – měření 3 a 4	28
Obrázek 4.7 Zajištění polohy tenzometru při měření 3 a 4.....	28
Obrázek 4.8 Zapojení a upevnění senzoru ergoPAK FSR a měření 5 s jeho využitím	30
Obrázek 4.9 Schéma postavení pracovníka vůči pracovišti při měření 5	32
Obrázek 4.10 Schéma postavení pracovníka vůči pracovišti při měření 5	32
Obrázek 4.11 Hodnocení polohy horních končetin dle Státního nařízení 361/2007 Sb.	34

Seznam grafů

Graf 4.1 Průběh tažné síly F [N] v závislosti na čase t [s] při měření 1.....	26
Graf 4.2 Průběh tažné síly F [N] v závislosti na čase t [s] při měření 2.....	27
Graf 4.3 Průběh tlačné síly F [N] v závislosti na čase t [s] při měření 3	29
Graf 4.4 Průběh tlačné síly F [N] v závislosti na čase t [s] při měření 4	29
Graf 4.5 Průběh tlačné síly F [N] v závislosti na čase t [s] při měření 5	31
Graf 4.6 Průběh změny úhlu α [°] v závislosti na čase t [s] při měření 6	33
Graf 4.7 Průběh změny úhlu α [°] v závislosti na čase t [s] při měření 7	33

Úvod

Účelem této práce je představit soubor nových měřicích zařízení ergoPAK pořízených Katedrou průmyslového inženýrství a managementu Fakulty strojní na Západočeské univerzitě v Plzni. Sada ergoPAK vyvinutá společností HOGGAN Health Industries Inc. je ergonomický nástroj pro vybraná měření fyzické zátěže a pracovních poloh v oblasti lidské práce.

Teoretická část práce bude postavena na všeobecném úvodu do ergonomie. Dále se zaměří na specifickou oblast ergonomie zabývající se fyzickou zátěží včetně vybraných nařízení legislativy platné v České republice zabývajícími se ochranou zdraví při práci. Znalost těchto nařízení bude později uplatněna ve vyhodnocení výsledků měření se sadou ergoPAK.

V druhé polovině teoretické části bude práce zaměřena na podrobný popis parametrů a účelné využitelnosti všech součástí sady ergoPAK.

Praktická část bude provedena na základě experimentů navržených pod vedením konzultanta práce. Výsledky jednotlivých měření budou vždy shrnuty a vyhodnoceny dle platné legislativy, pokud to bude možné.

1 Teoretická východiska

Sada ErgoPAK je, jak uvádí výrobce, nástroj pro měření v oblasti ergonomie, lidské práce, průmyslu, výzkumu a vývoje. Prvním krokem tedy je, seznámit se se samotnou problematikou, kterou se vědní obor Ergonomie zabývá.

1.1 Ergonomie

Již samotná skladba slova „ergonomie“, která je odvozena ze dvou řeckých slov *ergon* (práce) a *nomos* (zákon, pravidlo), naznačuje, že jedním z cílů ergonomie je za využití předpisů a pravidel, přispívat k neustálému zlepšování podmínek člověka při jeho pracovních činnostech.

Z mnoha definic ergonomie uvádím definici Mezinárodní ergonomické společnosti (IEA) z roku 2000:

„Ergonomie je vědecká disciplína založena na porozumění interakcí člověka a dalších složek v systému. Aplikací vhodných metod, teorie i dat zlepšuje lidské zdraví, pohodu i výkonnost. Přispívá k řešení designu a hodnocení práce, úkolů, produktů, prostředí a systémů, aby byly kompatibilní s potřebami, schopnostmi a výkonnostním omezením lidí. Ergonomie je tedy systémově orientovaná disciplína, která prakticky pokrývá všechny aspekty lidské činnosti. V rámci holistického (celostního) přístupu zahrnuje faktory fyzické, kognitivní, sociální, organizační, prostředí a další relevantní faktory.“ [1]

Ergonomie vychází z mnoha věd a oborů, mezi které se řadí např.: [2]

- Fyziologie práce
- Psychologie práce
- Sociologie práce
- Ekonomie práce
- Pracovní pedagogika
- Technické vědy
- Vědecká organizace práce
- Pracovní lékařství
- Antropometrie

Předmět zkoumání ergonomie je komplexně vymezený pracovní činností člověka v dynamickém otevřeném systému ČLOVĚK – TECHNIKA – PROSTŘEDÍ. Cílem je zdokonalování jeho jednotlivých prvků, jejich vazeb a komplexní chování celého systému s důrazem na dosahování humánních i ekonomických efektů. Pro konkrétní systém je vždy třeba konkrétní prvky jednoznačně specifikovat. [2]

Mezi ekonomické efekty se řadí například zkrácení času vykonávané pracovní činnosti, zvýšení produktivity práce či snížení absence při onemocnění a úrazech. Mezi humánní efekty pak patří především spokojenost člověka (zaměstnance), docílení a udržení jeho dobrého zdravotního stavu, a životní úroveň.

Specifické pro systém **ČLOVĚK – TECHNIKA – PROSTŘEDÍ** je, že je zde **člověk** chápán jako jeho rozhodující a limitující součást ovlivňující jeho konečné chování. **Technikou** je myšleno cokoli, co člověk využívá pro vytváření užitekových hodnot. Termín **prostředí** pak zahrnuje vše, co člověka obklopuje a co ovlivňuje jeho činnost. Prostředím

může být chápáno tzv. pracovní prostředí, které je definované jako „soubor podmínek, ve kterých se vykonává pracovní činnost“. [2]

Mezinárodní ergonomická společnost (IEA) - dělí ergonomii na tyto oblasti: [2]

Fyzická ergonomie zabývající se vlivy pracovních podmínek a pracovního prostředí na zdraví člověka. Řeší problematiku pracovních poloh, manipulace s břemeny, opakovaných pracovních činností, uspořádání pracovního místa a bezpečnosti práce. Základní znalost tohoto odvětví ergonomie a její využití jsou pro tuto práci důležité.

Fyzická ergonomie uplatňuje poznatky z následujících oblastí:

- Anatomie
- Fyziologie
- Antropometrie
- Biomechanika, apod.

Psychická (kognitivní) ergonomie, předmětem jejíhož zájmu jsou psychologické pracovní aspekty. Nejčastěji řešenou problematikou jsou například pracovní stres, paměť, uzdravování atd.

Organizační ergonomie se soustředí na optimalizaci sociálně-technických systémů včetně jejich organizačních struktur, strategií, postupů atd. (např. týmová práce či sociální klima)

Jakožto další, speciální oblasti jsou uváděny:

- Myoskeletární ergonomie
- Psycho-sociální ergonomie
- Participační ergonomie
- Rehabilitační ergonomie

Jejich definice uvádí například Slamková, Dulina Tabaková (2010). [2]

Současným trendem přispívajícím k růstu významu a zájmu o ergonomii je: [2]

- Řešení problematiky spolehlivosti člověka a hranic jeho výkonnosti.
- Zavádění ergonomických poznatků pro prevenci poškození zdraví člověka, především vyhledáváním potenciálních rizik negativně ovlivňujících zdravotní stav člověka.
- Tvorba a sjednocování limitů výkonnosti člověka v různých pracovních podmínkách (a např. jejich uplatnění v nařízeních a normách EN, ISO).
- Rozšiřování oblasti ergonomie i mimo pracovní oblast. Postupný rozmach ergonomie zasahuje do mnoha dalších činností člověka či kvality a životnosti spotřebních produktů.
- Optimalizace ergonomických řešení při konstruování strojů, zařízení, náradí, projektování pracovišť aj. pomocí výpočtové a přístrojové techniky.
- Integrace ergonomie s klasickými podnikovými disciplínami, jako jsou management kvality, bezpečnosti a pracovního prostředí. Stává se tak podstatnou součástí podnikového managementu jako takového.

1.2 Ochrana zdraví při práci

Pro vyhodnocení provedených měření demonstrujících využitelnost zkoumaného přístroje je nutné seznámit se s vybranými částmi platných státních nařízení vlády České republiky, které upravují problematiku bezpečnosti práce. Mezi ně patří nařízení vlády č. 361/2007 Sb., stanovující podmínky ochrany zdraví při práci a jeho novelizace – nařízení vlády č. 68/2010 Sb. V této novelizaci je pro tuto práci stěžejní úprava hodnocení fyzické zátěže. Tato kapitola má za úkol vytvořit průřez důležitými částmi této legislativy.

Hlava IV novelizovaného nařízení č. 361/2007 Sb. upravuje podmínky ochrany zdraví při práci s **fyzickou zátěží**. Fyzická neboli tělesná zátěž je ovlivňována především aktivací svalových skupin. K fyzické zátěži dochází z hlediska pohybu svalstva během:

Dynamické práce, kdy sval pracuje proti odporu, nebo dodává kinetickou či potenciální energii tělesu. Nastává při pracovní činnosti, během níž je „*izotonická kontrakce svalu kratší než 3 sekundy a po ní následuje vždy relaxace a několik izotonických kontrakcí*“.[3] Izotonická reakce svalu znamená, že se jeho délka mění při konstantním napětí.

Statické práce – dochází k izometrické kontrakci svalu, při níž sval nemění svou velikost, ale jeho vnitřní napětí roste, je nedostatečně zásoben krví a tedy kyslíkem a neprobíhá odvod odpadních látek vznikajících z chemických přeměn. To způsobuje pocit bolesti a únavy. Statická práce je definována trváním izotermické reakce delším než tři sekundy. [3]

V těchto nařízeních jsou upravovány tzv. hygienické limity pro práci. Ty jsou základním nástrojem při hodnocení stavu pracovního prostředí z hlediska zdraví zaměstnance. Porovnáním existujících hygienických limitů s reálným stavem rizikových faktorů lze získat míru ohrožení zdraví zaměstnance jejich zapříčiněním.

Za hygienický limit přípustný je považován takový, který se za směnu delší než osmihodinovou nenavýšuje, a tedy platí pro stejný limit pro všechny délky směny. Hygienický limit průměrný se za osmihodinovou směnu může navýšit.

Hlava IV je rozdělena do čtyř dílů: [10], [11]

Díl 1 – Celková fyzická zátěž

Zde § 22 vymezuje celkovou fyzickou zátěž, jako „*zátěž při dynamické fyzické práci vykonávané velkými svalovými skupinami, při které je zatěžováno více než 50 % svalové hmoty*“ [9] a §23 upravuje hygienické limity, zjišťování a hodnocení celkové fyzické zátěže. Posuzuje se z hlediska energetické náročnosti pomocí hodnot energetického výdeje a hodnot srdeční frekvence.

