

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N0715A270012 Průmyslové inženýrství a management

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Ergonomická analýza výrobních pracovišť s využitím digitálních
modelů člověka**

Autor: Bc. Kateřina KALČÍKOVÁ

Vedoucí práce: Ing. Marek BUREŠ, Ph.D.

Akademický rok 2020/2021

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2020/2021

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Bc. Kateřina KALČÍKOVÁ
Osobní číslo:	S19N0140P
Studijní program:	N0715A270012 Průmyslové inženýrství a management
Studijní obor:	Průmyslové inženýrství a management
Téma práce:	Ergonomická analýza výrobních pracovišť s využitím digitálních modelů člověka
Zadávací katedra:	Katedra průmyslového inženýrství a managementu

Zásady pro vypracování

1. Úvod do řešené problematiky
2. Charakteristika výrobního systému
3. Analýza procesů na vybraném pracovišti
4. Návrh řešení
5. Zhodnocení a přínosy nového návrhu
6. Závěr

Rozsah diplomové práce: **50 – 70 stran**
Rozsah grafických prací: **0 výkresů**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:

1. SLAMKOVÁ, Eva, DULINA, Ľuboslav, TABAKOVÁ, Michaela. *Ergonómia v priemysle*. Žilina: GEORG, 2010. 261 s. ISBN 978-80-89401-09-3.
2. KROEMER, Elbert, K., KROEMER, Henrike, B., KROEMER, Hoffman, A. D. *Ergonomics*. Elsevier Science Publishing, 2018. 756 s. ISBN 978-0-128-13296-8.
3. CHUNDELA, Lubor. *Ergonomie*. 3. vyd. Praha: ČVUT, 2013. 173 s. ISBN 978-80-01-05173-3.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Marek Bureš, Ph.D.**
Regionální technologický institut

Konzultant diplomové práce: **Ing. Tomáš Gattringer**
EvoBus Česká Republika s.r.o., Holýšov

Datum zadání diplomové práce: **21. září 2020**

Termín odevzdání diplomové práce: **28. května 2021**

L.S.

Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan

Doc. Ing. Michal Šimon, Ph.D.
vedoucí katedry

Prohlášení o autorství

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

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

V Plzni dne:

.....

podpis autora

Poděkování

Tímto bych ráda poděkovala svému vedoucímu diplomové práce panu Ing. Markovi Burešovi, Ph.D. za cenné rady, ochotu, obětavou práci a za čas věnovaný konzultacím, které mi pomohly práci zkompletovat. Dále bych ráda poděkovala panu Ing. Tomášovi Gattringerovi za konzultace a umožnění zpracování praktické části. A v neposlední řadě patří poděkování rodině a přátelům za velkou podporu.

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Kalčíková	Jméno Kateřina	
STUDIJNÍ PROGRAM	N0715A270012 Průmyslové inženýrství a management		
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Bureš, Ph.D.	Jméno Marek	
PRACOVISŤE	ZČU - FST - KPV		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Ergonomická analýza výrobních pracovišť s využitím digitálních modelů člověka		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KPV	ROK ODEVZD.	2021
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	96	TEXTOVÁ ČÁST	77	GRAFICKÁ ČÁST	19
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

<p>STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</p> <p>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p>	<p>Diplomová práce obsahuje ergonomickou analýzu současného svařovacího pracoviště včetně návrhů na jeho vylepšení. Při zpracování studie byl využit biomechanický systém CAPTIV a software pro hodnocení ergonomických rizik Tecnomatix Jack. Dále bylo při zpracování provedeno hodnocení s pomocí ergonomické analýzy RULA nebo dle české legislativy</p>
<p>KLÍČOVÁ SLOVA</p> <p>ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</p>	<p>ergonomie, ergonomické pracoviště, ergonomické metody, RULA, NV361/2007 Sb., ergonomické nástroje, CAPTIV, Tecnomatix Jack</p>

SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

AUTHOR	Surname Bc. Kalčíková	Name Kateřina
STUDY PROGRAMME	N0715A270012 Department of industrial engineering and management	
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Bureš, Ph.D.	Name Marek
INSTITUTION	ZČU - FST - KPV	
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Ergonomic analysis of production workplaces using digital human models	

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	KPV	SUBMITTED IN	2021
----------------	------------------------	-------------------	-----	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	96	TEXT PART	77	GRAPHICAL PART	19
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	The diploma thesis contains an ergonomic analysis of the current welding workplace, including suggestions for its improvement. The CAPTIV biomechanical system and Tecnomatix Jack software for ergonomic risk assessment were used in the study. Furthermore, the evaluation was performed with the help of ergonomic analysis RULA or according to Czech legislation.
KEY WORDS	ergonomics, ergonomic workplace, ergonomic methods, RULA, NV361/2007 Sb., ergonomic tools, CAPTIV, Tecnomatix Jack

Obsah

Seznam obrázků	10
Seznam tabulek	12
Úvod	13
Úvod do řešené problematiky	14
1 Ergonomie	16
1.1 Základní pojmy ergonomie.....	18
1.2 Parametry pracoviště	19
2 Moderní metody v hodnocení ergonomických rizik	22
2.1 Metoda Rula	22
2.2 Hodnocení poloh podle Nařízení vlády 361/2007 Sb.....	26
3 Nástroje pro hodnocení ergonomických rizik	29
3.1 Digitální modely člověka.....	29
3.2 CAPTIV	30
3.2.1 Uživatelské prostředí.....	31
3.2.2 Základní měřicí sada	35
3.2.3 Postup měření	36
3.3 Tecnomatix Jack	41
3.3.1 Uživatelské prostředí.....	43
3.3.2 Ergonomické analýzy	48
4 Charakteristika výrobního systému	51
4.1 Představení společnosti.....	51
4.2 Charakteristika pracoviště	52
5 Analýza pracoviště	57
5.1 Vstupní data	57
5.2 Analýza pracoviště v systému CAPTIV	58
5.2.1 Měřicí sada	58
5.2.2 Umístění senzorů.....	59
5.2.3 Kalibrace před měřením	60
5.2.4 Měření	61
5.3 Analýza pracoviště v softwaru Tecnomatix JACK	63
5.3.1 Tvorba pracoviště	63
5.3.2 Provedené ergonomické analýzy.....	69
6 Návrhy a zlepšení pracovního místa	80
6.1 Návrh nového polohovacího zařízení – varianta 1	80
6.2 Hrubý návrh nového polohovacího zařízení – varianta 2.....	82
6.3 Technické, ekonomické zhodnocení a přínosy nového návrhu	89

Závěr.....	93
Literatura	95

Seznam obrázků

Obrázek 1: Struktura případů nemocí z povolání	14
Obrázek 1-1: Schéma systému člověk-stroj-prostředí	16
Obrázek 1-2: Obory spjaté s ergonomií	17
Obrázek 1-3: Manipulační rovina pro břemena	21
Obrázek 1-4: Tažná a tlačná síla	21
Obrázek 2-1: Hodnocení rizika poškození horních končetin	23
Obrázek 2-2: Hodnocení rizika poškození krku, trupu a dolních končetin	24
Obrázek 2-3: Limity pro hodnocení poloh-trup	27
Obrázek 2-4: Limity pro hodnocení poloh-ramena	28
Obrázek 2-5: Limity pro hodnocení poloh-hlava a krk	28
Obrázek 2-6: Limity pro hodnocení poloh-loket	28
Obrázek 2-7: Limity pro hodnocení poloh-zápěstí	29
Obrázek 4-1: Společnost z ptáčích perspektivy	51
Obrázek 4-2: Katodické ponorné lakování	52
Obrázek 4-3: Pracoviště – Ustavování plechů	53
Obrázek 4-4: Layout pracoviště Bodování.....	54
Obrázek 4-5: Pracoviště - Bodové svařování	55
Obrázek 4-6: Pracoviště Bodování - stojanové podpěry bez a s konstrukcí	55
Obrázek 4-7: Plochy při bodování	56
Obrázek 4-8: Stojan hotových výrobků	57
Obrázek 5-1: Technologický postup	57
Obrázek 5-2: Měřicí sada CAPTIV použita při analýze pracoviště.....	58
Obrázek 5-3: Umístění EMG senzorů	59
Obrázek 5-4: Umístění pohybových senzorů	59
Obrázek 5-5: Kalibrace pomocí siloměru	60
Obrázek 5-6: Nastavení parametrů.....	60
Obrázek 5-7: Zobrazení CAPTIV	61
Obrázek 5-8: Polohy při svařování ploch.....	62
Obrázek 5-9: Polohy při svařování ploch.....	62
Obrázek 5-10: Modely v softwaru Autodesk Inventor.....	63
Obrázek 5-11: Formáty pro import do T. Jack.....	63
Obrázek 5-12: Dialogové okno pro import	64
Obrázek 5-13: Importlog	64
Obrázek 5-14: Import a polohování objektů	65
Obrázek 5-15: Ukládání objektů	65
Obrázek 5-16: Objekty v uživatelském prostředí.....	66
Obrázek 5-17: Poloha 1 při svařování v Tecnomatix Jack.....	67
Obrázek 5-18: Poloha 2 při svařování v Tecnomatix Jack.....	67
Obrázek 5-19: Poloha 3 při svařování v Tecnomatix Jack.....	68
Obrázek 5-20: Poloha 4 při svařování v Tecnomatix Jack.....	68
Obrázek 5-21: Poloha 1 při svařování a výstup ze systému CAPTIV	70
Obrázek 5-22: Poloha 2 při svařování a výstup ze systému CAPTIV	71
Obrázek 5-23: Poloha 3 při svařování a výstup ze systému CAPTIV	72
Obrázek 5-24: Poloha 4 při svařování a výstup ze systému CAPTIV	73
Obrázek 5-25: Poloha 1 – hodnocení RULA	74
Obrázek 5-26: Poloha 1 - hodnocení podle české legislativy	75
Obrázek 5-27: Poloha 2 – hodnocení RULA	76

Obrázek 5-28: Poloha 2 - hodnocení podle české legislativy	76
Obrázek 5-29: Poloha 3 – hodnocení RULA	77
Obrázek 5-30: Poloha 3 - hodnocení podle české legislativy	78
Obrázek 5-31: Poloha 4 – hodnocení RULA	78
Obrázek 5-32: Poloha 4 - hodnocení podle české legislativy	79
Obrázek 6-1: Rozměry motorického polohovadla	81
Obrázek 6-2: Motorické polohovadlo	81
Obrázek 6-3: Návrh polohovadla - konstrukce	82
Obrázek 6-4: Návrh polohovadla - oko pro jeřáb, úchyty.....	83
Obrázek 6-5: Návrh polohovadla - změna polohy	83
Obrázek 6-6: Návrh polohovadla s výrobkem	84
Obrázek 6-7: Poloha 1 - nové navržené polohovací zařízení, metoda RULA a NV 361/2007 Sb.	86
Obrázek 6-8: Poloha 2 - nové navržené polohovací zařízení, metoda RULA a NV 361/2007 Sb.	87
Obrázek 6-9: Poloha 3 - nové navržené polohovací zařízení, metoda RULA a NV 361/2007 Sb.	88

Seznam tabulek

Tabulka 1-1: Parametry výšky pracoviště	19
Tabulka 1-2: Hmotností limit pro manipulaci s břemeny	21
Tabulka 2-1: RULA-Skóre A	25
Tabulka 2-2: RULA-Skóre B	25
Tabulka 2-3: RULA-Výsledné skóre	26
Tabulka 6-1: Ekonomické hodnocení	89
Tabulka 6-2: TX. Jack - současný stav (NV 361/2007 Sb.).....	91
Tabulka 6-3: TX. Jack - navržený stav (NV 361/2007 Sb.).....	91
Tabulka 6-4: TX. Jack – současný a navržený stav (RULA).....	92
Tabulka 6-5: Technické hodnocení	92

Úvod

Tržní prostředí bývá v dnešní době přesycené a mnohdy označováno jako turbulentní či chaotické. Každý podnik usiluje o co nejvyšší produktivitu, efektivitu a konkurenceschopnost. Se zvyšujícím se tempem výroby a přechodem na automatizaci se zvyšují i nároky na člověka, ať už mluvíme o psychických nárocích či fyzických. Oblast ergonomie se tak v hojně míře přesouvá do popředí, což v dřívějších dobách nebylo zvykem. Děje se to právě z důvodu rozvoje informačních a komunikačních technologií. Právě tyto technologie tlačí vpřed vývoj výrobků v co nejkratších časech. Důsledkem tlaku mnohdy bývá špatné ergonomické provedení, ať už mluvíme o nevhodném rozvržení pracoviště, použití nevhodných pomůcek či s tím související nevhodné pracovní pohyby. To vše může vézt k přetěžování člověka a k poškození jeho zdraví.

Diplomová práce se zabývá oblastí ergonomie. Cílem kompletní diplomové práce je provést ergonomickou analýzu pracoviště za použití nástrojů, které napomáhají při řešení ergonomických studií. Pro řešení praktické části je nutné se nejprve ponořit do problematiky s tím spojené. Předchází tomu tedy rešerše, které bude věnovaná první část diplomové práce. Zde dojde k vymezení pojmu ergonomie a nadefinování důležitých pojmů s tím spojených. Dále budou názorně popsány jednotlivé metody a nástroje, pomocí kterých jsou prováděny ergonomické analýzy v praktické části. Jedná se o hodnocení podle metody Rapid Upper Limb Assessment (RULA) a hodnocení na základě Nařízení vlády 361/2007 Sb.. Použitými nástroji pro hodnocení ergonomických rizik jsou senzorický francouzský systém CAPTIV, sloužící k hodnocení zatížení člověka v pracovním procesu a k identifikaci příčin s cílem jejich eliminace a Software Tecnomatix Jack, který se využívá pro simulace a modelování lidského těla. V praktické části diplomové práce bude dále představena společnost a pracoviště, které bude předmětem analýzy. Dále dojde k analýze současného stavu pracoviště a jeho zhodnocení pomocí dvou výše zmíněných metod. Výstupem diplomové práce bude následná úprava a návrh vhodného ergonomického pracoviště, které se podrobí hodnocení pomocí dvou metod, jako tomu bylo u analýzy současného stavu.

Úvod do řešení problematiky

Tržní prostředí bývá v současné době dynamické a je mnohdy obtížné dosáhnout úspěchu na takovém trhu. Neustálý rozvoj vědy a technicky staví podniky do nezávidohodné situace. Se zvyšujícím se rozvojem a nátlakem tržního prostředí vznikají velké nároky a požadavky na podniky. Především v průmyslové výrobě jsou výrobci nuceni dodávat zboží v co nejkratší lhůtě, za co nejnižší cenu a v co nejlepší kvalitě. Podniky se tak neustále snaží pružně reagovat na požadavky trhu. Aby mohli dosáhnout požadavků ze strany zákazníka, musí jednotlivé procesy v podniku optimalizovat či racionalizovat. Stále více podniků se snaží aplikovat metody, pomocí kterých dokážou např. zkracovat průběžné doby výroby nebo zkracovat materiálové toky apod. Ve většině případů změny počínají u samotné výroby.

Do popředí se tedy dostávají dva hlavní prvky, které se z velké části podílejí na výrobě. A to člověk a stroj. Stroj je v podstatě zařízení s takřka „nekonečnými“ možnostmi. Kdežto člověk je tvor s omezeným počtem možností, ať už mluvíme o fyzických či psychických možnostech. Se zvyšujícím se tempem výroby a přechodem na automatizaci, se zvyšují nároky i na člověka. Můžeme tedy říct, že se snižují požadavky na fyzický výkon, ale zvyšují se požadavky na psychický a mentální výkon pracovníka. Nejvýrazněji to lze pozorovat v oblasti výroby, montáže či administrativní oblasti. Pracovníci jsou v těchto oblastech víceméně ve statické pracovní pozici. Provádějí monotónní pohyby a pracují vsedě nebo naopak vstoje. Aby byly veškeré úkoly plnohodnotně plněny, je nutné vytvořit pro člověka správné pracovní prostředí a podmínky. A to nejen z prostorového hlediska ale i ergonomického. Na ergonomii pracovního prostředí se dříve v tak hojné míře nebral zřetel. Veškeré produkty se vyráběly v mnohem menším množství a nebyl kladen velký nátlak z tržního prostředí. V současné době však ergonomie v mnoha podnicích masivně přechází do popředí. Proto by každý podnik měl koukat na ergonomii jako na nástroj, který zabezpečuje efektivnější výrobu a vyšší konkurenceschopnost.