Díl 2 - Lokální svalová zátěž

§ 24 ji vymezuje jako „*zátěž malých svalových skupin při výkonu práce končetinami*“ [10] a §25 upravuje hygienický limit lokální svalové zátěže. Je posuzována podle vynaložené svalové síly, počtu pohybů a hodnocení pracovní polohy. Lze ji měřit pomocí tenzometrů, dynamometrů, nejpřesněji však pomocí metody elektromyografie (EMG), která je založena na „*snímání povrchové nebo intramuskulární svalové aktivity. Zaznamenává změnu elektrického potenciálu, ke které dochází při svalové aktivaci*“.[4], [11]

Díl 3 – Pracovní poloha

Fyzickou zátěž přímo ovlivňuje pracovní poloha. Ta bývá dána uspořádáním pracoviště charakterem vykonávané práce, či velikostí pracovního prostoru. Často bývá příčinou vzniku nemocí z povolání. Stejná práce může vyvolávat různé reakce v podobě námahy člověka na

její vykonání. § 26 upravuje hodnocení pracovní polohy, jež je nutné „*při trvalé práci vykonávané zaměstnancem, zejména provádí-li opakující se pracovní úkony, při nichž si nemůže pracovní polohu volit sám, ale tato je přímo závislá na konstrukci stroje, uspořádání pracovního místa a pracoviště a charakteru prováděné práce.*“ [10] § 27 opět upravuje hodnocení zdravotního rizika, bližší požadavky na způsob organizace práce a pracovní postupy. V této části nařízení jsou dále definovány druhy pracovní polohy a to přijatelná, podmíněně přijatelná a nepřijatelná.

Sumární délka práce v **podmíněně přijatelných polohách** nesmí překročit 160 minut v průměrné osmihodinové směně.

Celková doba práce v **nepřijatelných polohách** nesmí překročit 30 minut v průměrné osmihodinové směně.

Díl 4 - Vymezení ruční manipulace s břemenem

Význam pojmu břemeno v technické praxi zahrnuje veškeré polotovary, výrobky, přepravky, balíky a další možná fyzická hmotná a geometricky určitá tělesa, se kterými se předpokládá ruční manipulace.

§28 definuje ruční manipulaci s břemenem jako „*přepravování nebo nošení břemene jedním nebo současně více zaměstnanci včetně jeho zvedání, pokládání, strkání, tahání, posunování nebo přemísťování, při kterém v důsledku vlastností břemene nebo nepříznivých ergonomických podmínek může dojít k poškození páteře zaměstnance nebo onemocnění z jednostranné nadměrné zátěže. Za ruční manipulaci s břemenem se pokládá též zvedání a přenášení živého břemene.*“ [10] Stejně jako u předešlých dílů, vymezuje následující § 29 hodnocení zdravotního rizika, bližší požadavky na způsob organizace práce a pracovní postupy a informace k ochraně zdraví. Z hlediska ergonomie je pro stanovení limitu pro manipulaci břemen rozhodující hmotnost, tvar a z něj plynoucí úchopové možnosti, sklon, povrch terénu atd.

Novela uvádí ještě § 25a, upravující minimální opatření pro ochranu zdraví při práci s celkovou fyzickou zátěží a lokální svalovou zátěží, a § 27a upravující minimální opatření k ochraně zdraví při práci v podmíněně přijatelných a nepřijatelných pracovních polohách. [11]

1.3 Geometrická orientace lidského těla

K popisu polohy pracovníka vůči pracovnímu prostředí při měření budou použity pojmy anatomického názvosloví definované v této podkapitole.

Za základní anatomické postavení lidského těla je považován vzpřímený postoj, hlava hledící přímo vpřed, ruce spuštěny podél těla s dlaněmi obrácenými dopředu a dolní končetiny ve stoji spojeném (viz Obrázek 1.1).

Pro popis základního anatomického postavení jsou stanoveny: [3]

A) Základní roviny lidského těla:

\widehat{xz} – sagitální (středová, mediální, rovina souměrnosti) rovina, půlí lidské tělo na dvě symetrické poloviny (pravou a levou)

\widehat{xy} – transversální (horizontální, základní rovina, základna), umožňující dělení těla na část horní a dolní

\widehat{yz} – koronární (frontální) – dělí tělo na přední a zadní část

B) Základní osy lidského těla

x – osa šípová (předožadní) je průsečnicí sagitální a transversální roviny

y – osa příčná (pravolevá) je průsečnicí koronární a transversální roviny

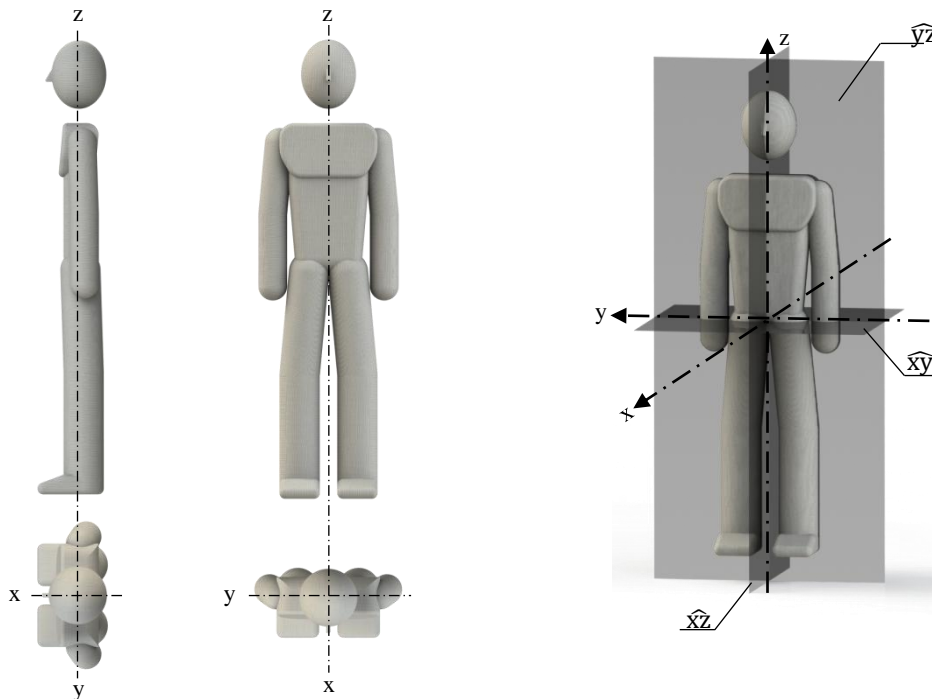
z – osa svislá je průsečnicí roviny sagitální a koronární

C) Základní směry určované v ose

Předožadní (x) – směr ventrální (břišní) a směr dorzální (zádový)

Příčné (y) – směr k či od roviny sagitální

Svislé (z) – směr kraniální (cranium) k hlavě a směr kaudální (cauda) od hlavy dolů



Obrázek 1.1 Geometrická orientace lidského těla při základním anatomickém postavení ve vztažných hlavních osách a rovinách

2 Představení měřícího zařízení

Sada ergoPAK může mít různé podoby, neboť ji lze postavit z široké nabídky „rodiny“ produktů ergoFET prostřednictvím webových stránek výrobce. Základem bývá zpravidla ergoPAK Essential Tool Kit (neboli základní sada nástrojů) a k ní lze cenově diferencovaně pořídit různá další příslušenství. Tato kapitola popisuje složení, využitelnost a parametry jednotlivých nástrojů sady testované v této práci, která kromě základní sady obsahuje ještě sadu odporových senzorů síly ergoPAK FSR's s příslušenstvím včetně páru rukavic ergoGlove. Tato sada byla zakoupena začátkem roku 2012 Katedrou průmyslového inženýrství a managementu na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

2.1 Základní sada nástrojů ergoPAK

Výrobce uvádí, že základní sada poskytuje nástroje potřebné pro vybraná měření, sběr a analýzu dat v oblasti ergonomie, biomechaniky, strojního inženýrství, především pak k posuzování pracovních podmínek, lidské výkonnosti a testování systému člověk – pracovní nástroj.

Zařízení v této sadě slouží konkrétně k testování a analýze sil, úhlů a zrychlení. Zařízení má všechny základní požadavky na přesnost, je přenosné a jeho využití tak značně flexibilní. Díky tomu umožňuje snadná měření v reálných pracovních procesech prováděných v reálných časech, aniž by je zásadně narušovalo. [5]

Bezdrátová souprava umožňuje volný pohyb pracovníka (testera) díky možnosti bezdrátového sběru dat v dosahu třiceti metrů. Vzorkovací frekvence sady je nastavitelná na 100 až 500 vzorků za sekundu. Data jsou zprostředkována formou dodávaného jednoduchého softwaru přiloženého společně s ovladači. „Plug and Play“ měřidla s kompaktním rozhraním umožňují provádět měření při současné kombinaci zapojení několika měřících snímačů naráz. Tedy provedení několika různých analýz při jednom pracovním úkonu.

Jednotlivé součásti sady jsou popsány v následujících podkapitolách.



Obrázek 2.1 ergoPAK Essential Tool Kit

2.1.1 Velký tenzometr - ergoFET (500 lb.)

Jedná se o větší ze dvou elektronických snímačů zatížení. Je určen pro měření a analýzy velkých pracovních tahových a tlakových zatížení. Při použití je nutné zajistit polohu tenzometru tak, aby byl zajištěn axiální přenos měřeného zatížení (jiné zatížení není možno měřit). Toho lze docílit přídatnou sadou příslušenství. Třmenový popruh a tyčové táhlo zajišťují při správném využití axiální přenos zatížení při měření tažných sil. Přídatná tlačná ploška pak zajišťuje axiální přenos při měření komprese. Jednoruční táhlo je využitelné pro oba případy. [6]

K nerušenému průběhu pracovních procesů při měření přispívá malá hmotnost tenzometru, která činí 200 gramů (bez kabelu), malé rozměry (průměr i výška velkého tenzometru odpovídají 47,63 milimetrům). Pracovní teplota zařízení, v němž je možno snímat přesností přístroje menší než 2%, je mezi 11 – 33°C. Velký tenzometr lze axiálně zatěžovat po maximální hmotnost odpovídající 226,796 kilogramů (tedy zatížení odpovídající tíhové síle přibližně 2270 Newtonů). [6]



Obrázek 2.2 ergoPAK tenzometr článek pro měření



Obrázek 2.3 Příslušenství pro zajištění axiálního přenosu zatížení

2.1.2 Malý tenzometr - digitFET (50 lb.)

Menší z elektronických snímačů zatížení je určený k měření zátěže malými tlaky a pro tzv. pinch testy (tj. testování při detailním úchopu malé součástky) za využití jednoho prstu či několika prstů a zároveň s možností kombinace s palcem. K článku je možno připevnit příložené příslušenství (viz Obrázek 2.5) umožňující větší pohodlí měření konkrétních zvolených testů. Samostatný přístroj váží 9,07 gramů. Průměr snímače má rozměr 27 milimetrů a jeho výška je rovna 6,35 milimetrům. Provozní teplota snímače je 11-33°C a

provozní vlhkost odpovídá 10 až 40%. Maximum rozsahu zatížení je 22,68 kilogramu, tedy zhruba 227 Newtonům. Parametr přesnosti a provozní teploty je stejný jako u velkého tenzometru (viz kapitola 2.1.1). Data jsou měřena s přesností na desetiny jednotek, mezi nimiž lze zvolit v softwaru z Newtonů, liber či kilogramme-force (1 kgf = 9,80665 N). [6]