Vzrůstajícím se tempem ekonomiky přibývá i mnoho nemocí z povolání. V posledních desetiletích se skladba chorob, které zaměstnance postihují, výrazně změnila. V dřívějších dobách převažovali především plicní onemocnění. V současnosti je nejčastější nemocí syndrom karpálního tunelu. V čele statistik vévodí nemoci z přetěžování končetin. Právě jednostranné zatěžování a zvedání těžkých břemen vede k přetěžování bederní páteře. Graf pod textem znázorňuje strukturu případů ohrožení nemocí z povolání (dále NzP). Jak je možné vyčíst z grafu, největší zastoupení mají nemoci způsobené fyzikálními faktory (jde především o hluk, vibrace a přetěžování dolních končetin). Následují nemoci, které se týkají dýchacích cest a 1,3 % nemocí připadají na nemoci způsobené chemickými látkami. [1]



Obrázek 1: Struktura případů nemocí z povolání [1]

Nejohroženější skupinou jsou dle Státního zdravotního ústavu pracovníci vykonávající monotónní činnost u částečně automatizovaných linek. Jedná se o zaměstnance automobilového průmyslu, potravinářského průmyslu či zpracovatelského průmyslu. V čele s nimi je doplňují zdravotníci. Poslední velkou ohroženou skupinou jsou administrativní pracovníci. U vzrůstající se administrativní práce dochází k přetěžování svalového aparátu horních končetin. Důsledkem je bolest v zápěstí či prstech rukou. Nemusí se však jednat pouze o zatěžování končetin, ale i o psychickou zátěž, riziko hluku, zrakovou zátěž či chemické riziko. Složení a výskyt nemocí z povolání jsou monitorovány v Národním registru nemocí z povolání na Centru pracovního lékařství SZÚ. [1]

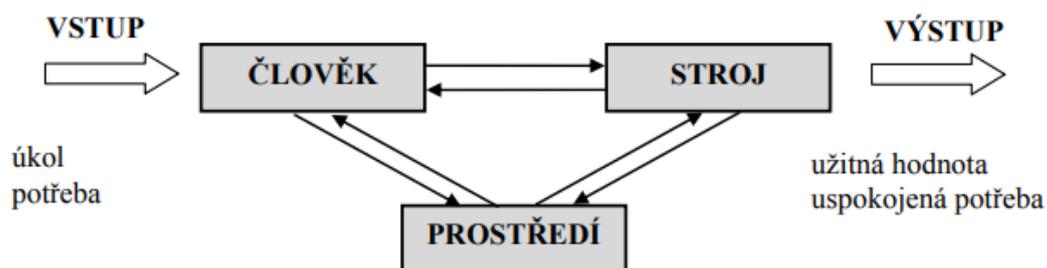
1 Ergonomie

Ačkoli se může zdát, že je pro nás ergonomie novým oborem, jeho první zmínky sahají do raných fází vývoje lidstva. Později v 18. století přišlo mnoho změn s Průmyslovou revolucí, kdy byla zahájena centralizovaná výroba a ergonomie dosáhla jiných rozměrů. Nelze si však představit ergonomie, jak ji známe dnes, ta se zrodila až během 50. let minulého století. Největší přelom v této oblasti byl až po druhé světové válce, kdy se začalo rozvíjet tržní prostředí. Už tehdy zákazník rozhodoval o tom, jaké výrobky se budou prodávat.

Ergonomie má mnoho definic, avšak podstata je u všech stejná. Snahou je přizpůsobení práce možnostem člověka.

Pojem ergonomie (ergonomics) vznikla spojením dvou řeckých slov **ergo-práce**, **nomos-zákon**.

Ergonomie je vědní obor, který se zaměřuje na systém člověk – technika – prostředí. Cílem je optimalizace psychické a fyzické zátěže člověka a neustálý rozvoj osobnosti se snahou maximalizace efektivity činnosti člověka. [2]



Obrázek 1-1: Schéma systému člověk-stroj-prostředí [3]

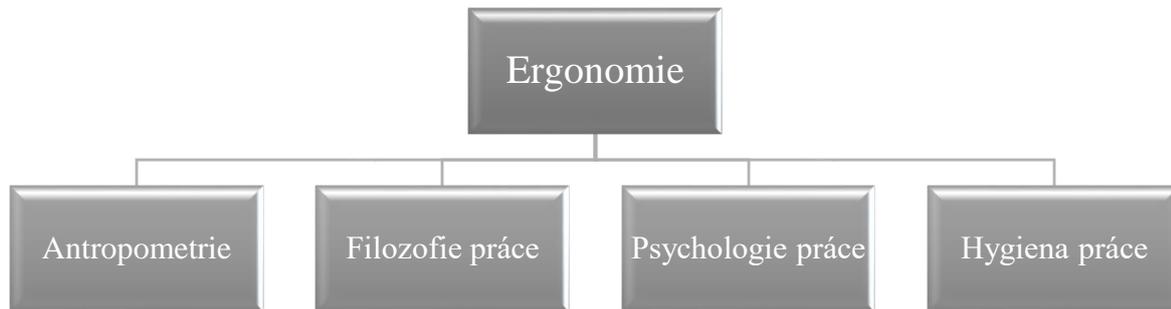
Jiní pohlízejí na ergonomii jako na interdisciplinární obor, který studuje vztah mezi člověkem a pracovním prostředím. Přitom uplatňují nejnovější poznatky biologických, technických a společenských věd. Řeší postavení člověka v pracovním prostředí s důrazem na zdraví, pohodu, bezpečnost a optimální výkonnost. [4]

Mezinárodní ergonomické asociace z roku 2020 definuje ergonomii takto:

„Ergonomie je vědecká disciplína založená na porozumění interakcí člověka a dalších složek 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 systémově orientovaná disciplína, která prakticky pokrývá všechny aspekty lidské činnosti. V rámci holistického přístupu zahrnuje faktory fyzické, kognitivní, sociální, organizační, prostředí a další relevantní faktory.“ [4]

Cílem ergonomie je racionalizace pracovního prostředí, zvyšování efektivnosti a spolehlivosti člověka. Zvyšování bezpečnosti, především ochrana zdraví při práci s cílem, v co největší míře minimalizovat negativní vlivy působící na člověka při pracovní činnosti. A v neposlední řadě navrhování pracovních pomůcek, předmětů a nástrojů tak, aby se v co největší míře přizpůsobovali potřebám lidského těla. [5]

Odstranění či snížení příčin nepřiměřené a nadměrné pracovní zátěže nelze bez znalosti a poznatků o fungování lidského organismu. Proto se ergonomie úzce pojí s těmito disciplínami.



Obrázek 1-2: Obory spjaté s ergonomií [4]

Antropometrie je jedna ze základních disciplín ergonomie. Poskytuje informace, které by měly být respektovány při návrhu pracovního prostředí. Při návrhu se zaměřuje na prostorové uspořádání pracovního místa. Dále stanovuje výšku manipulačních (pracovních) rovin, dosahové vzdálenosti (horních a dolních končetin) či silové limity během manipulace aj. [6]

V případě, že ergonom upravuje pracoviště, které je obsluhováno jedním člověkem, je poměrně snadné navrhnout jednotlivé výšky a dosahy dle hodnot průměrného rozměru lidského těla. Pokud se jedná o pracoviště, které obsluhuje více typů lidí, je potřeba více dat o rozměrech lidského těla. Na základě toho vznikly **antropometrické tabulky**, které přehledně popisují rozměry jednotlivých částí lidského těla. Při navrhování nebo upravování pracoviště se musí brát v potaz váha člověka. Hodnoty jsou důležité např. při navrhování ploch pracovních sedaček nebo při návrhu nových sedaček do aut. V současné době se při návrhu využívá figurín, které slouží k testování a ke sběru dat.

Při úpravě či navrhování pracoviště se v úvodu musí zjistit, pro jaké lidi pracoviště realizujeme. Na základě toho si stanovíme rozměry pro nejmenšího a nejvyššího pracovníka. Tím může být zajištěno, že pracoviště bude vhodně navrženo pro všechny, kteří na něm pracují.

Mezi další obory spjatými s ergonomií patří filozofie práce. Ta navazuje na obecnou soustavu fyziologie člověka a je rozšířena informacemi ve vztahu k pracovní činnosti. Problematika tohoto oboru zahrnuje např. zdatnost člověk, výkonovou tělesnou kapacitu a stanovení limitů. Dále zahrnuje pohlaví, věk, pracovní výkonnost s ohledem věk, pracovní režim, režim odpočinku atd. [6]

Psychologie práce, jak už název napovídá, poskytuje poznatky o psychologické stránce. Jedná se např. o kapacitu operativní a dlouhodobé paměti, o myšlenkových a poznávacích procesech. Dále poskytuje poznatky o vlivu osobnosti na výkonnost, spolehlivost a přesnost. Neřeší pouze výkonnostní otázky, ale i sociální prostředí na pracovišti, motivaci a přizpůsobivost na pracovní zátěž. [6]

Pokud bude brán pojem ergonomie v širším kontextu, lze k těmto disciplínám zařadit i hygienu a bezpečnost práce. Ne vždy však byla ergonomie spjata s těmito obory. První zmínky o ergonomii sahají až do středověku. Postupným vývojem prošla ergonomie mnoha změnami až do podoby, jak ji známe dnes.

Pro správné pochopení pojmů týkajících se ergonomie dojde v následující kapitole k jejich objasnění. Budou definovány pojmy: pracovní systém, pracovní místo, pracovní zařízení, ergonomická kritéria apod.

1.1 Základní pojmy ergonomie

Kapitola se věnuje pojmům spojenými s ergonomií pracoviště. Pracoviště se vyskytuje v pracovním systému, využívá při práci pracovní zařízení a má své pracovní místo. Při hodnocení se posuzuje pomocí kritérií a za pomoci ergonomických kontrolních listů.

Pracovní systém

Pracovní systém můžeme chápat jako systém, který se skládá z osob a pracovního zařízení. Součinností těchto dvou prvků se v rámci pracovního procesu plní pracovní úkol v určitém pracovním prostředí, prostoru a za určitých okolností. [6]

Pracovní zařízení

Do pracovního zařízení začleňujeme veškeré nástroje, stroje, přístroje, dopravní prostředky a další technické vybavení, které se využívá v pracovním systému. [6]

Pracovní místo

Charakterizuje část pracoviště (prostoru), které je přiděleno jedné či více osobám a je vybaveno pracovním zařízením pro plnění pracovního úkolu. Nejedná se pouze o technologická zařízení, nýbrž i o další zařízení např. skříňky pro pracovní nástroje, pracovní sedadlo, manipulační zařízení apod. [6]

Pracovní místo může být: [8]

- trvalé – pracovní místo, na němž pracovník tráví déle než polovinu času pracovní směny
- přechodné – pracovník se zdržuje na pracovním místě kratší dobu než polovinu času pracovní směny
- vedlejší – jedná se o pracovní místa, na kterých jsou vykonávány krátkodobé pracovní úkoly např. přípravné a pomocné práce.

Pracovní prostředí

Je chápáno jako soubor faktorů působících na člověka v pracovním prostoru. Z druhého úhlu pohledu může být pracovní prostředí definováno jako soubor podmínek, za kterých se uskutečňuje pracovní proces. Dotvářet pracovní prostředí může i člověk svoji duševní prací. Shrnutím můžeme říct, že se jedná o soubor fyzikálních, chemických, biologických a společenských faktorů, které působí na osoby v pracovním systému. [8]

Ergonomická kritéria

Soubor posuzovacích hledisek umožňující hodnotit a srovnávat vhodnost a účinnost pracovního systému. Ergonomická kritéria jsou vybírána na základě povahy (typu) pracovního systému. [6]

Ergonomické hodnocení

Porovnávání zjištěných hodnot parametrů pracovního systému s legislativními opatřeními (např. ČSN, EN, ČSN ISO, hygienické předpisy atd.) a ergonomickými zásadami. [6]

Ergonomické kontrolní listy

Jedná se o soubor ergonomických kritérií, které obsahují položky určené pro daný typ pracovního systému. Kritériem může být např. pro hodnocení stacionárních strojů, pracovišť s obrazovkou apod. [6]

Pracoviště, které se optimálně přizpůsobuje potřebám lidí, kteří na něm pracují se označuje jako **ergonomické pracoviště**. Při tvorbě ergonomického pracoviště se zaměřujeme především na bezpečnost práce, pracovní pohodu a ekonomickou účinnost. Cílem je ochrana pracovníků před fyzickým poškozením a zaručení duševního zdraví. Výsledkem je efektivní, bezchybná a přesně vykonaná práce. Jak už bylo zmíněno, během navrhování ergonomického pracoviště jsou brány v potaz fyzické parametry pracovníka např. výška, věk, síla či duševní aspekty. Kromě fyzických parametrů je podstatné i fyzické vybavení. U vybavení řešíme ergonomický design pracovního zařízení a jeho uspořádání po zvážení oblastí uchopení a pohybu. Velký zřetel se bere i na prostředí, ve kterém se provádí pracovní úkol. U prostředí hodnotíme klima, světlo, hluk, elektrické (elektromagnetické pole) vlivy, mechanické (vibrace) vlivy a design interiéru. Posledním klíčovým parametrem je uživatelská přívětivost (hardware a software).

Aby byly pracovní prostory vyhovující, musejí ze zákona splňovat určité parametry, které jsou popsány v následující kapitole.

1.2 Parametry pracoviště

Prvním důležitým kritériem pracovního prostoru je **podlahová plocha** pro jednoho pracovníka. Minimální nezastavěná podlahová plocha při denním osvětlení je 2 m². Bez denního světla s umělým ovzduším se jedná o hodnotu 5 m². [6]

Mezi další kritérium patří světlá **výška pracoviště**. Jedná se o tzv. výšku nad podlahou. Minimální světlá výška se člení dle druhu osvětlení.

Hodnoty výšky na plochu viz. Tabulka 1-1. jsou pro denní osvětlení nižší než pro osvětlení bez denního světla a s umělým ovzduším. [6]

Tabulka 1-1: Parametry výšky pracoviště [6]

Plocha [m ²]	Výška [m]	
	Denní osvětlení	Bez denního osvětlení
< 50	2,5	-
< 100	2,7	3
< 2000	3,5	3,5
nad 2000	3,25	4,5

Také **vzdušný prostor** se uvažuje při návrhu pracovního systému. Člení se podle druhu práce, tzn. zdali pracovník zaujímá polohu vstoje či vsedě. Dále dle zátěže a osvětlení.