Obrázek 2.4 Malý tenzometr digitFET pro měření malých tlaků



Obrázek 2.5 Příslušenství malého tenzometru digitFET

2.1.3 Inklinometry

Další součástí sady jsou dva inklinometry. Jedná se o citlivá dvouosá zařízení sloužící k provádění analýzy pracovních poloh, jmenovitě měření úhlů a sklonů. Měřené úhly mohou být zaznamenávány v rozsazích $\pm 180^\circ$ nebo 360° v závislosti na daném nastavení v softwaru dodávaném v sadě. Štítek na těle inklinometru (viz Obrázek 2.6) znázorňuje aktivní rotační osy přístroje definující aktivní rovinu snímače. Tato rovina musí být pro získání přesných a správných naměřených údajů totožná s rovinou, v níž je měřeno. Pro samotné měření je nutné inklinometr správně uchytnit ke zvolené části těla, stroje či břemene, s nímž bude manipulováno. Toho lze docílit obyčejnou lepicí páskou či bandáží. V internetové nabídce je pro tento účel speciální neoprenový popruh s dírami a šrouby pro připevnění. Ten však není součástí zkoumané sady. Data jsou ukládána s přesností na jeden stupeň. [6]



Obrázek 2.6 ergoPAK inklinometr

2.1.4 Akcelerometry

Akcelerometry jsou jednoosé senzory uložené v hliníkovém krytu, vzhledem jsou takřka totožné s inklinometry. Zaznamenávají data při měření zrychlení. Rovina pohybu těchto senzorů je citlivá na vertikální osu. Podobně jako u inklinometrů je aktivní vertikální osa

znázorněna na štítku umístěném na krytu a je důležité, aby s ní byla totožná osa měřeného pohybu. Možnosti připevnění akcelerometrů k měřenému subjektu jsou stejné jako v případě inklinometrů. Data jsou ukládána s přesností na 0.01G. [6]



Obrázek 2.7 Akcelerometr ergoPAK

2.1.5 USB Bezdrátový přijímač

Toto zařízení lze propojit s počítačem pomocí USB kabelu, který je součástí sady. Přijímač shromažďuje data vyslaná z rozbočovače a posílá je do počítače, kde jsou data zpracovávána výše zmiňovaným softwarem. Propojení s rozbočovačem je možné buď bezdrátovým připojením či prostřednictvím síťového kabelu přes síťové porty na přijímači a rozbočovači. [6]

2.1.6 Rozbočovač

Rozbočovač umožňuje využití bezdrátového radiofrekvenčního přenosu. Lze se s ním volně pohybovat a zaznamenávat za jeho pomoci data ve vzdálenosti do třiceti metrů od přijímače. Tělo rozbočovače na boku obsahuje osm propojovacích „plug and play“ portů, to znamená, že software při komunikaci s rozbočovačem automaticky rozpoznává konkrétní port a zařízení do něj připojené. Prvek „plug and play“ takto eliminuje potřebu vyhrazených účelových portů a poskytuje větší flexibilitu pro samotné testování. Do rozbočovače lze tedy propojit jakoukoli kombinaci z prvních čtyř výše uvedených zařízení a pro jejich využití je nezbytný. Váha těla rozbočovače je 154,12 gramů a jeho rozměry jsou 182,83 x 68,26 x 31,75 (délka x šířka x výška v milimetrech). Rozmezí provozní teploty je opět 11 až 33°C. [6]

Na vrchní straně zařízení se nachází indikační dioda svítící červeně, pokud je zařízení zapnuté. Dále se zde nachází tři funkční tlačítka:

On/Reset – pro aktivaci zařízení jedním stiskem a pro obnovení funkcí po druhém stisku.

Mark – prvním stlačením označen začátek konkrétního testování a jeho záznamu. Následující stisk pak zaznamená konec testu nebo jeho fáze.

Off – pro vypnutí deaktivaci zařízení.



Obrázek 2.8 ergoPAK bezdrátový přijímač



Obrázek 2.9 ergoPAK rozbočovač

2.2 ergoPAK FSR's - Force Sensing Resistors

FSR senzory jsou dalším „plug and play“ zařízením, které je možno zapojit do ergoPAK rozbočovače, a měření s nimi lze kombinovat a současně s měřením ostatními měřicími nástroji. Jedná se o senzory pro měření lokálních malých sil mezi prsty a povrchem nástroje, stroje či pracovního prostředí, přičemž je měření umožněno až čtyřmi články najednou.

Zkratka FSR je odvozena z anglického spojení Force Sensing (nebo také Sensitive) Resistors, v češtině odporové snímače síly. Sensory FSR mění velikost působící síly na velikost jejich elektrického odporu. Měří složku síly kolmou na povrch sensoru. S rostoucí silou klesá odpor vodiče v důsledku vzájemného dotýkání elektricky vodivých a nevodivých částic v odporové polymerové vrstvě. Sensory FSR se používají hojně k detekci doteku či polohy. Často bývají využity v detekci doteku ruky ve formě tlačítek či klávesnic. Bývá využíváno možností výroby různých tvarů sensorů či tvorby snímačů složených z jednotlivých sensorů. FSR sensory je možné použít i při měření síly, jako je tomu v našem případě. Obecně se u těchto sensorů uvádí možné zatížení do 100 Newtonů. Dle výrobce a druhu využití se však v parametrech mohou lišit. Sensory, které jsou součástí zkoumané sady, jsou dle pokynů výrobce omezeny limitním zatížením hmotností 100 liber, tedy 45,36 kilogramů, přibližně odpovídající tíhovému zatížení 450 Newtonů, což je zhruba dvakrát větší rozsah než lze měřit s malým tenzometrem digitFET. Rozlišovací schopnost sensoru je lepší než 0.5%. Sensory jsou tenké 0,203 milimetrů, dlouhé 50,8 milimetrů a široké 14 milimetrů. Jsou ohebné a nenápadné – narušení normálního výkonu pracovního procesu je tedy s jejich využitím minimální. [7], [8]

Sběr dat při měření s FSR senzory je skutečněn zapojením sensorů do FSR rozbočovače, který obsahuje čtyři zdířky pro zapojení propojovacích kabelů, k jejichž druhému konci jsou senzory připojeny. Možnosti přenosu dat rozbočovače jsou stejné jako u rozbočovače základní sady ergoPAK (viz kapitola 2.1.6). Sensorů lze využívat v kombinaci s přiloženými náprstky, rukavicemi ergoGlove (viz Obrázek 2.10) či využitím tenkých chirurgických rukavic.

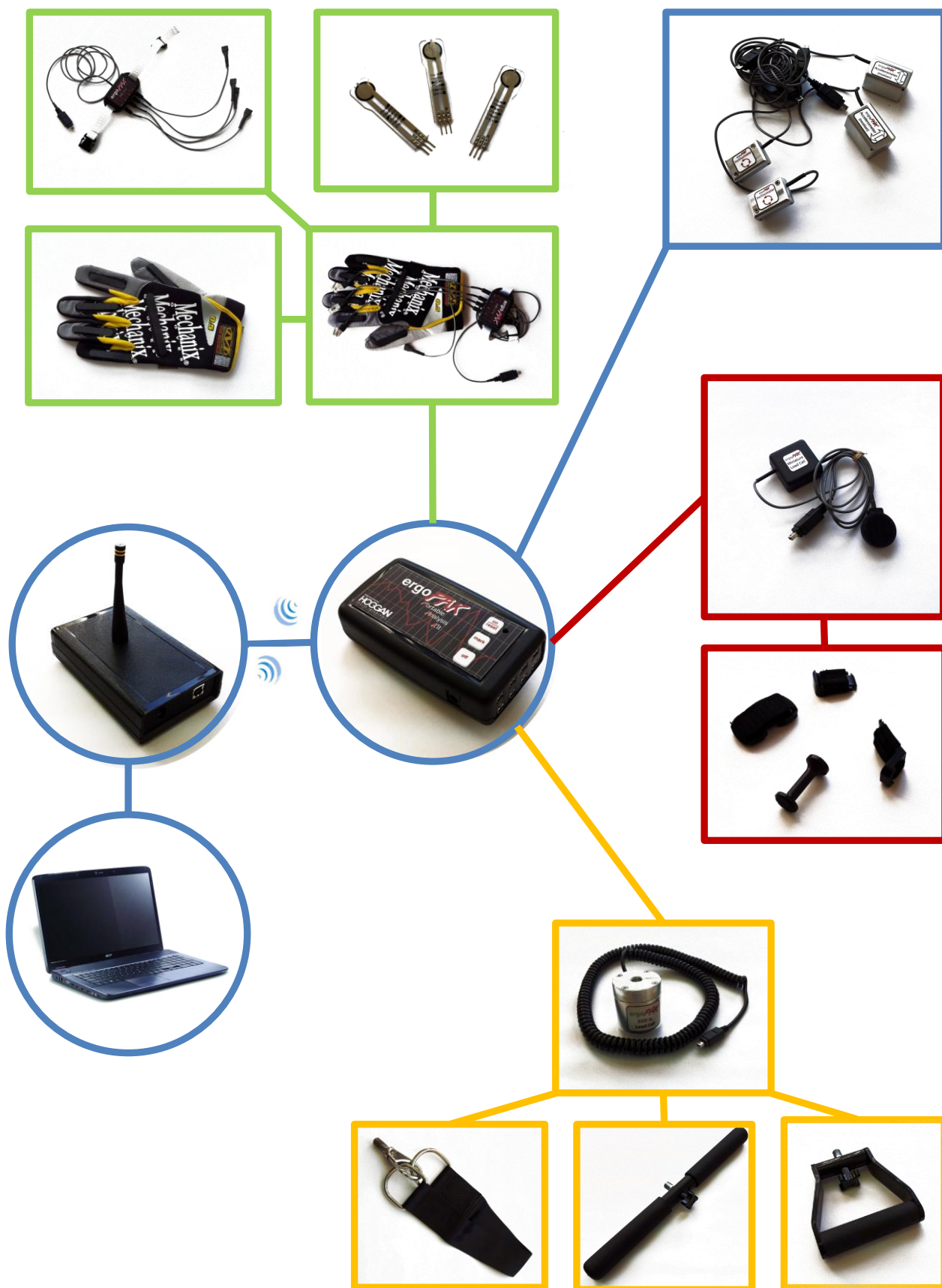


Obrázek 2.10 ergoPak FSR připojené do rozbočovače a uložené v rukavici ergoGLOVE



Obrázek 2.11 ergoPAK FSRs

2.3 Schéma možností propojení měřícího zařízení



Obrázek 2.12 Schéma možností propojení komponent měřících zařízení sady ergoPAK

3 Návrh experimentů

3.1 Představení pracoviště

Pro experimentální měření bylo zvoleno zcela nové pracoviště Katedry průmyslového inženýrství a managementu na Západočeské univerzitě v Plzni. V současné době je využíváno pouze pro účely našich měření a pro účely další studentské závěrečné práce řešící projektování výrobních procesů na tomto pracovišti. Z hlediska druhého jmenovaného využití je pracoviště v současné době navrženo a zařízeno pro montáž montážního celku umyvadlových sifonů. Plánováno je využití ve výuce předmětu Řízení a organizace práce (ŘOP) vyučovaném na katedře pro demonstraci vhodnosti uspořádání pracoviště z ergonomického hlediska a pro demonstraci MTM metod, tedy výpočtů časové náročnosti úkonů.