- Minimální vzdušný prostor pro jednoho pracovníka při denním osvětlení a práci vsedě je 12 m³, při práci vstoje 15 m³ a při těžké tělesné práci 18 m³.
- Bez denního osvětlení s umělým ovzduším je vzdušný prostor při práci vsedě 20 m³, při práci vstoje 25 m³ a při těžké tělesné práci 30 m³. [6]

U **pracovního prostoru** musejí rozměry odpovídat tělesným rozměrům pracovníka s ohledem na přístup, základní pracovní polohu, únik, pohyby, rozměry a tvary používaných nástrojů a strojů, manipulační zařízení, nábytek a celkové vybavení pracovního prostoru. [6]

U **pracovní (manipulační) roviny** existuje jedno pravidlo. Výška pracovní roviny nad podlahou při práci vstojе a vsedě by měla být přibližně stejná, jako je výška lokte nad podlahou. Při práci vstojе v závislosti na tělesné výšce se jedná o rozpětí 95–120 cm. Při práci vsedě se pohybuje 20–35 cm nad sedadlem. Výška roviny se zvětšuje v případě zvýšeného nároku na zrak o 10–20 cm nad loktem. Výjimku mají i roviny, kde dochází k manipulaci s těžkými břemeni, zde se výška snižuje o 10–20 cm pod loktem. [6]

Mezi další kritéria při návrhu pracovního prostoru patří i **prostor pro dolní končetiny**. Prostor pro dolní končetiny se využívá především u práce vsedě. U pracovníka, který sedí u stolů, musí být dostatečně velký z hlediska jeho výšky, šířky a hloubky, aby umožňoval volný pohyb dolních končetin. Minimální výška je 60 cm nad podlahou, šířka 50 cm a hloubka 50 cm. Optimální hloubka pro muže i ženy je stanovena na 70 cm. [6]

Co se týče **pracovní polohy**, se mezi fyziologicky nejvýhodnější pracovní polohu řadí poloha, u které dochází ke střídání sedu a stoje. Pokud se pracovní činnost provádí např. v předklonu, v podřepu, vkleče jde o nefyziologickou pracovní polohu. Zde je žádoucí zavést střídání s fyziologickou přijatelnou polohou či zavést přestávky. [6]

S vykonáváním pracovního úkolu jsou spjaty i **pracovní pohyby**. Nejvhodnější skladba pracovních pohybů je taková, kde jsou střídavě zatěžovány svalové skupiny horních a dolních končetin, trupu a hlavy s malým podílem statické práce. Dráha pohybů horních končetin by měla probíhat převážně v obloukových drahách. Odpovídá to přirozeným pohybovým stereotypům. Dosahové vzdálenosti spjaté s prací v sedě jsou závislé na frekvenci jednotlivých pohybů, velikosti a hmotnosti předmětu s nímž je manipulováno a na maximálním dosahu ruky do stran a vpřed.

Některé pracovní pohyby se provádí vstojе. Zde se optimální dráha pohybuje v rozmezí výšky zápěstí až do výšky ramen. Při činnostech, kde dochází ke koordinaci obou horních končetin by měly být pohyby rovnoměrně rozloženy mezi obě končetiny. Pohyby, které mají zvýšený požadavek na přesnost, nesmí být náročné na vynaložení větší síly. [6]

Ačkoliv už dochází v hojné míře k automatizaci a tím snižování fyzické zátěže, stále se **manipulace s břemeny** objevuje v mnoha podnicích. Téměř polovina nemocí v průmyslu se přiřazuje k poškození páteře v důsledku manipulace s břemeny. [9]

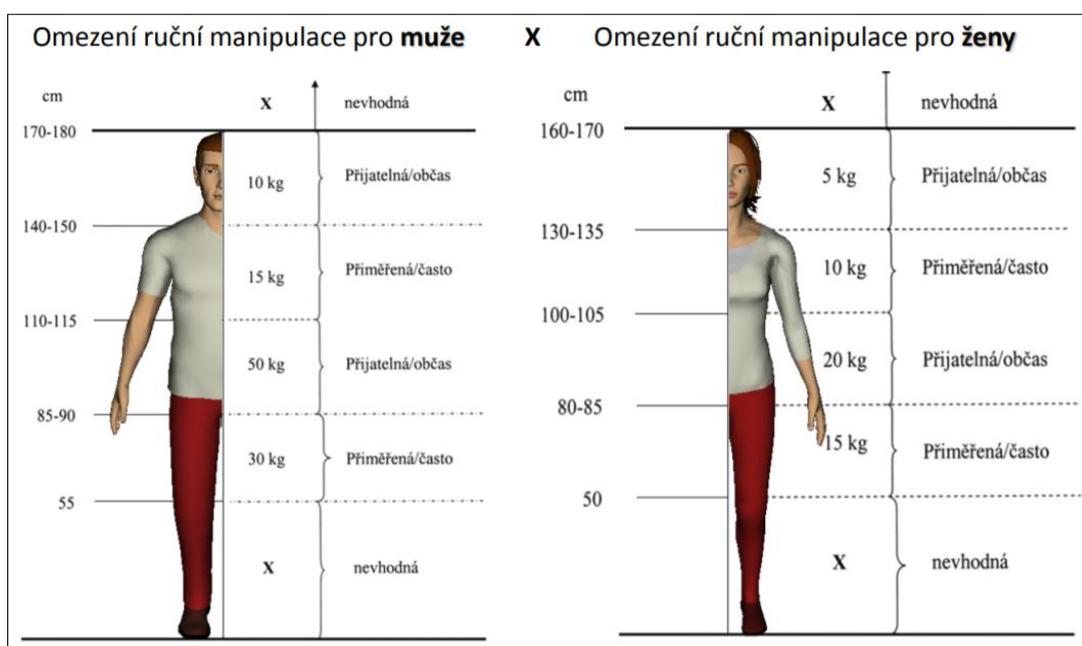
Při stanovení limitů hmotnosti břemen musí být respektovaná řada ergonomických hledisek. Jedná se o subjektivní podmínky, vlastnosti břemene, prostředí (fyzikálně chemické faktory) a podmínky vlastní manipulace. U subjektivních podmínek se bere v potaz pohlaví, věk a zkušenost lidského faktoru. U břemen se uvažuje jeho hmotnost, rozměr, tvar a úchopové možnosti např. rukojeti. Při manipulaci se řeší pracovní poloha, frekvence pohybů a dráha. [9]

Pro manipulaci (zvedání a přenášení) s břemeny je stanoven **hmotností limit**, který lze vidět v Tabulce 1-2. Při manipulaci se musí stanovit optimální manipulační rovinu, která se odvíjí od výšky člověka, který provádí manipulaci a od hmotnosti břemene. Ruční manipulace se liší dle typu pohlaví a její vhodnost lze vidět na Obrázku 1-3.

Tabulka 1-2: Hmotností limit pro manipulaci s břemeny [9]

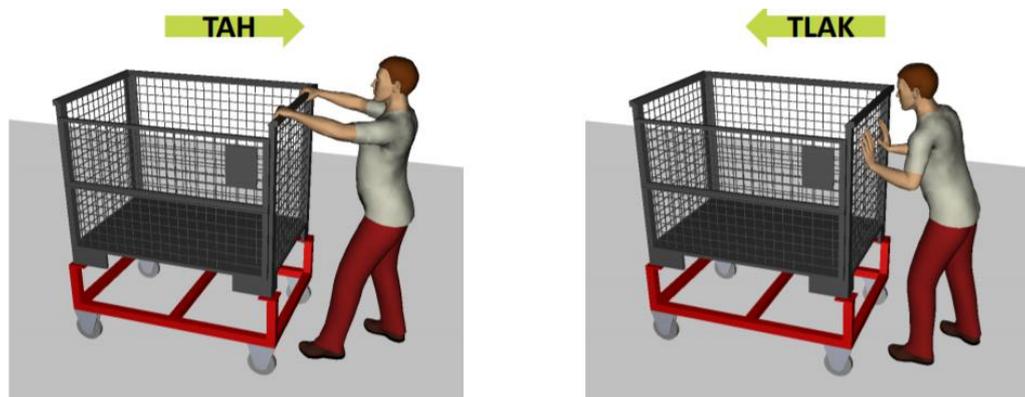
	občasná manipulace	častá manipulace	práce v sedě	kumulativní hmotnost
muži	max. 50 kg	max. 30 kg	max. 5 kg	max. 1000 kg
ženy	max. 20 kg	max. 15 kg	max. 3 kg	max. 6500 kg

- Občasná manipulace – občasné zvedání a přenášení břemene po dobu kratší než 30 min/směnu
- Častá manipulace – časté přenášení a zvedání břemen po dobu delší než 30 min/směnu
- Kumulativní hmotnost – přípustná hmotnost za celou pracovní směnu (8 hodin) [9]



Obrázek 1-3: Manipulační rovina pro břemena [9]

Posledním důležitým parametrem je přípustný limit pro **tlačné a tažné síly** při manipulaci s břemenem pomocí lidského faktoru. Zde se udává přípustná hodnota tlačné síly pro muže max. 310 N a pro ženy 250 N. U tažné síly jsou hodnoty nižší, pro muže je vyhovující max. 380 N a pro ženy 220 N. [9]



Obrázek 1-4: Tažná a tlačná síla [9]

2 Moderní metody v hodnocení ergonomických rizik

Existuje celá škála ergonomických metod, mezi nejznámější patří Rula, Niosh, Checklisty a Dotazníky. Tyto metody slouží k hodnocení ergonomických rizik a zvyšují efektivitu, bezpečnost a pohodu na pracovišti.

Metoda **RULA** se využívá pro hodnocení pracovních poloh. Jedná se tedy o metodu, která se zaměřuje na ergonomickou analýzu horních končetin, trupu a krku. Výstupem analýzy je tzv. skóre, které definuje potřebu provedení změn na pracovišti. Metoda **NIOSH** se naopak zaměřuje na analýzu zvedacích úkonů. Výstupem metody je doporučený hmotnostní limit při vykonávání pracovního úkonu. Nemělo by dojít k překročení limitu, neboť tím dochází k nadměrnému zatěžování lidského těla. Dalšími výše zmíněnými jsou **Checklisty**. Checklist se využívá při orientačním hodnocení pracovního místa, které bylo již navrženo. Během hodnocení kritérií jsou podávány otázky a na základě jejich odpovědí jsou vyhodnocovány oblasti pracovišť potřebné pro optimalizaci. Checklisty se vyplňují pracovníky, kteří provádějí analýzu či výzkum např. průmyslovými inženýry, ergonomy apod. Poslední metodou pro hodnocení ergonomických rizik jsou **Dotazníky**. Jedná se o typ checklistu s detailnějším pohledem na oblast. Dotazníky vyplňují samotní pracovníci, díky tomu se mnohdy odhalují informace, které nemusejí být na první pohled patrné. Mezi nejznámějším dotazníky patří **NORDIC QUESTIONNAIRE**. Mezi poslední metodu pro hodnocení pracoviště se řadí hodnocení podle Nařízení vlády 361/2007 Sb., kterými se stanovují podmínky ochrany zdraví při práci.

Následujících kapitoly jsou věnovány ergonomické metodě RULA a hodnocení pracoviště podle Nařízení vlády 361/2007 Sb.. Pomocí těchto dvou metod budou hodnoceny pracovní polohy v praktické části diplomové práce.

2.1 Metoda Rula

Zkratka RULA vznikla z anglických slov Rapid Upper Limb Assessment v roce 1993. Jedná se o snímkovací metodu učenou pro hodnocení biomechanických a polohových zátěží na celém těle. Na rozdíl od toho, co název napovídá, se kromě horních končetin (paže, předloktí, zápěstí) zohledňuje též i krk, trup a dolní končetiny (nohy). [10] Metoda se využívá zejména pro monotónní a opakující se činnosti (montáž, administrativní činnosti u počítače). Výstupem analýzy je vypočítané skóre, které nám identifikuje úroveň potřeby provedení změn.

V prvním kroku se sledují jednotlivé pohyby v rámci pracovního cyklu a na základě toho jsou vybírány rizikové polohy, které se v dalším kroku hodnotí. Hodnocení probíhá stanovením skóre postoje pro jednotlivé části těla. Body se přiřazují dle specifické tabulky, kterou je možné vidět na obrázku 2-1. Po zápisu a ohodnocení jednotlivých poloh se vypočítá celkové skóre. Výpočet celkového skóre spadá do posledního kroku, kdy se hodnota přiřadí do příslušné kategorie. [14]

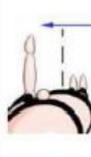
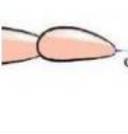
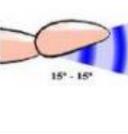
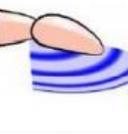
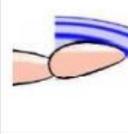
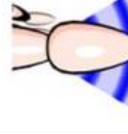
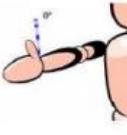
Podle Státního zdravotního ústavu [11] existují 4 kategorie:

- 1. kategorie** – přijatelná práce, jestliže není prováděna po dlouhou dobu
- 2. kategorie** – potřeba dalšího hodnocení, možné požadavky na změny
- 3. kategorie** – brzké požadavky na změny
- 4. kategorie** – okamžité požadavky na změny

Jak už bylo zmíněno, body se přiřazují podle tabulky k jednotlivým pohybům těla. Na obrázku 2-1 lze vidět tabulku, ze které se čerpají hodnoty pohybů.

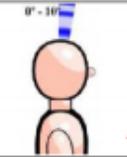
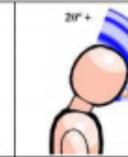
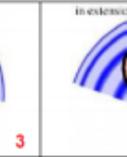
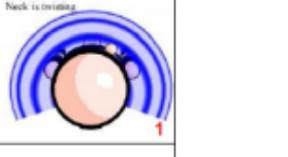
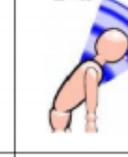
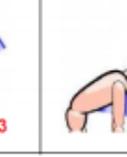
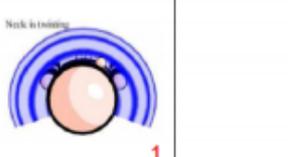
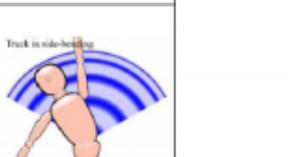
Tabulka je určena pro pravou stranu ruky, pro levou stranu ruky je totožná. Hodnotí se 4 části, nadloktí, předloktí, zápěstí, otočené zápěstí.

U nadloktí se zkoumá úhel, ve kterém se paže nacházejí při pracovním procesu. Pokud se jedná o úhel $\leq 20^\circ$, poloha získává 1 bod. Naopak u úhlu $\geq 90^\circ$ se jedná o hodnotu 4 body. Pokud se nadloktí nachází ve skloněné nebo podepřené poloze, odečítá se 1 bod od bodového hodnocení. Předloktí je taktéž závislé na úhlu, ale liší se v tom, zdali pohyb probíhá přes střednici těla nebo na stranu. U zápěstí se hlavním hodnotícím parametrem stal úhel a možnost vytočení mimo střednici. V závěru hodnocení se stanovuje typ a intenzita zátěže během pracovního procesu.

Pravá strana:						
Pravé nadloktí						<input type="checkbox"/> Zvednuté rameno 1 <input type="checkbox"/> HK v abdukci 1 <input type="checkbox"/> Sklonění nebo podpora váhy paže -1
Pravé předloktí						<input type="checkbox"/> Činnosti přes střednici těla nebo na stranu 1
Pravé zápěstí						<input type="checkbox"/> Zápěstí vytočeno mimo střednici 1
Pravé zápěstí otočené			Síla & Zátěž pro pravou ruku VYBERTE JEDNU Z NABÍZENÝCH MOŽNOSTÍ: <input type="checkbox"/> Žádná překážka • méně než 2 kg přerušované zátěže nebo síly 0 <input type="checkbox"/> 2-10 kg přerušované zátěže nebo síly 1 <input type="checkbox"/> 2-10 kg statická zátěž • 2-10 kg opakující se zátěž nebo síla • 10 kg či více přerušované zátěže nebo síly 2 <input type="checkbox"/> 10 kg statická zátěž • 10 kg opakovaná zátěž nebo síla • náraz nebo prudké zvyšování síly 3			
Užití svalů	<input type="checkbox"/> Poloha převážně statická, např. držení více jak 1 min. nebo opakování více než 4krát za min. 1					

Obrázek 2-1: Hodnocení rizika poškození horních končetin [11]

Stejná bodově hodnotící tabulka je i pro krk, trup a dolní končetiny, kterou lze vidět na obrázku 2-2. U krku se jako hlavní parametr bere úhel předklonu, záklonu, otočení a úklonu. Čím vyšší bodové ohodnocení, tím dochází k většímu zatěžování krku. Pro trup je stejné měřítko hodnocení jako pro krk, tzn. úklon, předklon a otočení. Poslední částí lidského těla jsou dolní končetiny, zde záleží na správném postoji. Zdali jsou chodidla správně podepřena a v rovnoměrné vyvážené pozici či nikoliv. V závěru se nachází tabulka, kde se opět určuje typ a intenzita zatížení.

Krk	 1	 2	 3	 4	
Otočený krk	 0°	 Neck is twisting 1			
Krk nakloněný na stranu	 0°	 Neck is side-bending 1			
Trup	 0°	 0° - 20°	 20° - 60°	 60°+	
Trup otočený	 0°	 Neck is twisting 1			
Trup nakloněn na stranu	 0°	 Trunk is side-bending 1			
Dolní končetiny	 1	DK a chodidla jsou dobře podepřena a v rovnoměrně vyvážené poloze.		 2	DK a chodidla NEJSOU rovnoměrně vyvážené a podepřené.
Sila & Zátěž pro krk, trup a dolní končetiny	VYBERTE JEDNU Z NABÍZENÝCH MOŽNOSTÍ: <input type="checkbox"/> Žádná překážka + méně než 2 kg přerušované zátěže nebo síly 0 <input type="checkbox"/> 2-10 kg přerušované zátěže nebo síly 1 <input type="checkbox"/> 2-10 kg statická zátěž + 2-10 kg opakující se zátěž nebo síla + 10 kg čí více přerušované zátěže nebo síly 2 <input type="checkbox"/> 10 kg statická zátěž + 10 kg opakovaná zátěž nebo síla + náraz nebo prudké zvyšování síly 3				
Užití svalů	<input type="checkbox"/> Poloha převážně statická, např. držení více jak 1 min. nebo opakování více než 4krát za min. 1				

Obrázek 2-2: Hodnocení rizika poškození krku, trupu a dolních končetin [11]

Na základě bodů stanovených v předešlém kroku hledáme maticovým způsobem konkrétní výsledek polohy ruky. [12]

Z Tabulky 2-1 se stanoví Skóre A, ke kterému se dále přičítá svalové, silové a zátěžové skóre. Výsledné skóre je v první části **Skóre C**. [12]

Tabulka 2-1: RULA-Skóre A [12]

		zápěstí							
		1		2		3		4	
		základní pozice	stočení	základní pozice	stočení	základní pozice	stočení	základní pozice	stočení
paže	předloktí	1	2	1	2	1	2	1	2
1	1	1	2	2	2	2	3	3	3
	2	2	2	2	2	3	3	3	3
	3	2	3	3	3	3	3	4	4
2	1	2	3	3	3	3	4	4	4
	2	3	3	3	3	3	4	4	4
	3	3	4	4	4	4	4	5	5
3	1	3	3	4	4	4	4	5	5
	2	3	4	4	4	4	4	5	5
	3	4	4	4	4	4	5	5	5
4	1	4	4	4	4	4	5	5	5
	2	4	4	4	4	4	5	5	5
	3	4	4	4	5	5	5	6	6
5	1	5	5	5	5	5	6	6	7
	2	5	6	6	6	6	6	7	7
	3	6	6	6	7	7	7	7	8
6	1	7	7	7	7	7	8	8	9
	2	8	8	8	8	8	9	9	9
	3	9	9	9	9	9	9	9	9

Stejný postup provádíme i u bodového ohodnocení krku, trupu a dolních končetin. Výsledkem je tzv. Skóre B, ke kterému se přičítá svalové, silové a zátěžové skóre. Sečtením jednotlivých skóre, dostáváme výsledné **Skóre D**. [12]

Tabulka 2-2: RULA-Skóre B [12]

		trup											
		1		2		3		4		5		6	
		nohy		nohy		nohy		nohy		nohy		nohy	
krk	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	
1	1	3	2	3	3	4	5	5	6	6	7	7	
2	2	3	2	3	4	5	5	5	6	7	7	7	
3	3	3	3	4	4	5	5	6	6	7	7	7	
4	5	5	5	6	6	7	7	7	7	7	8	8	
5	7	7	7	7	7	8	8	8	8	8	8	8	
6	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	9	9	

Pomocí poslední tabulky nacházíme výsledné skóre, které se stanoví sečtením předešlých dvou skóre. **Výsledné skóre = Skóre C + Skóre D.**

Tabulka 2-3: RULA-Výsledné skóre [12]

celkové skóre									
	Skóre D								
Skóre C	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	2	3	3	4	5	5	5	5
2	2	2	3	4	4	5	5	5	5
3	3	3	3	4	4	5	6	6	6
4	3	3	3	4	5	6	6	6	6
5	4	4	4	5	6	7	7	7	7
6	4	4	5	6	6	7	7	7	7
7	5	5	6	6	7	7	7	7	7
8	5	5	6	7	7	7	7	7	7
9	5	5	6	7	7	7	7	7	7

Tabulka obsahuje jak ve vodorovném, tak i ve svislém sloupci maximální hodnoty 9. Vyšší hodnoty skóre C i D se nepředpokládají. V případě, že by se vyskytla hodnota vyšší než 9, pracovní poloha se automaticky řadí do 4. kategorie.

Po stanovení celkového skóre dojde k začlenění do kategorie: [11]

1. kategorie = skóre 1-2

– Jedná se o přijatelnou práci, není potřeba žádných změn

2. kategorie = skóre 3-4

– Částečně riziková práce, možné požadavky na změny

3. kategorie = skóre 5-6

– Jedná se o rizikovou práci, změny jsou žádoucí

4. kategorie = skóre 7

– Extrémně riziková práce, okamžité požadavky na změny

2.2 Hodnocení poloh podle Nařízení vlády 361/2007 Sb.

Jedná se o ergonomickou analýzu podle Nařízení vlády č. 361/2007 Sb., kterými se stanovují podmínky ochrany zdraví při práci. Na základě stanovených limitů, které jsou uvedeny níže, se následně zařadí pracovní polohy a pohyby do jedné ze tří skupin. Cílem je odstranění nepřijatelných poloh.

Nařízení vlády rozděluje pracovní polohy a pohyby do třech skupin:

- Přijatelné – zanedbatelné zdravotní riziko pro všechny zdravé osoby, není nutno žádných úprav.
- Podmíněně přijatelné – zvýšené zdravotní riziko, nutnost snížení rizika (úpravy, opatření) pro celou skupinu pracovníků nebo jen část.
- Nepřijatelné – vysoké zdravotní riziko pro všechny skupiny pracovníků, nutnost odstranění rizika (změna pracovního prostoru, přípravky apod.) [13]

Pro jednotlivé skupiny se stanovuje tzv. hygienický limit, který určuje dobu trvání jednotlivých poloh za směnu a v cyklu. Pokud se např. jedná o nepříjemnou polohu, která se vykonává ve vyhovujícím intervalu za směnu, není nutné odstraňovat tyto polohy (jsou prováděny např. jen 1x za směnu po dobu 5 minut). Pokud jsou však hodnoty mimo přípustný interval, musí být nepříjemná poloha odstraněna. [13]

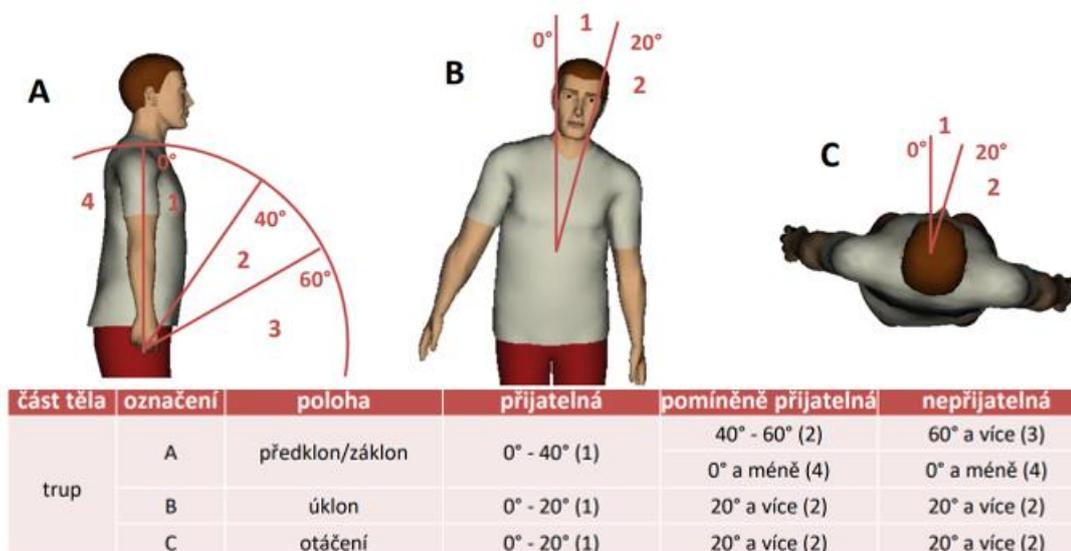
Hygienický limit pro podmíněně přijatelné a nepřijatelné pracovní polohy:

- **Podmíněně přijatelná pracovní poloha**
Hygienický limit v podmíněně přijatelné pracovní poloze je stanoven na 160 minut při uvažování 8hodinové směny.
Doba trvání jednotlivých podmíněně přijatelných pracovních poloh nesmí překročit 1–8 minut. Doba závisí na typu pracovní polohy.
- **Nepřijatelná pracovní poloha**
Hygienický limit pro nepřijatelné pracovní polohy je stanoven na 30 minut při uvažování 8hodinové směny.
Doba trvání jednotlivých nepřijatelných pracovních poloh nesmí překročit 1–8 minut. Stejně jako u podmíněně přijatelných pracovních poloh doba závisí na typu pracovní polohy. [13]

Práce v obou případech musí být přerušena bezpečnostními přestávkami v délce 5 až 10 minut po 2 hodinách. Pokud nelze splnit tuto podmínku, musí být zajištěna rotace pracovníků na pracovištích. [13]

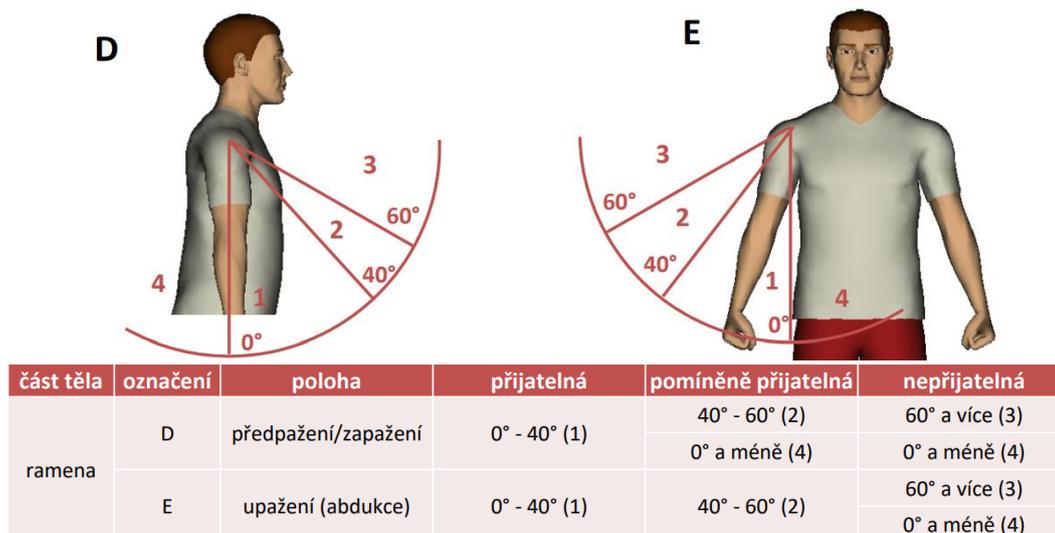
Limity pro hodnocení pracovních poloh podle NV 361/2007 Sb.:

- Trup – trupu náleží tři polohy (předklon/záklon, úklon, otočení). Přijatelnost polohy se hodnotí podle stupňů, které specifikují, zdali jde o přijatelnou, podmíněně přijatelnou a nepřijatelnou pracovní polohu.



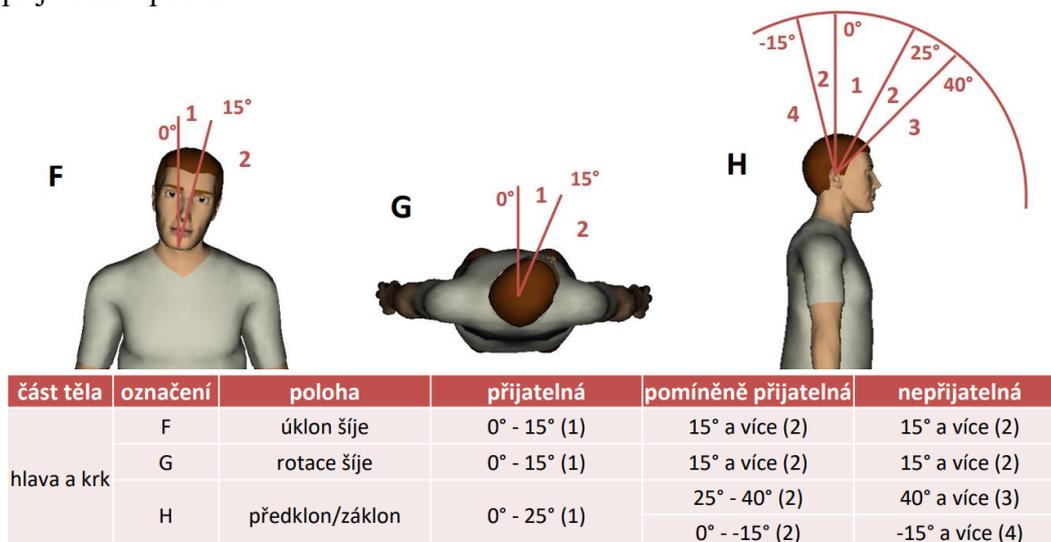
Obrázek 2-3: Limity pro hodnocení poloh-trup [13]

- Ramena – u ramen se hodnotí poloha při předpažení/zapažení a upažení (upažení se označuje též abdukce). Na základě míry upažení nebo předpažení se následně pozice ramene začlení opět do třech základních skupin.



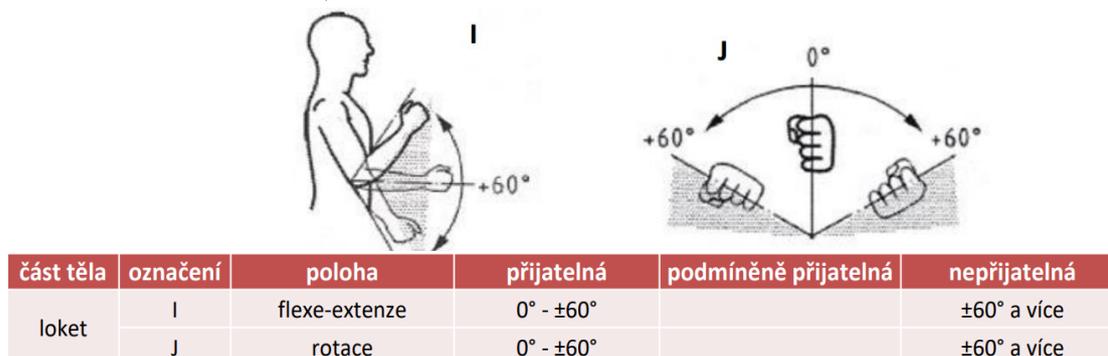
Obrázek 2-4: Limity pro hodnocení poloh-ramena [13]

- Hlava, krk – u hlavy a krku se bere v úvahu úklon a rotace šíje a předklon/záklon. Pro přijatelnou polohu se úklon musí pohybovat od 0°– 15°, u podmíněně přijatelné polohy od 15° a více, nepřijatelné polohy 15° a více. Rozdíl mezi podmíněně přijatelnou a nepřijatelnou polohou závisí na četnosti. Při četnosti (<2/min) lze uplatnit podmíněně přijatelnou polohu.