Základní uspořádání pracoviště zahrnuje pracovní stůl zasazený do vysoké kovové konstrukce s vrchní nástavbou, na níž je upevněno osvětlení a závěsná navíjecí kladka, k níž je připojen elektrický šroubovák. Na konstrukci je dále připevněna jedna pevná a několik polohově nastavitelných polic s jednotlivými boxy pro uložení montážních součástí sifonu. Zespona stolu je pak vyvýšená plocha pro nohy určená pro práci vsedě. Pro tu je samozřejmostí i pracovní židle.

Po levé části stolu je prostor pro dřevěnou paletu, na níž je umístěn jeden velký prázdný box. Po pravé straně je pak umístěn pojízdný stojan na boxy s nastavitelnými policemi a několika boxy na součástky. Ke spodní ploše stojanu jsou připevněna čtyři kolečka, jež umožňují jeho pojízdnost. Zadní pár koleček je umístěn napevno, přední pár je otočný. V boxech jsou rozmístěny jednotlivé díly pro sestavu umyvadlových sifonů.



Obrázek 3.1 Pracoviště



Obrázek 3.2 Pracoviště – elektrický šroubovák

3.2 Plán experimentu

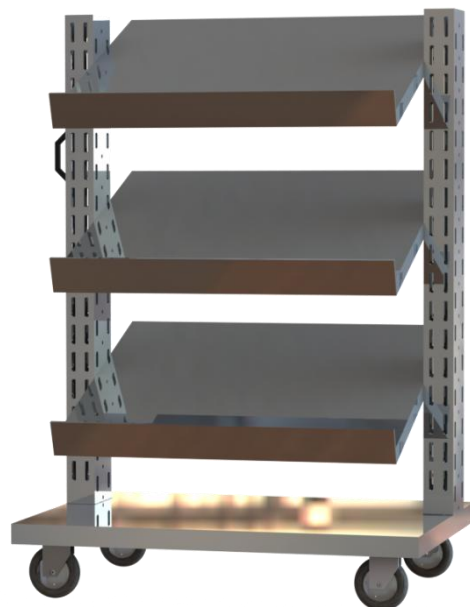
Na výše uvedeném pracovišti bylo provedeno experimentální měření na několika modelových situacích pracovních procesů navržených s konzultantem práce. Na těchto měření budou v následující kapitole demonstrovány možnosti využití vybraných nástrojů sady ergoPAK a výsledky těchto měření budou v rámci možností vyhodnoceny dle výše uvedených státních nařízení (viz kapitola 1.2). To poslouží k utvoření obrazu míry využitelnosti nástrojů sady v procesu daných vyhodnocování. Navržena byla následující měření:

- Měření zatížení tahem – tažení stojanu za využití velkého tenzometru ergoPAK s vybraným příslušenstvím
 - **Měření 1** - se základní hmotností stojanu
 - **Měření 2** - s navýšenou hmotností stojanu
- Měření zatížení tlakem – tlačení stojanu za využití velkého tenzometru ergoPAK s vybraným příslušenstvím
 - **Měření 3** - se základní hmotností stojanu
 - **Měření 4** - s přidanou hmotností stojanu
- **Měření 5** - zatížení malými tlakovými silami – zatlačování malé součásti montážního celku sifonu jedním prstem za využití ergoPAK FSR senzoru a příslušenství
- Měření pracovní polohy – míra vzpažení paže při manipulaci se závěsným šroubovákem za využití ergoPAK inklinometru a příslušenství
 - **Měření 6** – pracovník manipuluje se šroubovákem vsedě
 - **Měření 7** - pracovník manipuluje se šroubovákem ve stoje

Pro experimentální měření s akcelerometry nebyla na daném pracovišti nalezena vhodná modelová situace. Jeho popis a účel využití jsou popsány výše (viz kapitola 2.1.4).



Obrázek 3.3 Pracoviště - stojan s boxy



Obrázek 3.4 Model prázdného stojanu pro schematické účely

4 Realizace případové studie

Kapitola je sestavena z popisu provedených měření a jejich vyhodnocení.

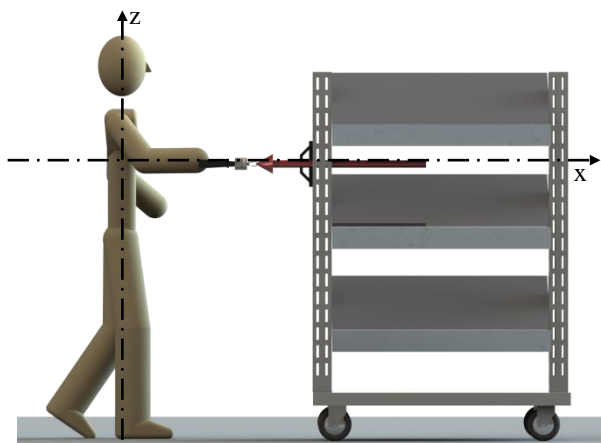
4.1 Měření zatížení tahem

Měřicí zařízení, kterým je v tomto případě velký tenzometr ergoPAK, bylo upevněno k pojízdnému stojanu pomocí popruhu a skoby. Skoba má šroubové zakončení, kterým je upevněna k tenzometru. K tomu pak bylo z druhé strany upevněno jednoruční táhlo taktéž šroubovým spojením (viz Obrázek 4.2). Díky tomuto uchycení byly manipulací se stojanem osově přenášeny tahové síly přes tenzometr, který jejich hodnoty ukládal do rozbočovače připojeného kabelem. Tenzometr zaznamenává hodnotu měřené síly každou setinu sekundy. Rozbočovač následně bezdrátově vysílá data do přijímače a ten dále do počítače, kde byly přes dodávaný software zobrazovány jako závislost těchto sil na čase formou grafu. Přes tento software pak byla naměřená data uložena do souboru ve formátu .csv (soubor je možné zpracovat v některém z tabulkových editorů), z něhož bylo pro další úpravy nutné data ještě „očistit“ od nepohodlného naformátování a je využít v klasickém souboru .xls jako zdrojová data výsledných grafů.

Postup úpravy dat byl pro všechna měření stejný. Zmiňuji ho tedy pouze v této podkapitole.

4.1.1 Měření 1 – tažení stojanu chůzí pozadu

Jako první byl uskutečněn experimentální náměr sil v tahu v závislosti na čase pro případ tažení stojanu umístěného na čtyřech gumových kolečkách, uchopením pravé ruky za madlo, tak, že při tažení bylo předloktí v poloze blízké se vodorovné a koronární roviny těla pracovníka byla rovnoběžná s příčnou rovinou stojanu. Stojan o hmotnosti 41,7 kilogramů (jedná se o hmotnost vozíku společně s úložnými boxy) byl pracovníkem tažen chůzí vzad – tedy proti směru šipové osy x (viz Obrázek 4.1), do něž byla přenášena výsledná tahová síla. Otočná kolečka vozíku byla před měřením nastavena do směru pohybu, aby nedocházelo ke kladení odporu stojanu při jejich přetáčení. Měření bylo zaznamenáváno po dobu manipulace se stojanem, tedy 8,32 sekund. Výsledný naměřený průběh tažné síly znázorňuje Graf 4.1.