Obrázek 2-5: Limity pro hodnocení poloh-hlava a krk [13]

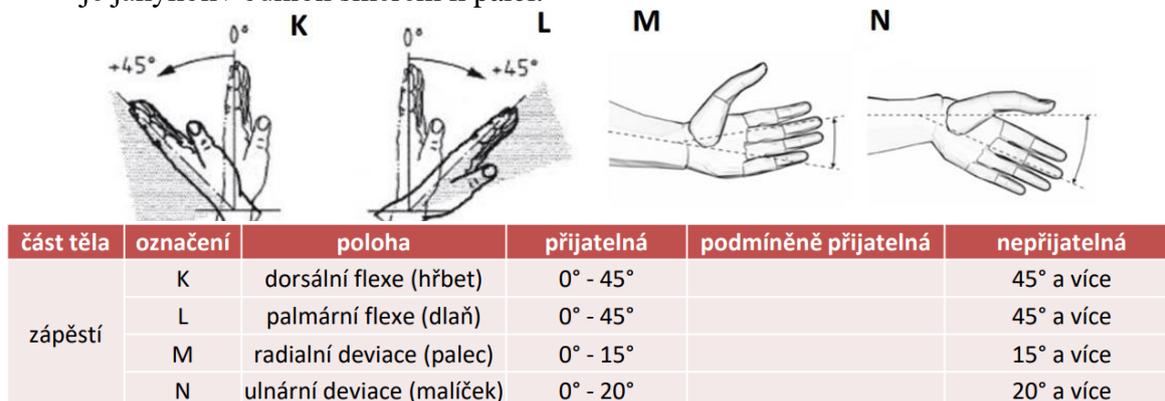
- Loket – u loktu se sleduje tzv. flexe/extenze a rotace. Flexe = ohnutí (zmenšení úhlu mezi dvěma částmi těla).



Obrázek 2-6: Limity pro hodnocení poloh-loket [13]

Extenze = natažení (zvětšení úhlu mezi dvěma částmi těla). Zde už jsou pouze dvě oblasti zařazení polohy, a to přijatelná poloha či nepřijatelná poloha, změna z jedné skupiny do druhé je při 60°.

- Zápěstí – u zápěstí se hodnotí čtyři polohy (dorsální flexe, palmární flexe, radiální deviace, ulnární deviace). Pojem flexe se rozumí ohnutí zápěstí, úhel se měří od roviny středu zápěstí k ohnutí. Ulnární deviace je jakýkoliv odklon od palce. Radiální deviace je jakýkoliv odklon směrem k palci.



Obrázek 2-7: Limity pro hodnocení poloh-zápěstí [13]

Aby mohlo dojít k hodnocení pomocí výše zmíněných metod, musí být současný stav změřen nebo zkreslen pomocí nástrojů.

3 Nástroje pro hodnocení ergonomických rizik

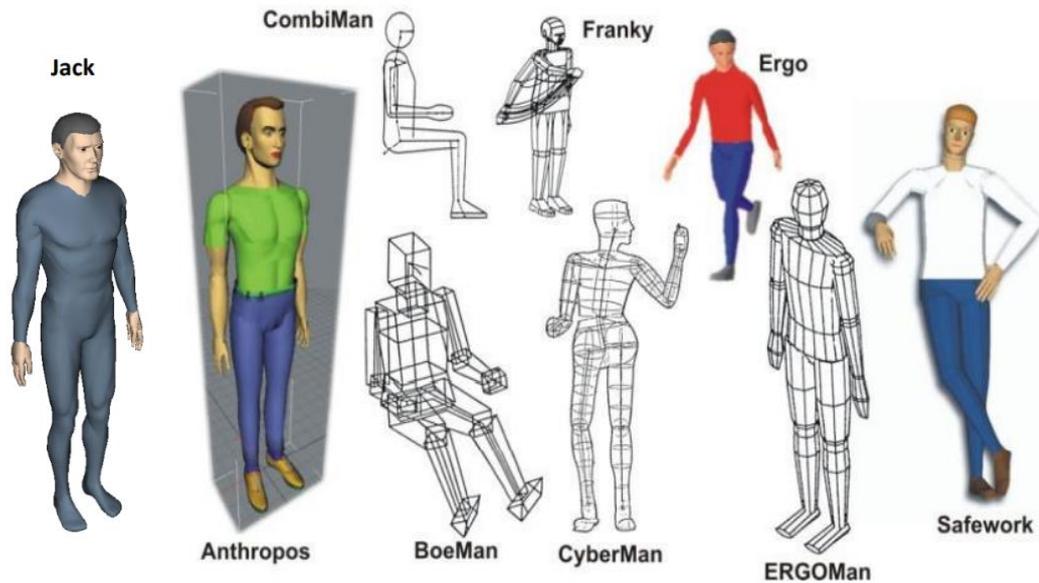
Vývoj informačních technologií je v současné době dynamický, totéž platí i pro softwarové vybavení. U softwarových nástrojů podporující ergonomii se se změnami nesetkáváme v tak hojně míře, ale aktualizace se i v tomto případě dostávají několikrát do roka. Existuje nespočet firem, které nabízejí komplexní softwarové nástroje pro ergonomické studie. Mezi dvě nejznámější však patří francouzská společnost Dassault Systèmes a německá společnost Siemens. Skupina uzavírá německá společnost Human Solutions. Produktem Dassault Systèmes je Delmia s modulem V5 Human. Společnost Siemens nabízí produkt Tecnomatix Jack s modulem Jack. Human Solutions přichází s produktem Ramsis se zaměřením na letadla, průmyslová vozidla, automotive či pohotovostní vozidla. Softwary nachází uplatnění nejen v automobilovém a leteckém průmyslu, ale i v podnicích zaměřených na výrobu různých komponent.

V diplomové práci budou použity dva softwarové nástroje pro hodnocení ergonomických rizik. Jedná se o výše zmíněný nástroj Tecnomatix Jack a poměrně nový francouzský senzorický systém Captiv. V obou případech se hodnocení ergonomie provádí pomocí digitálních modelů člověka, kterým se věnuje následující kapitola.

3.1 Digitální modely člověka

Pod pojmem digitální model člověka si lze představit trojrozměrná modelová vyobrazení člověka v reálném světě. První pokusy o modely se objevily v 50 letech. Jednalo se o digitalizaci dvojrozměrné tělesné šablony postavy. Právě tyto náznaky napomohly k rozvoji digitálního modelu člověka, na kterém se podílela řada výzkumných a univerzitních skupin. Mnoho modelů zaniklo, některé však byly sloučeny nebo integrovány do jiných systémů. [14]

Mezi historické modely patří např. Anthropos, CombiMan, ErgoMAX, BoeMan, CombiMan, Franky, Safework, CyberMan a Ergo. Modely si lze prohlédnout na obrázku pod textem. [14]



Obrázek 3-1: Digitální modely člověka [14]

Návrhy začínaly od sestavy mnohoúhelníků, která měla vyobrazit člověka, až po modelování pomocí několika horizontálních vrstev a velkého množství kuliček. Další vývoj modelů se odvíjel od požadavků, které byly kladeny z průmyslové praxe. Později byly vývojové trendy určovány v období, kdy se prováděla studie pro letadla nebo byly požadavky na rapidní snížení nákladů. Právě modely z těchto studií byly rozšířeny pro větší oblast použití. Od roku 1980 se vyvíjely vlastnosti modelů člověka, to vedlo k rozmanitosti a zvyšování funkcionality. Následkem toho vzrostly náklady na nové vývoje a došlo ke snižování počtu modelů. Kolem roku 1990 se mnoho modelů sloučilo a došlo k ustálení trhu. [14]

Pomocí digitálního modelu člověka se v softwaru nasimulují situace v podnikové praxi a na základě toho se provedou ergonomické analýzy např. analýza manipulace, silová analýza, analýza zatížení, dosahová analýza, zorná analýza, analýza pracovního postoje, analýza komfortu, časová analýza, biomechanická analýza. Pro účely zpracování diplomové práce bude v případě softwaru Tecnomatix Jack a systému Captiv využíváno digitálních modelů člověka. Captiv umožňuje znázornění digitálního modelu člověka v programu v reálném čase. V Tecnomatix Jack se vloží digitální model člověka do prostředí, které si uživatel vytvoří. Oba softwarové nástroje pro hodnocení ergonomických rizik, tj. Tecnomatix Jack a Captiv, budou blíže specifikovány v následujících dvou kapitolách.

3.2 CAPTIV

Jedná se o senzorický francouzský systém CAPTIV sloužící k hodnocení zatížení člověka v pracovním procesu a k identifikaci příčin s cílem jejich eliminace. Na základě toho lze zlepšovat pracovní podmínky, snižovat chybovost, zvyšovat koncentraci a bezpečnost. Software umožňuje nahrávání činnosti pracovníka v procesu se současnou synchronizací s digitálním modelem na videu pomocí senzorů, viz. Obrázek 3-2. Data získaná ze senzorů, která jsou umístěna na těle pracovníka slouží jako vstupy pro analýzy. Systém ze získaných dat ze senzorů poskytuje vyhodnocení i v grafické podobě.

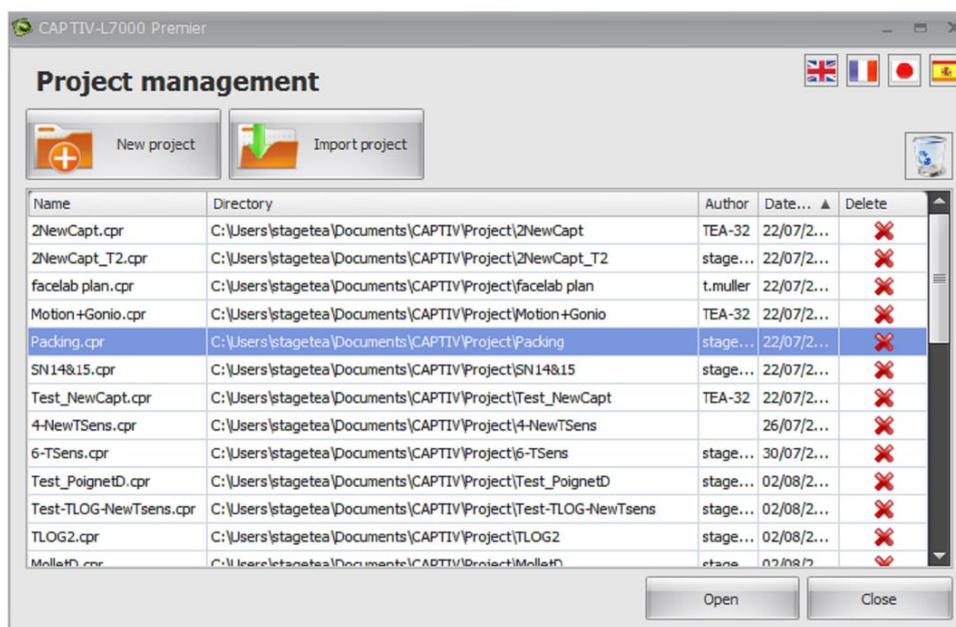


Obrázek 3-2: Biomechanický systém CAPTIV [15]

Výsledky jsou synchronizované, lze sledovat změny u pozorovaných charakteristik. Výstupem ze systému jsou reporty na základě, kterých můžeme získat potřebné informace o zkoumaných ukazatelích u jednotlivých pracovních činnostech.

3.2.1 Uživatelské prostředí

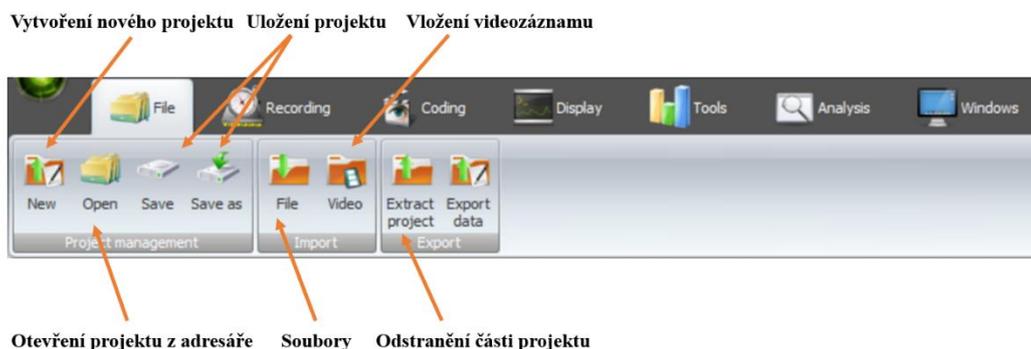
Po spuštění softwaru se zobrazí okno Project management, které obsahuje seznam nahraných projektů a možnost vytvoření nového projektu nebo nahrání projektu. Při vytvoření nového projektu musí být zadány potřebné informace: název projektu, popis, autor projektu a adresář pro uložení. Nahrání projektu probíhá pomocí tlačítka Import a následného vybrání projektu v adresáři. Projekty ze seznamu lze otevřít i odebrat. Dále se zde nachází i možnost vybrat si jeden ze čtyř předdefinovaných jazyků. Poslední ikonkou je ikona odpadkového koše, pomocí které lze po odstranění projektu, jednotlivé projekty obnovit nebo definitivně odstranit. Odstraněné projekty jsou smazány ze softwaru, nikoli z počítače, lze je tedy opětovně nahrát. [16]



Obrázek 3-3: Uživatelské prostředí CAPTIV [16]

- **Záložka File**

Pomocí záložky File lze vytvářet a ukládat nové projekty, otevírat projekty či odstraňovat části projektů.

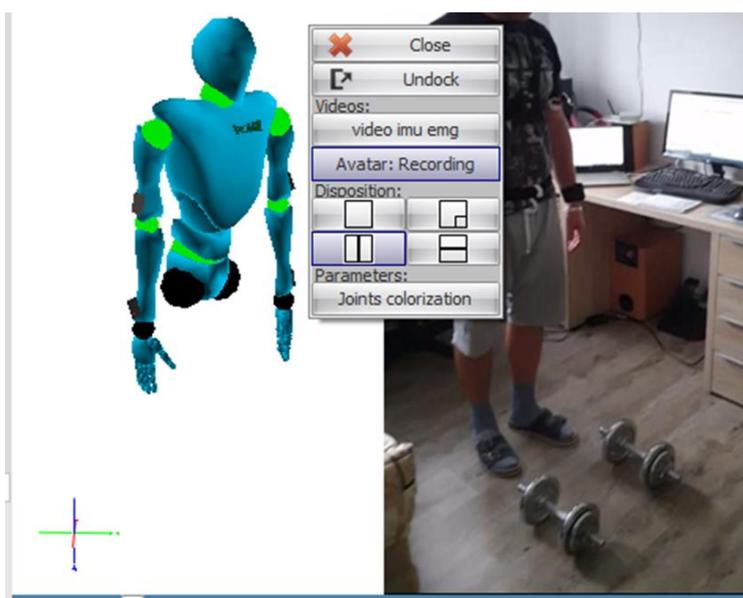


Obrázek 3-4: Uživatelské prostředí - File

Ikonka Video slouží k vložení pořízeného videozáznamu do projektu. Je zde umožněn i výběr časového rozhraní (začátek a konec videa) pro vložení, možnost úpravy (rotace a oříznutí) videa.

Po ukončení nahrávání videozáznamu následuje synchronizace. Synchronizace probíhá tak, že se v datech vytvoří marker. K němu se pak následně hledá přesný okamžik ve videu. Momenty lze skládat po jednotlivých snímcích. Po přiřazení správného okamžiku ve videu a markeru se potvrdí přiřazení. Okamžik lze i odstranit. Následně se při použití tlačítka Synchronize synchronizace uskuteční. Po synchronizaci se video může zobrazit společně s digitálním modelem člověka (avatarem).

Uživatelské prostředí umožňuje výběr z několika variant rozdělení obrazovky. Pomocí dialogového okna a ikonky Joints colorization je možné nadefinovat úhlové rozsahy u avatara. Na avatarovi se během videa vybarvují určité části těla dle zatížení. Jedná se o barvy (červená, oranžová, zelená). Každá z barev definuje, v jakých oblastech se jednotlivé části těla nacházejí. [16]

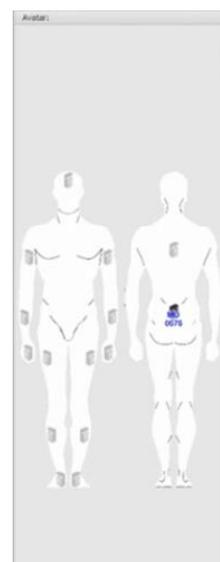


Obrázek 3-5: Zobrazení videa s digitálním modelem člověka [16]

- **Záložka Recording**

Na hlavním panelu v záložce Recording a podzáložce T-Receiver se zobrazují všechny aktivní senzory. Zapisuje se i poloha jednotlivých pohybových senzorů na těle sledované osoby a probíhá zde i inicializační test pro kalibraci popsany v kapitole 3.2.2.1.