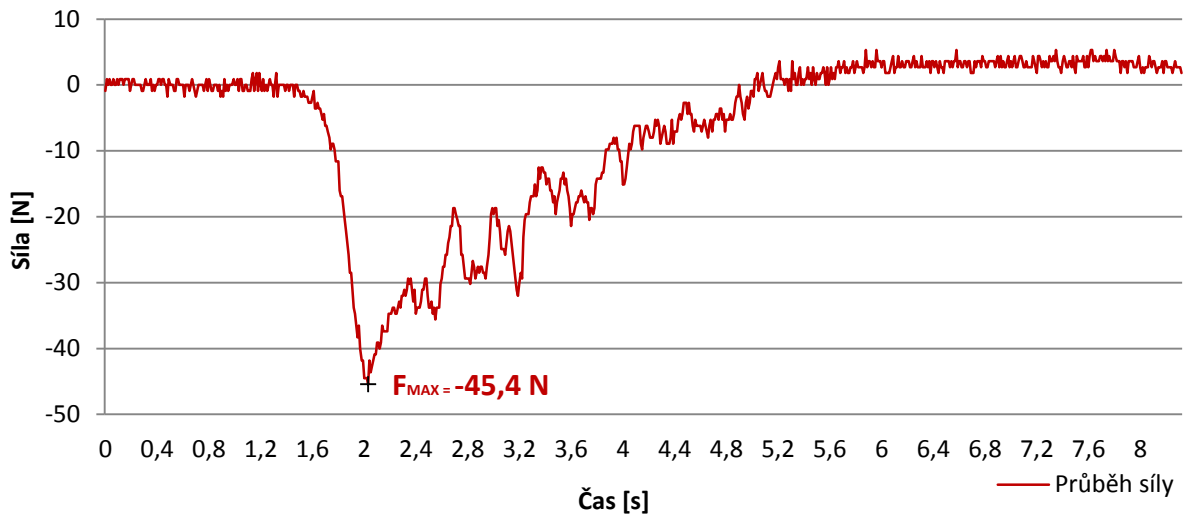
Obrázek 4.1 Schéma měření 1



Obrázek 4.2 Zajištění polohy tenzometru při měření

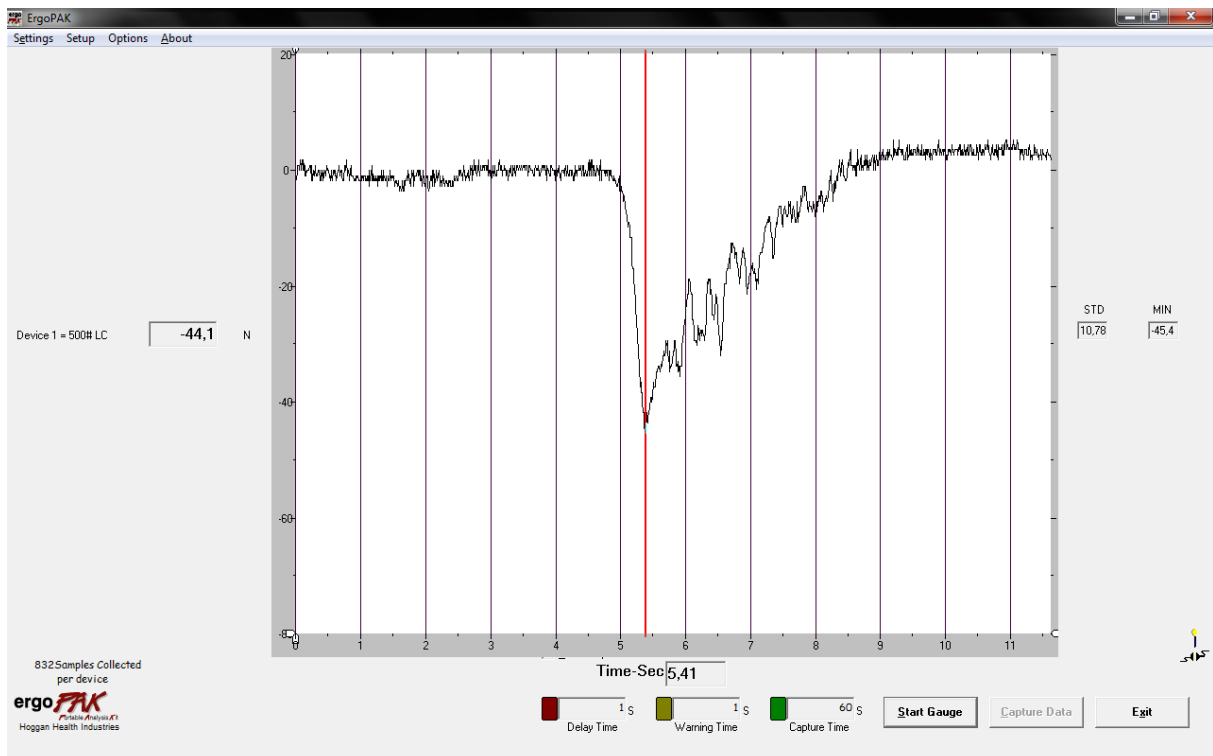
Ze získané grafické závislosti byla získána hodnota největšího zatížení pravé ruky. V čase $t = 2,03$ s se síla rovnala síle maximální, tedy $F_{MAX} = -45,4$ N. Záporné znaménko hodnoty síly znamená, že se jednalo o sílu tažnou.

Z grafu je zřejmé, že tažení vozíku započalo zhruba po první sekundě měření a prudký nárůst síly vyobrazený na náběhové křivce jasně ukazuje, že pro roztlačení byla nutná mnohem větší síla, než pro jeho další manipulaci, kde již bylo pohybu stojanu pomoheno jeho vlastní setrvačnou silou.



Graf 4.1 Průběh tažné síly F [N] v závislosti na čase t [s] při měření 1

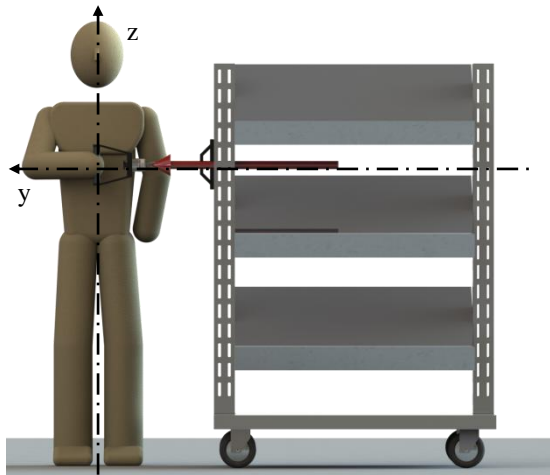
Pro ukázkou je uveden výsledný graf po proběhlém měření 1 zprostředkovaný ergoPAK softwarem (viz Obrázek 4.3). Ten se však nedá v této formě uložit a proto je k jeho získání nutné naměřená data dále zpracovávat.



Obrázek 4.3 Screenshot uživatelského prostředí SW ergoPAK

4.1.2 Měření 2 – tažení stojanu úchopem z boku a s navýšenou zátěží

Při tomto měření byla hmotnost stojanu navýšena o dalších 120 kilogramů. Zároveň byl ale z vozíku vyndán spodní box o hmotnosti 3,7 kilogramů pro možnost umístění závaží. Výsledná hmotnost taženého vozíku tedy byla 158 kilogramů. Měření bylo prováděno úchopem jednoručního táhla rukou ohnutou v lokti tak, že předloktí bylo v poloze blízké se vodorovné. Zároveň bylo rovnoběžné s koronární rovinou těla pracovníka kolmou na příčnou rovinu stojanu. Pohyb pracovníka byl prováděn chůzí v bok, do směru příčné osy y (Obrázek 4.4). Změna pracovní polohy, tedy uchopení madla a způsobu pohybu pracovníka byla záměrně zvolena pro ukázkou možnosti volby způsobu manipulace s vozíkem. V reálném pracovním procesu by byla zvolena pracovníkem možnost nejvíce vyhovující dispozičnímu uspořádání pracoviště a pohodlí pracovníka.



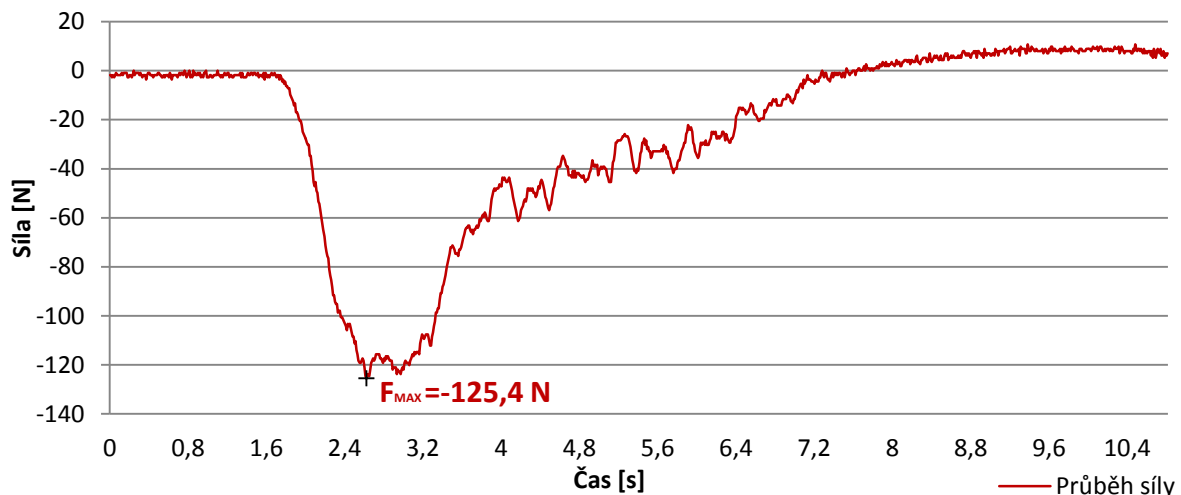
Obrázek 4.4 Schéma měření 2



Obrázek 4.5 Zajištění polohy tenzometru při měření 2

Výsledný naměřený průběh tažné síly znázorňuje Graf 4.2. Nejprudší nárůst vynaložené tahové síly je opět znázorněn náběhovou křivkou klesající do F_{MAX} .

Pro případ zhruba čtyřnásobného navýšení hmotnosti stojanu stoupla maximální tažná síla při změně způsobu úchopu stojanu na zhruba trojnásobnou hodnotu. V čase $t = 2,62$ s byla síla $F_{MAX} = -125,4$ N.



Graf 4.2 Průběh tažné síly F [N] v závislosti na čase t [s] při měření 2

Působení tažných sil je možné vyhodnotit dle nařízení č. 68/2010 Sb., které je novelizací nařízení vlády č. 361/2007 Sb., kterým se stanovují podmínky ochrany zdraví při práci. Odstavec 10, § 29 tohoto nařízení uvádí: [11]

Přípustný hygienický limit pro tlačné a tažné síly při manipulaci s břemenem pomocí jednoduchého bezmotorového prostředku je:

Pro muže: tlačné 310 N a tažné 280 N,

Pro ženy: tlačné 250 N a tažné 220 N.

Z výše uvedeného vyplývá pro:

Měření 3:

$$|F_{MAX}| = 45,4 \text{ N} < F_{LIM} = 280 \text{ N}$$

Měření 4:

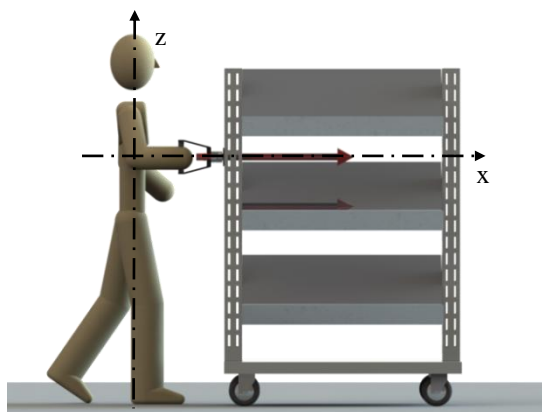
$$|F_{MAX}| = 125,4 \text{ N} < F_{LIM} = 280 \text{ N}$$

Tedy ani jeden z naměřených případů nepřekračuje tento hygienický limit a není nutné dále řešit nápravná opatření.

Pokud by výsledky měření poukázaly na překročení hygienických limitů, zaměstnavatel by měl učinit kroky k nápravě, neboť ruční manipulace nadlimitně těžkých břemen přímo dopadá na nepříznivý zdravotní stav pracovníka. Odráží se pak na jeho nižší výkonosti, snižuje kvalitu odvedené práce a vystavuje zaměstnance riziku ztráty zaměstnání, což přináší další negativní následky. Zaměstnavatel se zároveň vystavuje riziku ztráty času, financí a kvality. Národní ekonomiku pak vystavuje riziku zvýšení sociálních nákladů. Nápravnými opatřeními mohou být snížení hmotnosti břemene, či využití některého z moderních nástrojů pro manipulaci s břemeny, kterých již v současné době trh nabízí nepřeberné množství. Jednorázovými náklady podnik předejde nejen finančně náročnějším následkům.

4.2 Měření zatížení tlakem

Během těchto měření byla z ploché strany tenzometru (na níž se při předchozím měření nacházela skoba) připevněna násada s rovinnou plochou, kterou bylo při manipulaci se stojanem tlačeno na boční stěnu jeho konstrukce. Z druhé strany bylo ponecháno jednoruční táhlo (viz Obrázek 4.7). Byl tedy opět zajištěn osový přenos sil skrze článek, tentokrát do kladného směru šípové osy x (viz Obrázek 4.6).



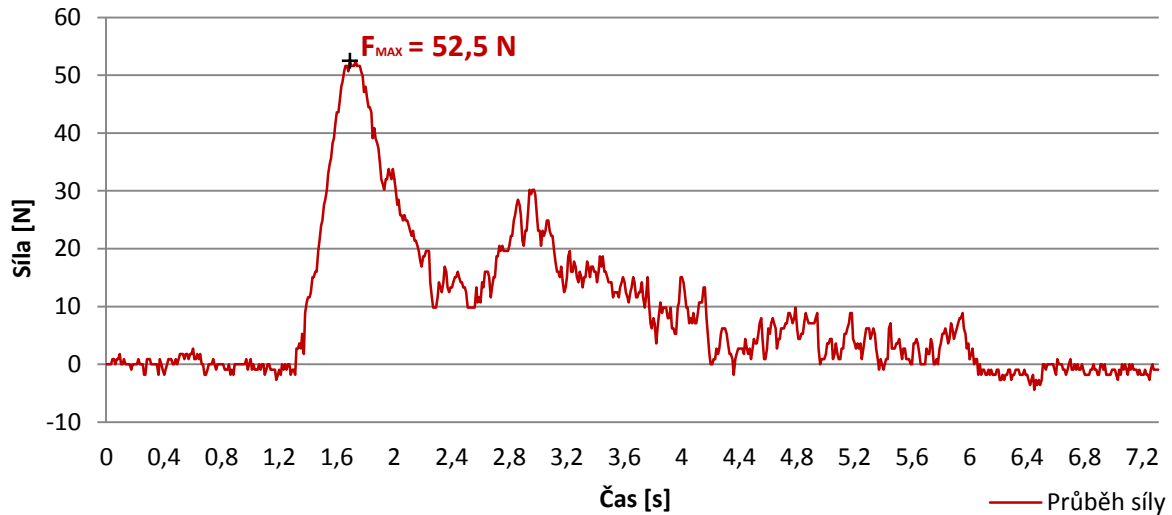
Obrázek 4.6 Připojení měřicích prostředků ke stojanu – měření 3 a 4



Obrázek 4.7 Zajištění polohy tenzometru při měření 3 a 4

4.2.1 Měření 3 – tlačení stojanu před sebe s čistou váhou

Měření probíhalo při manipulaci se stojanem uskutečněnou chůzí pracovníka vpřed a tlačení tenzometrem na stojan pracovníkovou pravou rukou. Koronární rovina těla pracovníka byla kolmá na osu tlaku a rovnoběžná s příčnou rovinou stojanu. Při tomto měření odpovídala hmotnost stojanu hmotnosti při měření 1 – tedy 41,7 kilogramů. Výsledný naměřený průběh síly znázorňuje Graf 4.3.

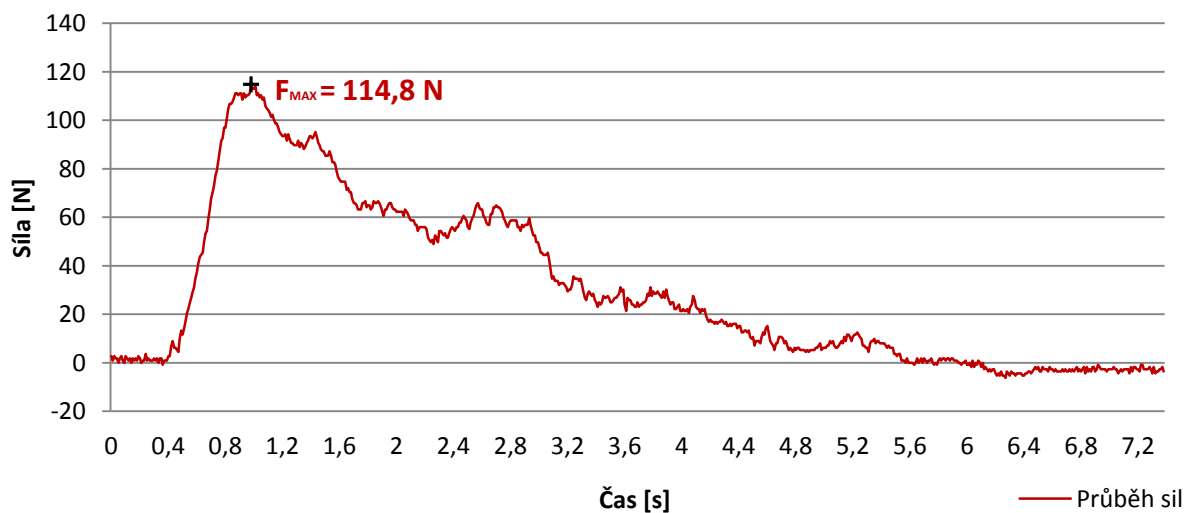


Graf 4.3 Průběh tlačné síly F [N] v závislosti na čase t [s] při měření 3

V měřeném čase $t = 1,69$ s byla nalezena maximální síla rovna $F_{MAX} = 52,5$ N. Znaménko naměřené hodnoty je kladné, což určuje, že naměřená síla je síla tlačná.

4.2.2 Měření 4 – tlačení stojanu před sebe s přidanou zátěží

Toto měření mělo totožný průběh s měřením předchozím navíc ale s navýšenou hmotností stojanu obdobně jako při měření 2. Hmotnost stojanu tedy odpovídala 158 kg. Výsledný naměřený průběh síly znázorňuje Graf 4.4.



Graf 4.4 Průběh tlačné síly F [N] v závislosti na čase t [s] při měření 4

Maximální síla opět přidanou hmotností stojanu vzrostla. V tomto případě byl zachován způsob úchopu táhla a pohybu pracovníka při manipulaci s vozíkem a síla vzrostla oproti porovnání prvních dvou měření pouze zhruba dvakrát. Její hodnota byla naměřena v čase 0,98 s a byla rovna $F_{MAX} = 114,8 \text{ N}$. Jde opět sílu tlačnou. Stejně jako u případu tažných sil bylo provedeno vyhodnocení dle nařízení č. 68/2010 Sb.:

Měření 3:

$$F_{MAX} = 52,5 \text{ N} < F_{LIM} = 310 \text{ N}$$

Měření 4:

$$F_{MAX} = 114,8 \text{ N} < F_{LIM} = 310 \text{ N}$$

Oba měřené případy tedy opět vyhovují přípustnému hygienickému limitu a není nutné dále je řešit. Při překročení platí výše uvedené (viz vyhodnocení měření zatížení tahem 4.1)

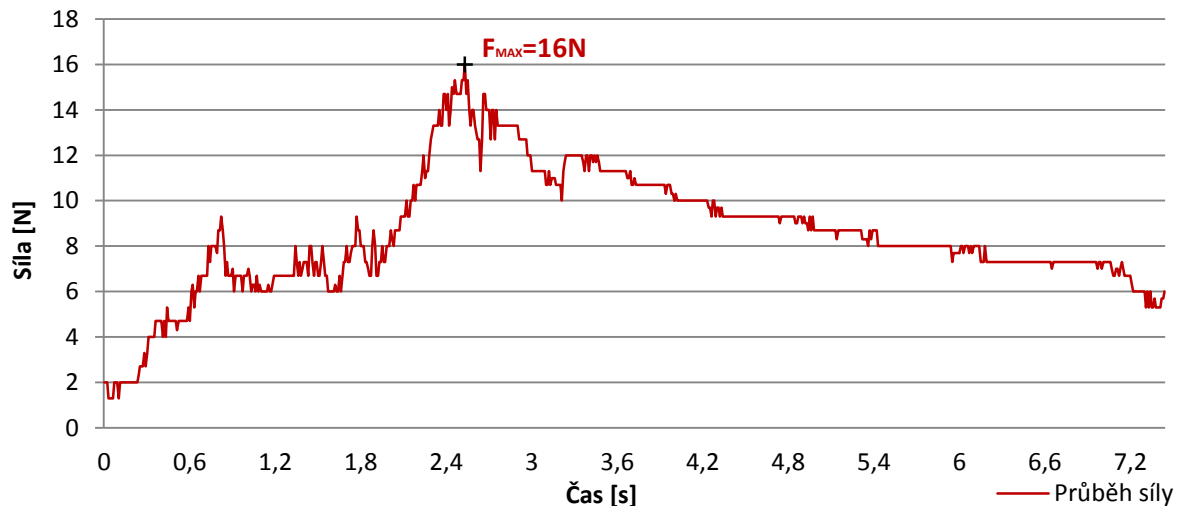
4.3 Měření 5 - zatížení malými tlaky

Měření bylo provedeno prostřednictvím senzoru ergoPAK FSR (viz kapitola 2.2). Senzor byl k prstu pracovníka přichycen pomocí latexového návleku (viz Obrázek 4.8). Tento způsob byl zvolen po vyzkoušení varianty s využitím rukavice ergoGlove, přiložené v sadě. Ta byla pro prováděné měření vyhodnocena jako nevhodná z důvodu obtížné manipulace s velmi malou součástí zatlačovanou do montážního celku sifonu.



Obrázek 4.8 Zapojení a upevnění senzoru ergoPAK FSR a měření 5 s jeho využitím

Samotné měření bylo prováděno pouze pro úkon zatlačení vnitřního dílce sifonu a jeho zapadnutí do polohy vymezené drážkou uvnitř montážního celku. Časový interval tohoto měření 5, jehož výsledné hodnoty znázorňuje Graf 4.5, trval přibližně sedm sekund a byl závislý mimo jiné na zručnosti (a v praxi pak na zkušenosti s daným úkonem) pracovníka.



Graf 4.5 Průběh tlačné síly F [N] v závislosti na čase t [s] při měření 5

Průběh zanedbatelné síly na začátku grafu je dán pouhým dotykem prstu (a tedy senzoru) s povrchem těsnění připraveným v poloze pro zatlačení. V čase $t = 2,53$ s pak dochází k vynaložení největšího kompresního zatížení před dosednutím těsnění do drážky v montážním celku. Hodnota maximální díly v tlaku v tomto čase je $F_{MAX} = 16$ N. Nevýhoda využití latexového návleku se odráží na hodnotách průběhu sil za tímto maximem. Ty jsou ovlivněny přilnavostí latexového návleku, která po zatlačení těsnění stále působí na senzor.

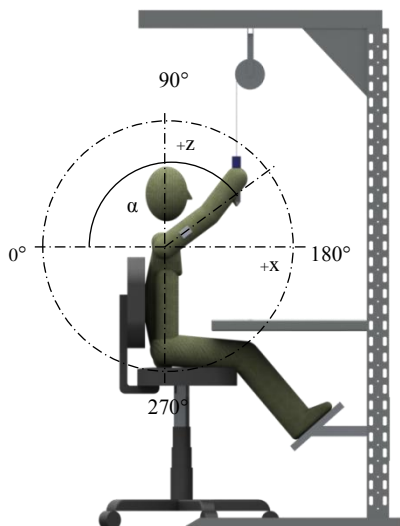
K vyhodnocení tohoto měření bylo nejprve zamýšleno opět využít nařízení vlády č. 361/2007 Sb. a č. 68/2010 Sb. (viz kapitola 1.2), konkrétně hlavu IV, Díl 2, ošetřující předpisy pro lokální svalovou zátěž. Připomeňme znovu definici lokální svalové zátěže uvádějící: „zátěž malých svalových skupin při výkonu práce končetinami“. Nařízení dále uvádí: „Hygienickým limitem lokální svalové zátěže jsou dále počty pohybů drobných svalů prstů a ruky a průměrné minutové počty pohybů drobných svalů prstů a ruky za osmihodinovou směnu, minutové průměrné a přípustné přepočtené na průměrnou osmihodinovou směnu.“[11]

Tenzometr nám poskytl údaj maximální svalové zátěže v tlaku F_{MAX} u daného výkonu (nezaměňovat s F_{max} , uváděnou v legislativě, uvádějící maximální možnou sílu, kterou dokáže pracovník vyvinout danou lokální svalovou skupinou). K doplnění tohoto měření za účelem přesného určení svalových skupin namáhaných při výkonu a počtu jejich pohybů během něj by však bylo nutné využít mnohem přesnější metody. V praxi je pro takovéto analýzy nejčastěji využívána metoda elektromyografie (EMG).