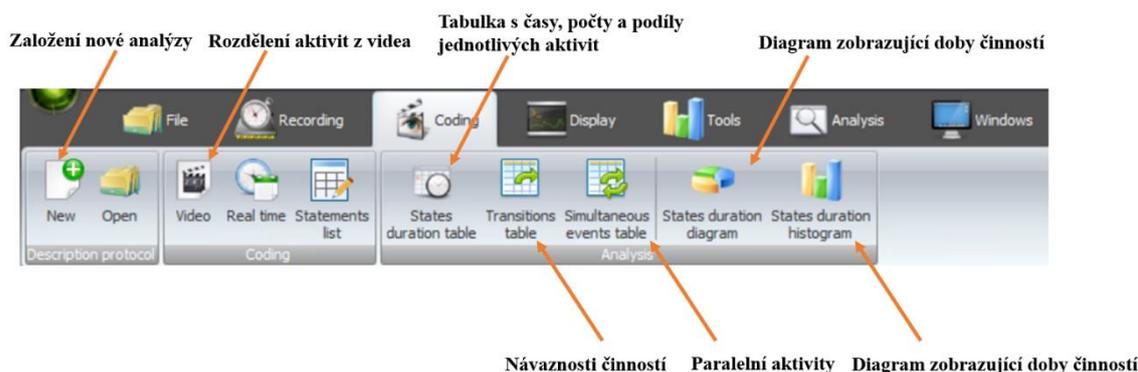
Možnost zaznamenání polohy EMG senzorů na rozdíl od pohybových senzorů není možná. Úhlové rozsahy jsou k nastavení opět pomocí tlačítka Joint Colorization.



Obrázek 3-6: Zobrazení aktivních pohybových senzorů a inicializační test [16]

- **Záložka Coding**

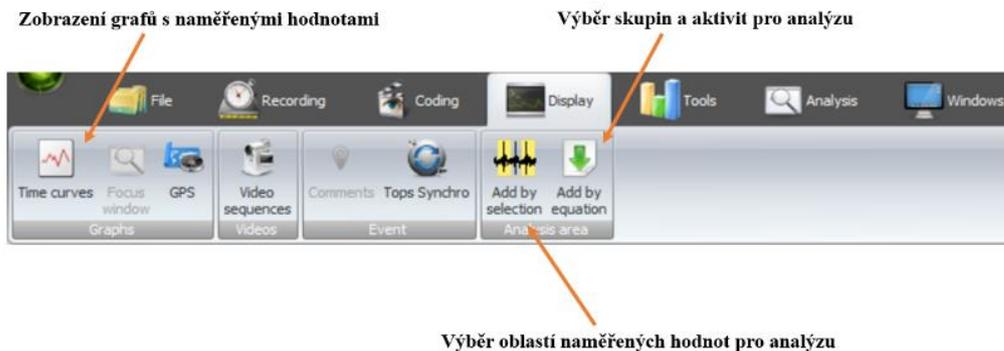
V záložce Coding se nacházejí tři oblasti Description protocol, Coding a Analysis. Pomocí ikony New se vytváří nové analýzy, kde se nadefinují skupiny a k nim jednotlivé aktivity (např. pravá ruka – flexe, abdukce). Ikona video slouží k rozdělení jednotlivých aktivit do oblastí z videozáznamu. Počátek a konec hledané aktivity provádíme za pomoci vizualizace z videa. States duration table je určen k přehledu časů, počtů a podílů jednotlivých činností. Data lze využít pro další analýzy např. v Excelu nebo pro export do formátu PDF. Návaznost činností je možné najít pod ikonou Transition table. Jako v předešlém případě lze data dále ukládat a zpracovávat. Vedle ikony se nachází možnost zobrazení grafu pro dobu trvání jednotlivých činností. Pomocí poslední ikony se zobrazuje histogram aktivit, opět dle doby trvání činností. I zde je možný export dat. [16]



Obrázek 3-7: Uživatelské prostředí - Coding

- **Záložka Display**

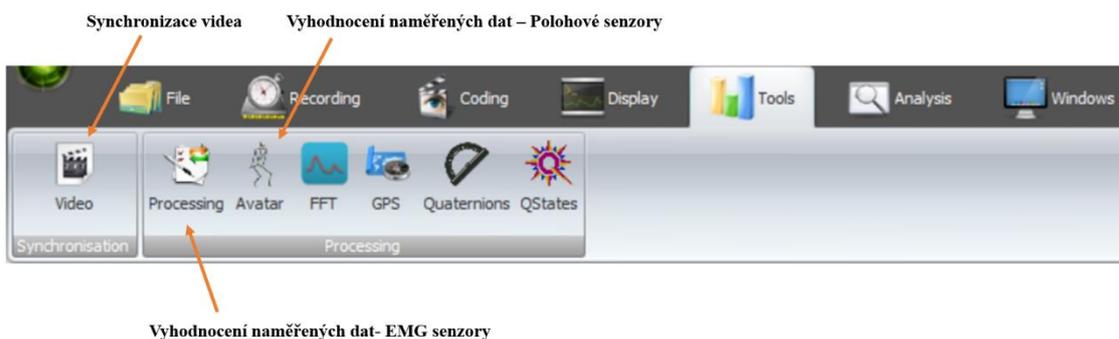
Zobrazení grafů s naměřenými hodnotami lze zobrazit přes ikonu Time curves. Add by selection slouží k manuálnímu výběru oblastí naměřených hodnot pro analýzu. Seznam vybraných zón je zobrazen v pravé části okna (viz. Obrázek pod textem – zelený obrazec). V případě EMG měření se nadefinuje nejprve zóna maximální síly Fmax (Fmax/MVC zone) a zóny měřené aktivity (Working zone). [16]



Obrázek 3-8: Uživatelské prostředí - Display

- **Záložka Tools**

Záložka slouží především ke zpracování naměřených dat ze senzorů. Pro vyhodnocení EMG senzorů se používá ikona Processing. Pro výsledek v jednotkách μV (mikrovolt) se používá filtr RMS. Pokud je cílem výsledek v procentech přepočítaných k $F_{max.}$, používá se MVC filtr. Nejprve použijeme měření s RMS filtrem, následně jako srovnávací základ vybereme zónu $F_{max.}$ a tím se vygeneruje graf s přepočítanými hodnotami. Jedná se o normalizované měření, se kterým se může dále pracovat. [16]

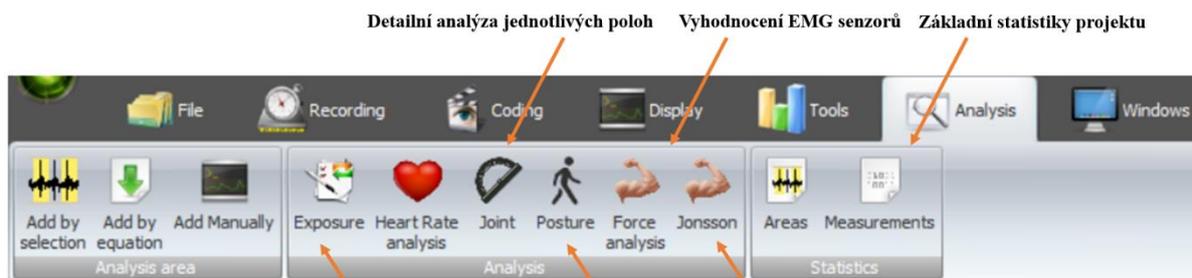


Obrázek 3-9: Uživatelské prostředí - Tools

Ikona Avatar je potřebná v případě zpracování naměřených dat z polohových senzorů. Naměřená data jsou získána ze souřadnicového systému (X,Y,Z), a proto se musí převést na stupně ($^{\circ}$). Avatar umožňuje i zobrazení rozložení jednotlivých senzorů na těle. Pomocí výběru je možné nadefinovat tělesné proporce sledované osoby.

- **Záložka Analysis**

Poslední záložkou je záložka určená pro analýzy poloh a statistiky.



Obrázek 3-10: Uživatelské prostředí - Analysis

Pomocí ikony Measurements se zobrazují základní statistiky např. maximální hodnota, minimální hodnota, směrodatná odchylka. Jednotky se odvíjí od typu senzoru, u EMG senzorů se jedná o μV (mikrovolty) u EMG senzorů o stupně. Celková analýza poloh nebo skupin se nachází pod ikonou Posture. Po označení bodů na těle (kloubů) se mohou změnit úhlového rozsahy. Pod stejnou ikonou lze najít i grafický výstup jednotlivých kloubů v podobě koláčového grafu. Posledním možným výstupem celkové analýzy je číselný výstup. Pohyby v jednotlivých kloubech jsou vyhodnoceny v procentech nebo v časových jednotkách. Detailní analýza jednotlivých kloubů související s polohovou analýzou lze znázornit pomocí ikony Join. [16]

Hraniční hodnoty pro jednotlivé klouby se nastavují pomocí tlačítka Exposure. Zde lze i zobrazit hodnoty, které zvolenou hraniční hodnotu překročily. Tlačítko Force analysis slouží pro vyhodnocení EMG měření, které se zobrazuje v procentech maximální síly. I zde se nastavuje hodnota statického a dynamického zatížení. [16]

3.2.2 Základní měřicí sada

Kapitola popisuje parametry a využitelnost jednotlivých komponent měřicí sady. Jedná se zejména o komponenty, které budou využity v praktické části diplomové práce. Obsah měřicí sady si člověk může sám sestavit z mnoha různých senzorů. Měřicí sada se skládá z bezdrátově propojených senzorů, přijímače a záznamníku naměřených hodnot. Sensory se na tělo pracovníka připevňují pomocí popruhů s úchyty, které zajišťují správnou polohu senzoru. Přijímač umožňuje sběr dat v reálném čase. Všechny komponenty se nacházejí v pevném přenosném pouzdře, který disponuje výstupem, pomocí kterého lze celou sadu dobíjet.



Obrázek 3-11: CAPTIV - měřicí sada [16]

Pohybový senzor – T-Sens Motion

Pohybové bezdrátové senzory (IMU) jsou použity v praktické části diplomové práce, kde jimi budou měřeny úhly pohybů. Během měření se všechny pohyby synchronizují a zobrazují na digitálním modelu člověka. Sensory se díky bezdrátovému připojení a fixačnímu systému umísťují na tělo člověka. Úhel pohybu se měří vždy v páru dvou senzorů, které jsou umístěny na dvou pohyblivých částech těla spojených kloubem. Doba záznamu na baterii se pohybuje okolo 4 hodin a doba dobíjení 3 hodiny. V jednom měření lze použít 15 senzorů rozmístěných po těle.



Obrázek 3-12: Pohybový senzor - T-Sens Motion [17]

Emoční senzor – T-Sens EMG

Jedná se o senzory na měření elektromyografie. EMG senzory se na rozdíl od pohybových senzorů vyskytují v několika variantách. Jedná se např. o senzory měřící lokální svalovou zátěž, srdeční činnost, teplotu kůže člověka, galvanickou vodivost kůže či dýchání.

Senzory jsou vybaveny elektrodami, které se umísťují na sledovaný sval a nacházejí se v přímém kontaktu s pokožkou osoby. Červené elektrody se umísťují podél vlákna, černá elektroda je umístěna mezi červené. Před použitím je vhodné pokožku očistit a zajistit senzor obalením. Doba dobíjení se pohybuje stejně jako u pohybových senzorů okolo 3 hodin. Doba záznamu na baterii je stanovena na 8 hodin.

Pro účely diplomové práce budou použity senzory měřící svalovou zátěž, které lze vidět na obrázku pod textem. Senzory měřící lokální svalovou zátěž v mikrovoltech [μV] se umísťují na svaly předloktí (extensor digitorum, flexor carpi radialis).



Obrázek 3-13: Emoční senzor - T-Sens EMG [17]

3.2.3 Postup měření

Měření začíná kalibrací senzorů, po ní následuje umístění senzorů na pracovníka a následný proces měření. Závěrem podkapitoly jsou popsány možné výstupy ze softwaru.

3.2.3.1 Kalibrace senzorů

Před každým měřením se nejprve senzory zkalibrují. Kalibrace probíhá tak, že se všechny senzory položí na rovnou plochu do vzdálenosti cca 10 cm.



Obrázek 3-14: Kalibrace senzorů před měřením [16]

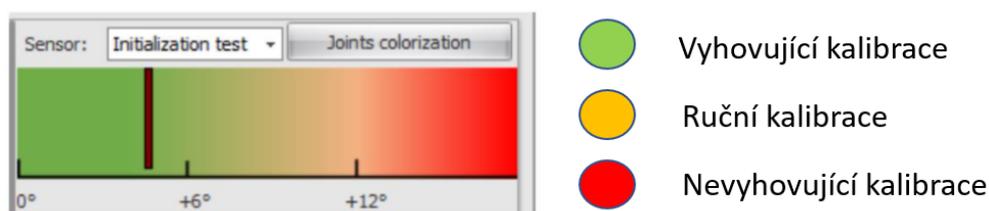
Během kalibrace se senzory orientují stejným směrem a mimo působení magnetických sil, to by mohlo zapříčinit nevyhovující kalibraci. Výsledkem by bylo nepřesné měření. Po rozmístění se všechny senzory zapnou do doby, než se rozsvítí zelená dioda. Následuje interval 1 minuty, během které si zabudovaný magnetometr zkalibruje každý senzor. Závěrem kalibrace je ověření správnosti orientace směru.



Obrázek 3-15: Kalibrace senzorů – zapnutí [16]

Na Obrázku 3-15 si lze povšimnout, že každý senzor disponuje třemi diodami. Různé kombinace diod mají i odlišný význam. V případě současného rozsvícení červené a zelené diody se jedná o zapnutí senzoru či nabíjení. Pokud svítí všechny diody, jsou senzory zkalibrovány. Při rozsvícení zelené diody jsou následně připraveny k nahrávání, pokud zelená dioda bliká probíhá nahrávání. V kombinaci zelené diody a blikající červené diody se jedná o docházení baterie, zde je nutnost následného nabití. Poslední případ nastává při blikající červené barvě. Zde se jedná o závadu na baterie a není možné uskutečnit měření.

K ověření výsledku správné kalibrace slouží inicializační test. Pokud dojde ke správné kalibraci, indikátor se nachází v zelené oblasti. V případě ručního nastavení se jedná o oranžovou oblast. Pokud je kalibrace magneticky ovlivněna a nachází se v červené oblasti (12°), je zapotřebí opakování kalibrace.



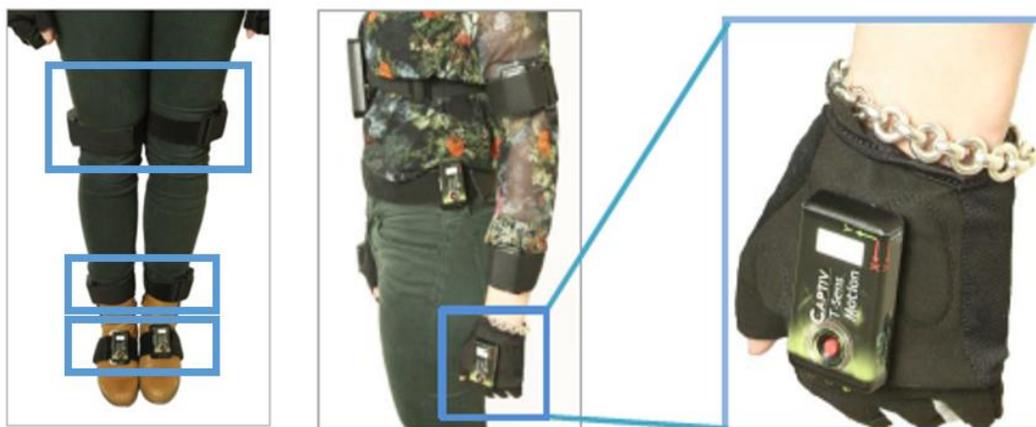
Obrázek 3-16: Výsledky kalibrace

3.2.3.2 Umístění senzorů

Po kalibraci se jednotlivé senzory začnou postupně umisťovat na pracovníka. Umístění senzorů závisí na vybavenosti celku. EMG senzory se umisťují přímo na pokožku pomocí lepící části. Na prostředek, který se lepí na pokožku se nejprve umístí elektrody. Následně se senzor k měření svalové zátěže umístí na příslušný sval. U pohybových senzorů se nejprve připevní popruhy s úchyty na příslušnou část těla, následně se zajistí správná poloha senzorů. Senzor se umisťuje do úchyty.