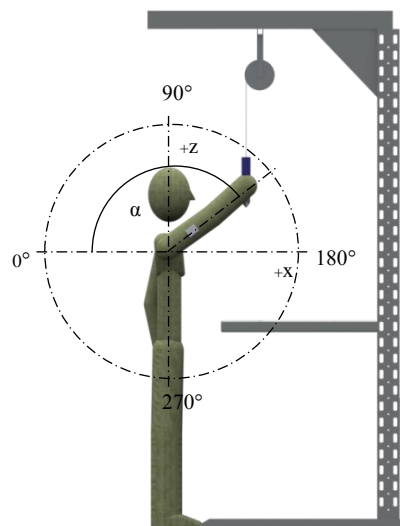
EMG využívá akčního potenciálu vzniklého při aktivaci kosterního svalu. Potenciál se šíří nervovým vláknem a aktivuje svalová vlákna, což vyvolává svalový záškub. EMG lze měřit buď využitím povrchových elektrod umístěním na kůži, či vpichově využitím jehlových elektrod, zavedených skrz kůži do svalu. EMG poskytuje informaci o vzorci a dynamice svalové aktivity při komplexních pohybech.[8] Při kombinaci využití použitého tenzometru a nástrojů metody EMG by již bylo možné při naměření F_{max} lokální svalové skupiny konkrétního pracovníka naměřená data vyhodnotit dle vybraného nařízení, případně by musela být provedena nápravná opatření. Velmi malá maximální vynakládaná tlačná síla ale napovídá, že výsledek vyhodnocení by byl vyhovující.

Měření polohy

Pro měření úhlové polohy byl ze sady jednoznačně vybrán inklinometr sloužící pro tento účel. Bylo nejprve nutné zajistit polohu inklinometru tak, aby hlavní rotační osa inklinometru souhlasila s osou pohybu měřeného objektu. V tomto případě byl snímán rotační pohyb paže pracovníka při manipulaci s elektrickým šroubovákem zavěšeným na navíjecí kladce. Rotační pohyb paže probíhal v rovině $\hat{x}\hat{z}$ dané zavedeným souřadným systémem (viz Obrázek 4.9 a Obrázek 4.10).



Obrázek 4.9 Schéma postavení pracovníka vůči pracovišti při měření 5



Obrázek 4.10 Schéma postavení pracovníka vůči pracovišti při měření 5

Rovina určená aktivními rotačními osami inklinometru byla s rovinou $\hat{x}\hat{z}$ totožná. Se zřetelem na tyto požadavky byl inklinometr upevněn pomocí lékařské fixační náplasti na boční straně paže pracovníka. Tím byla zajištěna nehybnost samotného článku inklinometru pro přesné měření. Následně byl inklinometr připojen k rozbočovači.

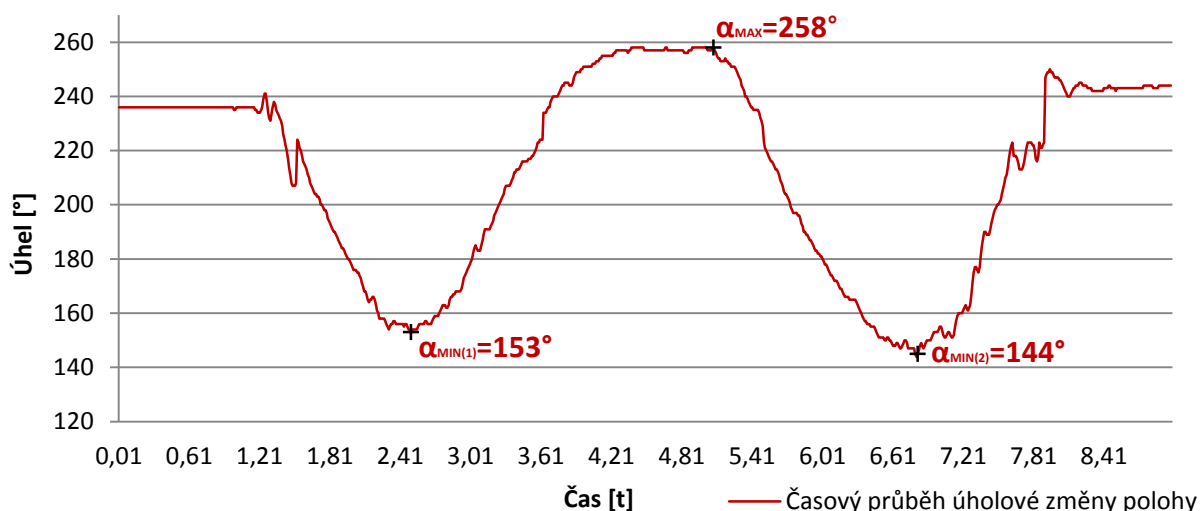
4.3.1 Měření 6 – úhlová poloha paže při práci vsedě

Měření bylo pro tento případ provedeno vsedě u pracovního stolu, na jehož vrchní konstrukci se po pravé straně nachází navíječ s elektrickým šroubovákem. Počáteční poloha paže při měření byla dána opřením ruky pracovníka o pracovní stůl.

Snímání pohybu bylo zaznamenáváno po dobu 8,89 s při pracovním procesu složeného z následujících činností:

- natažení ruky po šroubovák z počáteční polohy na stole
- stažení šroubováku k sifonu
- setrvání ve spodní poloze při dotažení šroubového spoje na sifonu
- navrácení šroubováku do původní polohy
- pohyb ruky zpět na stůl

Výslednou změnu úhlu α v čase při pracovních pohybech znázorňuje Graf 4.6. Úhel α udává sklon paže vůči vodorovné ose x vedené středem ramenního kloubu v konkrétním čase pracovního procesu.

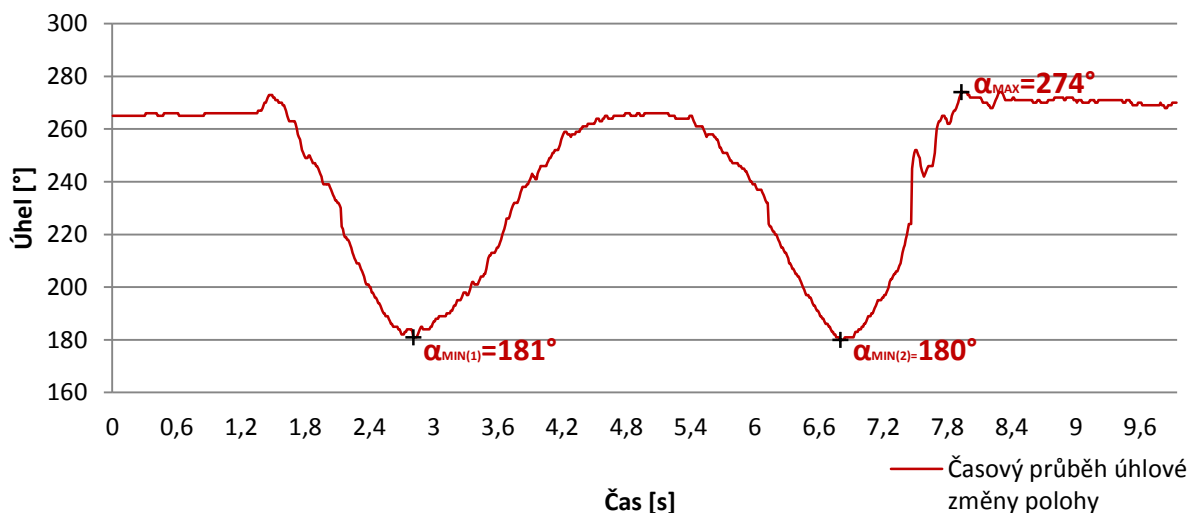


Graf 4.6 Průběh změny úhlu α [°] v závislosti na čase t [s] při měření 6

Z naměřených dat a grafické závislosti (viz Graf 4.6) je patrné, že úhel sklonu paže v počáteční poloze (tedy na začátku měření) byl roven $\alpha = 236^\circ$. Při druhém natažení ruky, tedy při vracení šroubováku do počáteční polohy, došlo k nejvyššímu vychýlení paže z původní polohy. Z grafu se v čase $t = 6,81$ rovná úhel sklonu paže $\alpha = \alpha_{\text{MIN}(2)} = 144^\circ$. Největší vychýlení při pohybu ruky pro šroubovák bylo naměřeno v čase $t = 2,5$ s a odpovídalo úhlu $\alpha_{\text{MIN}(1)} = 153^\circ$. Úhel $\alpha_{\text{MAX}} = 258^\circ$ odpovídá nejnižší poloze ruky při připevňování vrchního dílu sifonu pomocí elektrického šroubováku.

4.3.2 Měření 7 – úhlová poloha paže při práci ve stoje

Měřený pracovní proces byl u tohoto případu stejný jako proces u měření 6, pouze s tím rozdílem, že pracovník u konstrukce pracovního stolu neseděl, ale stál. Počáteční a zároveň konečná poloha sledované pravé horní končetiny byla polohou neutrální, tedy poloha paže volně visící podél těla. Výslednou změnu úhlu α v čase při pracovních pohybech znázorňuje Graf 4.7.



Graf 4.7 Průběh změny úhlu α [°] v závislosti na čase t [s] při měření 7

Pracovní polohy horních končetin lze vyhodnotit dle nařízení č. 68/2010 Sb., novelizací nařízení vlády č. 361/2007 Sb., kterým se stanovují podmínky ochrany zdraví při práci. Tu lze využít i pro případ měření 6 a 7, neboť pracovní poloha je přímo závislá na konstrukci stroje, uspořádání pracovního místa a pracoviště a charakteru prováděné práce. Nařízení rozděluje vyhodnocení pracovní polohy do dvou kroků.

První krok zahrnuje hodnocení poloh jednotlivých částí těla podle úhlů, druhý krok určuje podmínky práce, za kterých lze pracovní polohu označenou v prvním kroku za podmíněně přijatelnou zařadit mezi pracovní polohu přijatelnou nebo pracovní polohu nepřijatelnou mezi pracovní polohu podmíněně.