Pohybové senzory lze umístit na několik částí těla. Nejčastěji se jedná o horní končetiny, boky, tělo a dolní končetiny. Umístění však může být i na hlavě (z přední části, ze zadní části nebo boku). Na horní končetiny mohou být umístěny 3 senzory. Umístění senzoru na ruce je zajištěno pomocí rukavice, poloha senzoru se nachází na vnější straně. Další senzor lze umístit na předloktí, poloha může být z vnitřní nebo vnější strany, co nejbližší k zápěstí. Umístění posledního senzoru je na paži, přesná poloha by měla být v polovině délky paže na vnější straně.

U dolních končetin se může použít stejný počet senzorů jako u horních končetin. Poloha prvního senzoru se nachází z vnější strany nohy nad kolenem. Další senzor se umisťuje z vnější strany lýtka. Poslední senzor je umístěn na nártu. [16]



Obrázek 3-17: Umístění senzorů na dolních a horních končetinách [16]

Na zbylých částech těla se senzory umisťují na hrudník, záda nebo boky. Pokud není měřena horní část zad, tak se senzory umisťují na dolní část zad. V případě, že měření probíhá současně na zádech a nohou, tak se senzory na bocích umístí vedle kyčelní kosti. [16]



Obrázek 3-18: Umístění senzorů na hrudníku, zádech a bocích [16]

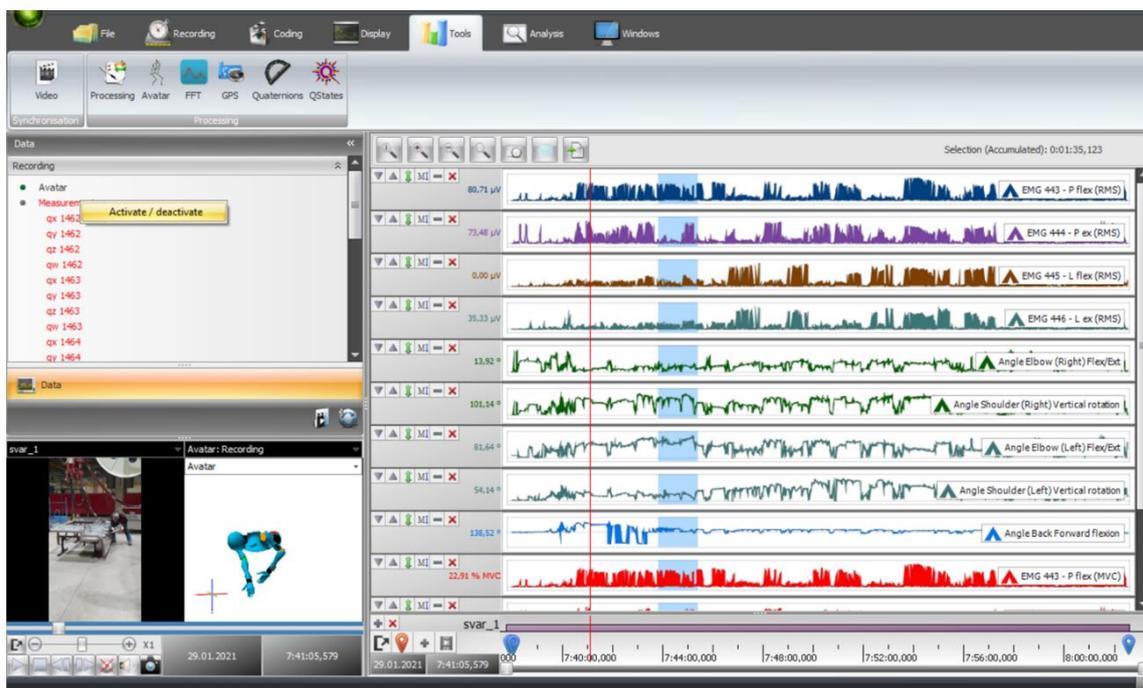
3.2.3.3 Měření

Na počátku měření se nejprve musí zkalibrovat pohybové senzory na sledované osobě. Kalibrace probíhá v klidové poloze s umístěnými senzory na těle. Jedná se o vzpřímený postoj, rovný trup a hlava. Dolní končetiny rovnoběžné s šířkou kyčle a horní končetiny podél těla. Dlaně a chodidla musí být rovnoběžné se střední rovinou. Při kalibraci se nesmí sledovaná osoba hýbat, nebo by došlo ke špatnému zkalibrování a proces by se musel opakovat. [16]

Po kalibraci by měl digitální model člověka (avatar) kopírovat sledovanou osobu v reálném čase. K ověření správnosti lze např. zvednout horní končetinu. Pokud probíhá kopírování, kalibrace byla správně provedena.

V případě EMG senzorů se musí nejprve stanovit maximální síla F_{max} (MVC – maximal voluntary contraction). Maximální síla sledované osoby se zjistí pomocí siloměru při vyvinutí maximální síly svalu po dobu 5 sekund. Po měření následuje odlehčení po dobu 30 sekund a proces se opakuje. Svalová aktivita se udává v jednotkách μV (mikrovolyty), následně se přepočítává v procentech k maximální síle.

Pokud jsou zajištěny správné polohy senzorů a vykonány všechny předešlé nezbytné procesy, nastává samotné měření. Pracovník provádí běžné pracovní činnosti, které jsou zaznamenány pomocí videa a synchronizovány se softwarem, kde probíhá animace. Software zobrazuje pohyby na digitálním modelu člověka, v případě systému CAPTIV jde o tzv. avatara.



Obrázek 3-19: Software během měření

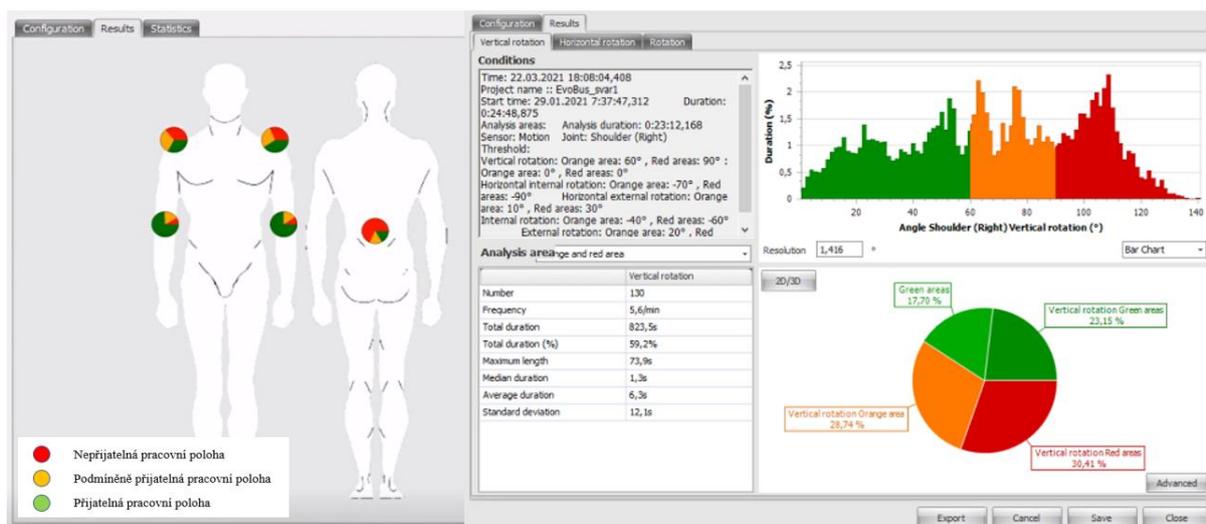
Pro každý kloub se dají nastavit úhlové rozsahy. Parametry se nastavují podle české legislativy, která definuje lokální svalovou zátěž a úhlové rozsahy pro přijatelné, podmíněně přijatelné a nepřijatelné pracovní polohy.

3.2.3.4 Výstupy měření

Měření může být vyhodnoceno jak grafickou formou, tak i výpočetní. Podle nastavených limitů se jednotlivé oblasti v grafickém zobrazení na modelu člověka vybarvují dle přijatelných či nepřijatelných poloh zátěže. Přijatelná poloha se znázorňuje zelenou barvou, podmíněně přijatelná poloha oranžovou barvou. Nepřijatelné poloze příslušná barva červená.

- **Pohybové senzory**

Na obrázku pod textem je k vidění jedna z forem výstupu – graf, který zobrazuje měřené oblasti a zastoupení jednotlivých oblastí v procentech. Výstup obsahuje i zadané kritérium (maximální úhlového rozsahy) pro hodnocení poloh.



Obrázek 3-20: Grafické vyhodnocení - pohybové senzory [16]

V záložce Statistics se zobrazuje zastoupení jednotlivých oblastí, které jsou vyjádřeny číselně pomocí procent. Stejně jako u grafického řešení platí tři oblasti (zelená, oranžová, červená).

The screenshot shows the 'Statistics' tab of the software interface. It contains an 'Analysis areas' section with the following data: Start: 28.09.2020 13:42:37,415; End: 28.09.2020 13:43:54,696; Duration: 0:01:17; Sensor: Motion. Below this is a table with columns for 'Green areas', 'Orange areas', and 'Red areas'. The table lists various joints and their corresponding percentages for each category.

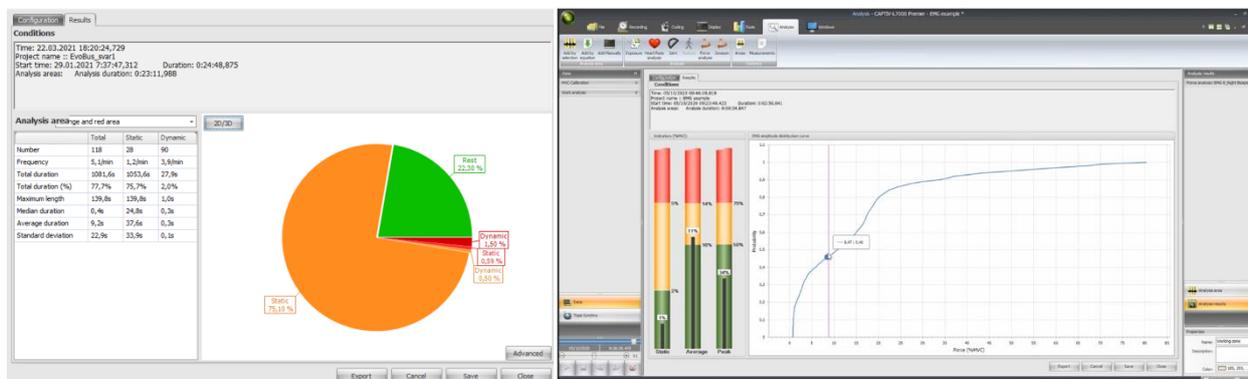
Joints	Green areas	Orange areas	Red areas
Lower back:			
Flexion / Extension	76,3 %	19,2 %	4,6 %
Lateral right flexion / Lateral Left flexion	88,3 %	8,5 %	3,2 %
Right Rotation / Left Rotation	16,7 %	18,3 %	64,9 %
Right shoulder:			
External rotation / Internal rotation	89,3 %	10,7 %	0 %
Vertical rotation /	69,4 %	11,1 %	19,5 %
Horizontal external rotation / Horizontal internal rotation	41,9 %	42,1 %	16,1 %
Left shoulder:			
External rotation / Internal rotation	93,3 %	6,7 %	0 %
Vertical rotation /	74,6 %	6,9 %	18,5 %
Horizontal external rotation / Horizontal internal rotation	42,7 %	39,7 %	17,6 %
Right elbow:			
Flexion / Extension	90,7 %	4,6 %	4,7 %
External rotation / Internal rotation	81,1 %	15,4 %	3,5 %
Left elbow:			
Flexion / Extension	87,1 %	6,8 %	6,1 %
External rotation / Internal rotation	84 %	12,7 %	3,3 %

Obrázek 3-21: Výpočetní vyhodnocení - pohybové senzory [16]

Výstup může být v podobě celkové analýzy, nebo v podobě analýzy jednotlivých částí těla (kloubů). Hodnoty se znázorňují opět číselnou nebo grafickou formou.

- **EMG senzory**

Vyhodnocení EMG senzorů lze provádět pouze v procentech vztažené k maximální síle. Vychází se opět z české legislativy, musí se zde však určit vztah mezi statickým a dynamickým zatížením. Výstup svalové analýzy může být opět v grafické či číselně formě a lze jej exportovat do formátu PDF nebo data exportovat do Excelu a provádět tak další analýzy.

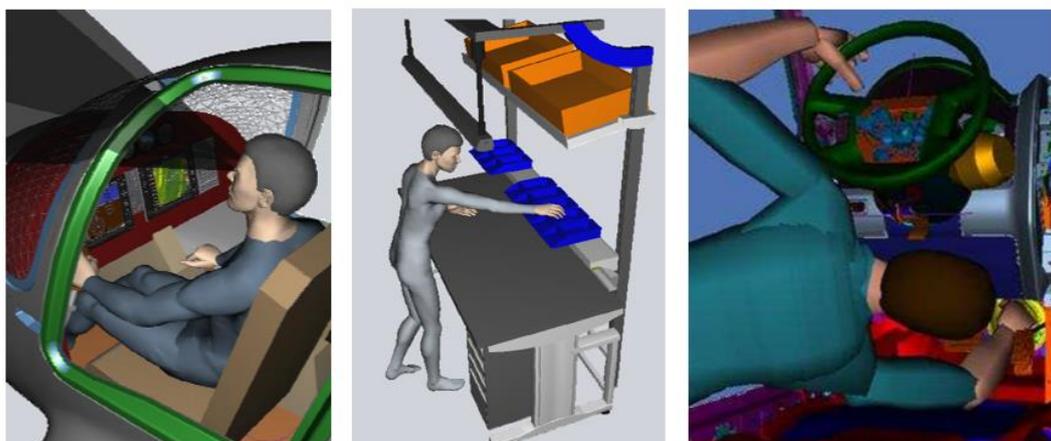


Obrázek 3-22: Grafické vyhodnocení - EMG senzory [16]

Dalším použitým nástrojem v diplomové práci je sw. Tecnomatix Jack, kterému jsou věnované následující kapitoly.