Dle definice (viz) se posuzované polohy α_{MAX} z měření 6 a 7 kategorizují jako polohy dynamické. Pracovník paži při pracovních pohybech vzpažuje, řídím se tedy nařízeními pro tento případ. Příloha č. 5 k výše uvedenému nařízení uvádí pro hodnocení dynamické pracovní polohy horních končetin při vzpažování [11]:

KROK 1:

Nepřijatelná poloha

Dynamická poloha - Vzpažení paže větší než 60° při frekvenci pohybu větší nebo rovné 2/min

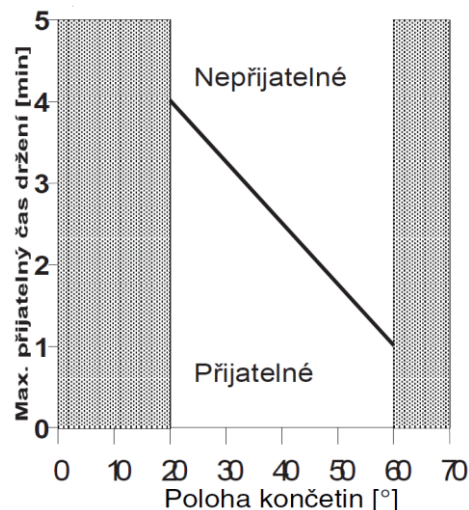
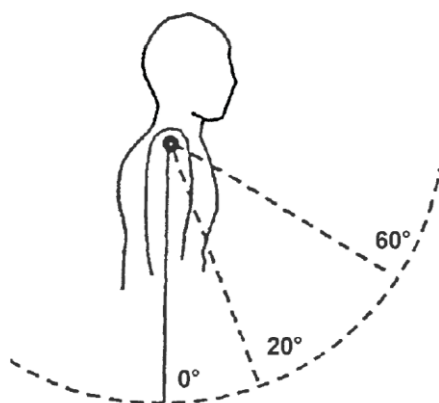
Podmíněně přijatelná poloha

Dynamická poloha - Vzpažení paže $40 - 60^\circ$ při frekvenci pohybů větší nebo rovné 2/min (KROK 2 A, B)

KROK 2:

A) Musí být dodržen maximálně přijatelný čas držení

B) Nepřijatelná, je-li stroj používán po dobu delší, než polovinu pracovní směny



Obrázek 4.11 Hodnocení polohy horních končetin dle Státního nařízení 361/2007 Sb.

Je patrné, že podmínky stanovené vládním nařízením jsou vztahové k základní rovině rovnoběžné se svislou osou těla. Od spodní části této osy je uvažována nula. Je tedy nutné vztáhnout uvažovaný souřadný systém použitý při měření 6 a 7 na souřadný systém

uvažovaný státním předpisem. Potom dostáváme úhel polohy paže vzhledem k její neutrální poloze, který lze porovnat s uvedeným nařízením:

Měření 6:

$$270^\circ - \alpha_{\text{MIN}(1)} = 270^\circ - 153^\circ = 117^\circ$$

$$270^\circ - \alpha_{\text{MIN}(2)} = 270^\circ - 144^\circ = 126^\circ$$

$117^\circ > \alpha_{\text{LIM}}$	$126^\circ > \alpha_{\text{LIM}}$
$117^\circ > 60^\circ$	$126^\circ > 60^\circ$

Měření 7:

$$270^\circ - \alpha_{\text{MIN}(1)} = 270^\circ - 181^\circ = 89^\circ$$

$$270^\circ - \alpha_{\text{MIN}(2)} = 270^\circ - 180^\circ = 90^\circ$$

$89^\circ > \alpha_{\text{LIM}}$	$90^\circ > \alpha_{\text{LIM}}$
$89^\circ > 60^\circ$	$90^\circ > 60^\circ$

Všechny tyto dynamické polohy jsou tedy vyhodnoceny jako **nepřijatelné**.

Takto vyhodnocená poloha není podmíněna krokem 2. Nařízení dále uvádí:

„Průměrný hygienický limit v nepřijatelné pracovní poloze je 30 minut v osmihodinové průměrné směně. Doba trvání jednotlivých nepřijatelných pracovních poloh nesmí být delší než 1 až 8 minut v závislosti na typu pracovní polohy. Hodnocení doby trvání jednotlivých nepřijatelných pracovních poloh se provádí podle přílohy č. 5 k tomuto nařízení, části C, obrázků č. 1 až 4.“ [11]

Tento předpis určuje další postup vyhodnocení daného případu, při znalosti průměrné délky směny pracovníka a při znalosti počtu výkonu daného pracovního postupu za tuto směnu. Zohledněny by pak dále musely být i další pracovní úkony spadající do kategorie nepřijatelné polohy, neboť hygienický limit je 30 minut platí pro časový součet trvání všech takovýchto úkonů. Vzhledem k tomu, že měřená situace je pouze modelová a tato data tedy nejsou k dispozici, další řešení vyhodnocení již nebude provedeno. K demonstraci využitelnosti inklinometrů však postačila první část daného vyhodnocení.

K předejetí stavu nepřijatelné polohy by postačila například změna uspořádání daného pracoviště. Variant se naskýtá mnoho, například změna prodloužením vysunuté délky kabelu elektrického šroubováku, které by zapříčinilo snížení jeho polohy a zmenšilo by úhel vzpažení pracovníka. Řešení by však musela být rozebrána komplexněji, neboť uvedený níže zavěšený šroubovák by mohl například překážet v ostatních pracovních výkonech. To již není předmětem této práce.

4.4 Shrnutí možností a návrh dalšího využití

Tato práce poukazuje na možnost využití ergonomických nástrojů sady ergoPAK jako vhodnou pomůcku pro podniky s nárůstem nemocí z povolání. Zde může být využití nástrojů prvním krokem ke zjištění jejich příčin vzniku daných nemocí, k odhalení rizikových faktorů na pracovištích a následným krokům, k jejich nápravě a odstranění.

Pro katedru průmyslového inženýrství a managementu může být přístroj stěžejní při zpracování projektů týkajících se projektování pracovišť. Dále by bylo pro katedru v budoucnu přínosem zařadit přístroj do výuky. Nejvhodnějším předmětem pro využití by

mohla být Praktika z ergonomie (KPV/PEE). Využití ve výuce by našlo uplatnění i mimo Katedru průmyslového inženýrství a managementu, například na Katedře konstruování a obrábění. Zde jsou vyučovány předměty, jako Ergonomie (KTO/EE) či Kvalita, ergonomie a racionalizace práce (KTO/KER).

Nástroje by mohly nalézt své uplatnění i v oblastech zdravotní techniky či v oborech průmyslového inženýrství. Jejich aplikací lze získat velmi přesné hodnoty zatěžujících sil v tahu a tlaku či hodnoty podstatné k určení pracovní polohy. Využití sady se dále nabízí při provádění pinch testů, měření lokálních malých sil mezi prsty a povrchem nástroje, stroje či pracovního prostředí či k měření zrychlení.

Závěr

Primárním cílem této práce bylo představit měřící zařízení sady ergoPAK a vyhodnotit možnosti jeho využití. Dalším bodem zadaných zásad pro vypracování této práce bylo navržení a realizování vybraných experimentálních měření, na nichž bude využitelnost měřící sady demonstrována.

Úvodní kapitola se věnuje úvodu do ergonomie a jsou zde rozebrány základní pojmy podstatné pro celou problematiku. Pozornost byla taktéž věnována vybraným statím státních nařízení využitých k vyhodnocení provedených měření.

Stěžejní druhá kapitola uvádí detailní popis a účelovou využitelnost jednotlivých komponent zkoumané sady ergonomických měřidel.

Souhrn jmenovaných kapitoly tvoří teoretickou základnu pro další pochopení práce.

V třetí kapitole představeno modelového pracoviště Katedry průmyslového inženýrství, Fakulty strojní, Západočeské univerzity v Plzni, které bylo zvoleno pro uskutečnění experimentálních měření. Především je zde ale rozepsán plán experimentů společně s uvedením komponent sady, jejichž využitelnost byla na měření aplikována.

Ve čtvrté kapitole jsou hlouběji rozebrány postupy a výsledky jednotlivých experimentálních měření. Výsledky jsou zde vyhodnocovány aplikací znalosti statí státních nařízení vztahujících se k ochraně zdraví při práci. V závěru poslední kapitoly je uvedeno shrnutí využitelnosti jednotlivých komponent sady a návrh na využití z hlediska, jak průmyslových podniků, tak Katedry průmyslového inženýrství a managementu.

Z výše uvedeného vyplývá, že všechny stěžejní body zásad pro vypracování byly do práce zahrnuty a splněny.

Použitá literatura

- [1] RNDr. ŠEDIVÝ, CSc., V. *AEE ŠEDIVÝ: Ergonomie* [online]. 2010 [cit. 2012-06-05]. Dostupné z: <http://www.aee-sedivy.cz/ergonomie/>
- [2] SLAMKOVÁ, E., DULINA, L., TABAKOVÁ, M. *Ergonómia v priemysle*, GEORG, Žilina, 2010, 261 s.
- [3] MALÝ, S., KRÁL, M., HANÁKOVÁ, E. *ABC ergonomie*, 1. vyd., Praha, 2010,
- [4] OTÁHAL, S., TLAPÁKOVÁ, A. *Patobiomechanika a Patokinesiologie KOMPENDIUM: Elektromyografie* [online]. Praha: FTVS UK, 2010 [cit. 2012-17-06]. Dostupné z: http://biomech.ftvs.cuni.cz/pbpbk/kompedium/biomechanika/experiment_metody_emg.php.
- [5] HOGGAN HEALTH INDUSTRIES. *Ergonomics: ergoFET* [online]. © 2012 [cit. 2012-05]. Dostupné z: <http://www.hogganhealth.com/welcome/ergonomics.php>
- [6] HOGGAN Health industries. *ergoPAK – User manual*.
- [7] HOGGAN Health industries. *ergoPAK FSR – User manual*.
- [8] INTERLINC ELECTRONICS. *FSR® Integration Guide & Evaluation Parts Catalog With Suggested Electrical Interfaces* [online]. s. 26, 2008 [cit. 2012-06-25]. Dostupné z: <http://resenv.media.mit.edu/classes/MAS836/Readings/fsrguide.pdf>.
- [9] ZDRAVOTNĚ SOCIÁLNÍ FAKULTA JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH. *Elektromyografie. JCU*. České Budějovice, 2011. Dostupné z: http://www.zsf.jcu.cz/structure/departments/kkl/manual-frvs/07_elektromyografie.pdf/.
- [10] Sbírka zákonů č. 361/2007 Sb. 361. *nařízení vlády, ze dne 12. prosince 2007, který se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci*.
- [11] Sbírka zákonů č. 68/2010 Sb. 68. *nařízení vlády, ze dne 22. února 2010, kterým se mění nařízení vlády č. 361/2007 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci*.