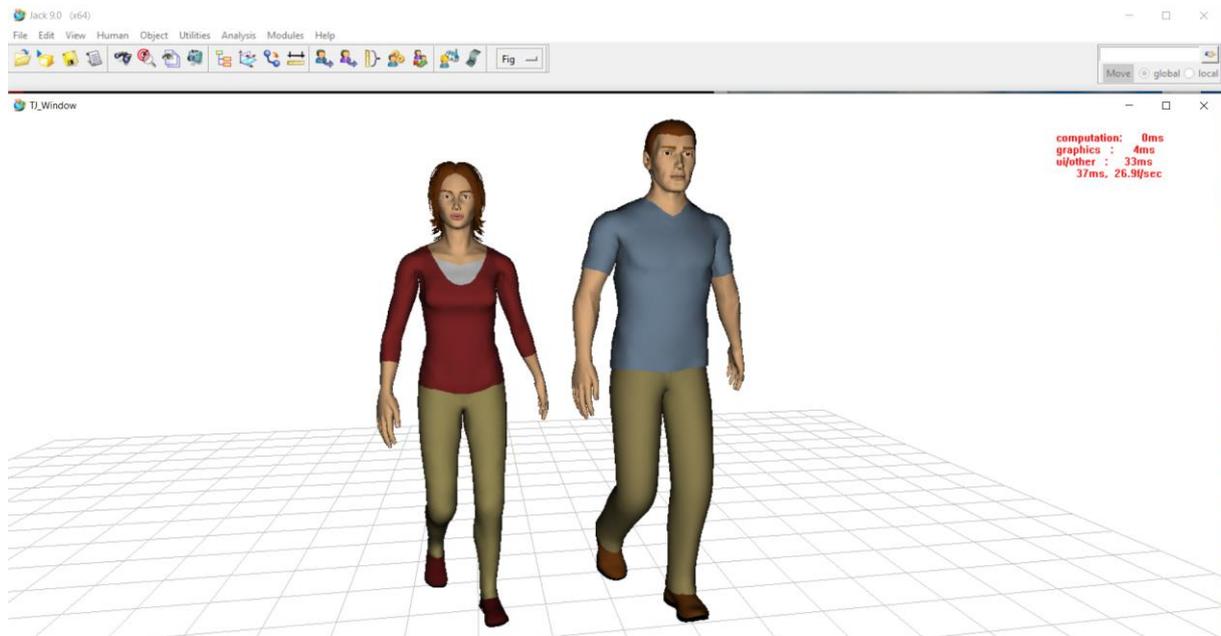
3.3 Tecnomatix Jack

Software Tecnomatix Jack se využívá pro simulace a modelování lidského těla. Digitální simulace slouží pro vizualizaci výrobního procesu, vyhodnocení proveditelnosti operací a k hodnocení ergonomie pracoviště. Je vhodný k analýzám okolních vlivů (např. prostředí, procesů) na člověka v navrhovaných systémech. Pomocí simulace lze porovnat několik variant a vybrat tak nejlepší možné řešení. Výhodou simulací je bezesporu včasné odhalení funkčních a ergonomických chyb a schválení na základě širšího porozumění problematiky. Dojde tím k omezení zbytečných kroků, které by se mohly vyskytnout až po vývoji. Ty by měly za následek zvýšení nákladů a časové prodloužení procesu. Z časového hlediska probíhá virtuální analýza mnohem rychleji, než analýza v reálném světě. Tím dochází ke zrychlení a zkvalitnění náběhu výroby a zkrácení přípravných etap. Virtuální testování má dopad i na snížení zmetkovitosti. [18]



Obrázek 3-23: Tecnomatix Jack - oblasti využití [18]

V Tecnomatix Jack lze vytvořit postavu ženského či mužského pohlaví s libovolnými proporcemi a rozměry (až 77 předdefinovaných postav). Produkt označuje postavy jménem Jack/Jill. Jack se využívá v případě mužského pohlaví, ženskému pohlaví je přiřazeno jméno Jill. Jedná se o biomechanicky přesný virtuální model člověka, který disponuje reálným rozsahem pohybů kloubů. Pomocí Jacka se poměrně jednoduše nasimulují jednotlivé pohyby člověka.



Obrázek 3-24: Digitální modely člověka Jill/Jack v Tecnomatix Jack

Systém při práci umožňuje manipulovat s jednotlivými segmenty spojenými pomocí kloubů. Celkem se jedná o 69 segmentů a 68 kloubů. Mezi nejdetailnější prvky patří páteř (skládající se ze 17 segmentů) a ruce (16 segmentů). Software při pohybu s jedním segmentem automaticky určuje polohu ostatních segmentů, jedná se o inverzní kinematiku. Jack obsahuje knihovnu, ve které lze vybrat až z 30 základních poloh, což ulehčuje proces modelování. Virtuální prostředí disponuje možností spojení digitálního modelu člověka s dalšími prvky, nacházejících se v prostředí, a manipulovat s nimi ve 3 osách. Pracovní polohy mohou být nastaveny manuálně nebo je možné využít jednu z 30 přednastavených základních poloh v databázi. Dále databáze obsahuje řadu předdefinovaných typů uchopení. Na základě toho je možné nasimulovat člověka, který uchopí bedýnku a přesune ji ze stolu na zem. Při tomto přesunu můžeme spojit ruku člověka s bedýnkou a sledovat změnu polohy při přesunu.



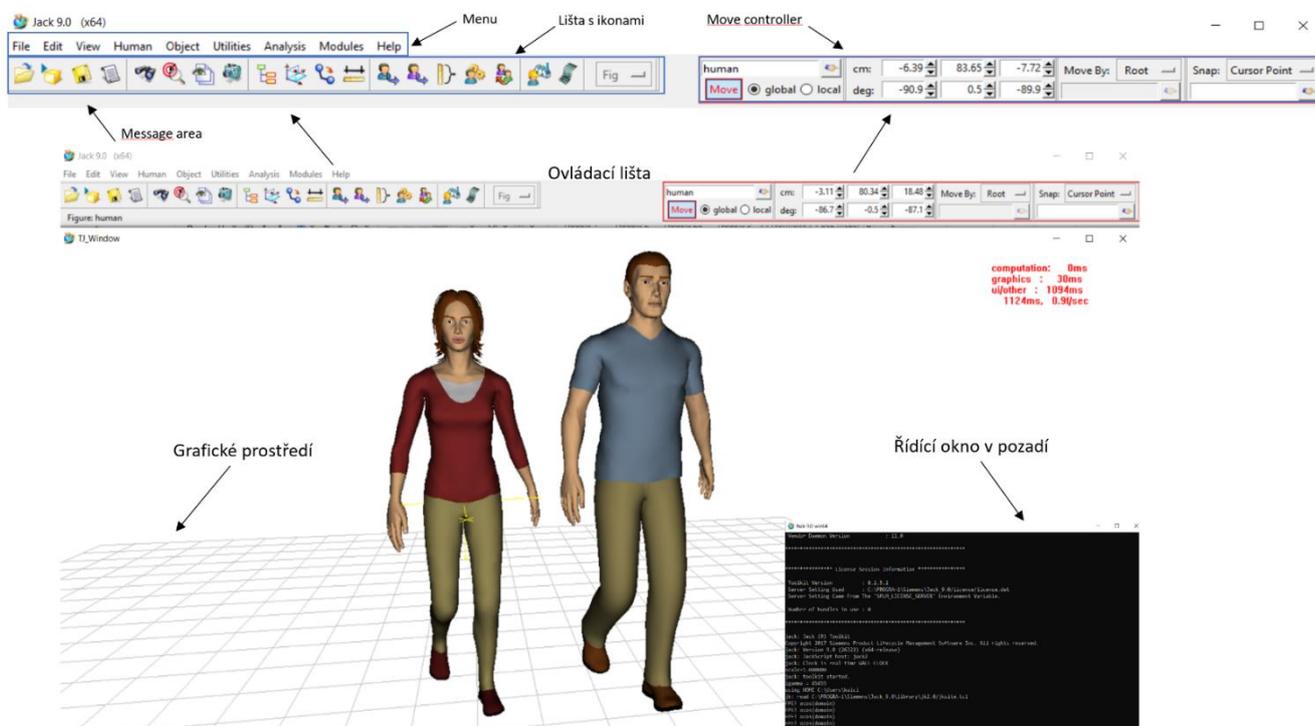
Obrázek 3-25: Základní předdefinované polohy [14]

Tecnomatix Jack slouží jako nástroj v oblasti technologie, průmyslového inženýrství a BOZP. V oblasti technologie ho můžeme využívat při otázkách týkajících se proveditelnosti práce např. prostor, dosahy a viditelnost. V průmyslovém inženýrství se zaměřuje na MTM analýzy, při kterých potřebujeme zjistit např. takt. V oblasti BOZP a ergonomie nám pomáhá určit ergonomickou přijatelnost, nepřijatelnost pracovních poloh, sílu a zatížení, manipulaci s břemeny či zatížení při opakujících se procesech. Ve většině případů se hodnoty následně porovnávají v souladu s legislativou a standardy.

3.3.1 Uživatelské prostředí

Uživatelské prostředí se skládá ze 3 částí:

- ovládací lišta (Menu)
- grafické prostředí
- řídicí okno na pozadí

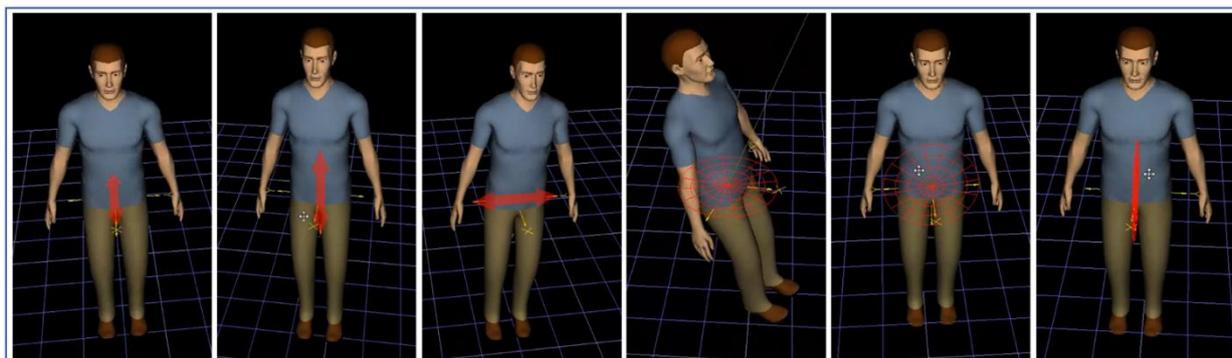


Obrázek 3-26: Uživatelské prostředí Tecnomatix Jack

První část uživatelského prostředí obsahuje ovládací lištu s ikonami, pomocí kterých lze využívat všechny funkcionality seznamu a příkazy. Pod ovládací lištou je umístěna tzv. message area, kde se zobrazují informace pro uživatele např. o importu.

Další částí je move controller, který slouží k pohybování objektu (otočení, posunu, rotace), k tomu se využívají i klávesové zkratky v kombinaci s tlačítkem na myši. Směrodatným bodem pro pohyb objektu je souřadnicový systém. Interakce s prostředím se zajišťuje pomocí Move-global a Move-local. Pravoúhlý systém (x.y.z) fungující v prostředí – Global, Local je spojený s objektem (např. posun krabice). Dále se zde nachází název objektu, degrese (otočení objektu) a cm (posun objektu). Otočení objektu probíhá okolo centrální bodu.

U objektu např. u stroje je otáčení okolo bodu, který se nachází v počátku souřadnicového systému. U člověka se tento souřadnicový systém nachází v těžišti. Funkce Snap umožňuje polohovat objekty a spojovat plochy nebo hrany.

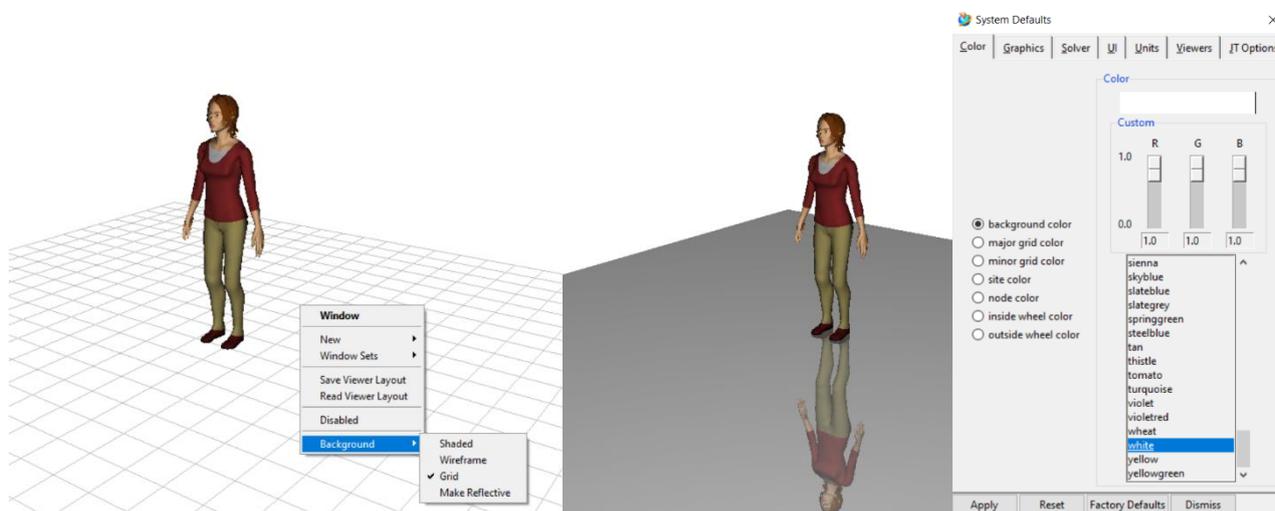


Obrázek 3-27: Pohyby objektu

V grafickém okně se nachází 3D prostor programu, který slouží k vizualizaci 3D objektů. Na obrázku 3-26 jsou k vidění dvě postavy, Jack/Jill. Jedná se o standardní ženu a muže (50 percentil postavy). Muž disponuje výškou 175 cm a váhou 79 kg. Žena výškou 162,5 cm a váhou 66 kg. Posledním oknem, který plní důležitou roli je řídicí okno, které běží na pozadí. Pro uživatele není podstatné, avšak nelze ho v popisu opomenout.

- **Přizpůsobení prostředí**

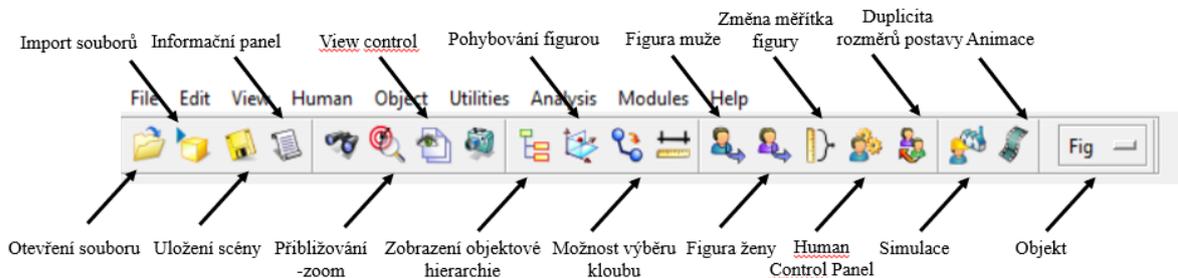
Prostředí se může změnit přímo v uživatelském prostředí Background, nebo pomocí hlavního panelu Menu-Edit-System Defaults. Přes uživatelské prostředí je na výběr možnost Shaded, kdy dojde k vykreslení podlahy. Tlačítko War se využívá k zobrazení sítě, vypínání se provádí pomocí tlačítka Grid. Poslední možností je tlačítko Make, pomocí něhož se zobrazují podlahy jako zrcadlo s odlesky. Nejvíce se využívá varianta Shaded s následnou úpravou přes Menu. Nastavení hlavního panelu je možné přes Menu-Edit-System Defaults. Dají se zde nastavit základní systémové věci týkající se grafiky, jednotek ale i prostředí. V záložce Color se barevně přizpůsobuje uživatelské prostředí. Nejvíce využívané jsou první tři možnosti (background color, major grid color, minor grid color). V pravé části okna se nacházejí tři možnosti nastavení parametrů námi požadované barvy a seznam přednastavených barev. Nejprůhlednější pro práci v Jackovi je volba bílého pozadí a v záložce major grid, minor grid sjednocená šedá podlaha.



Obrázek 3-28: Přizpůsobení prostředí v Tecnomatix Jack

- **Hlavní panel**

V horní části ovládací lišty se zobrazují hlavní záložky okna Menu. Pod hlavními záložkami se nacházejí ikony s nejméně používanými funkcemi. Jedná se např. o možnost otevření souboru, hierarchie (struktura) celé scény, vkládání digitálního modelu člověka apod.

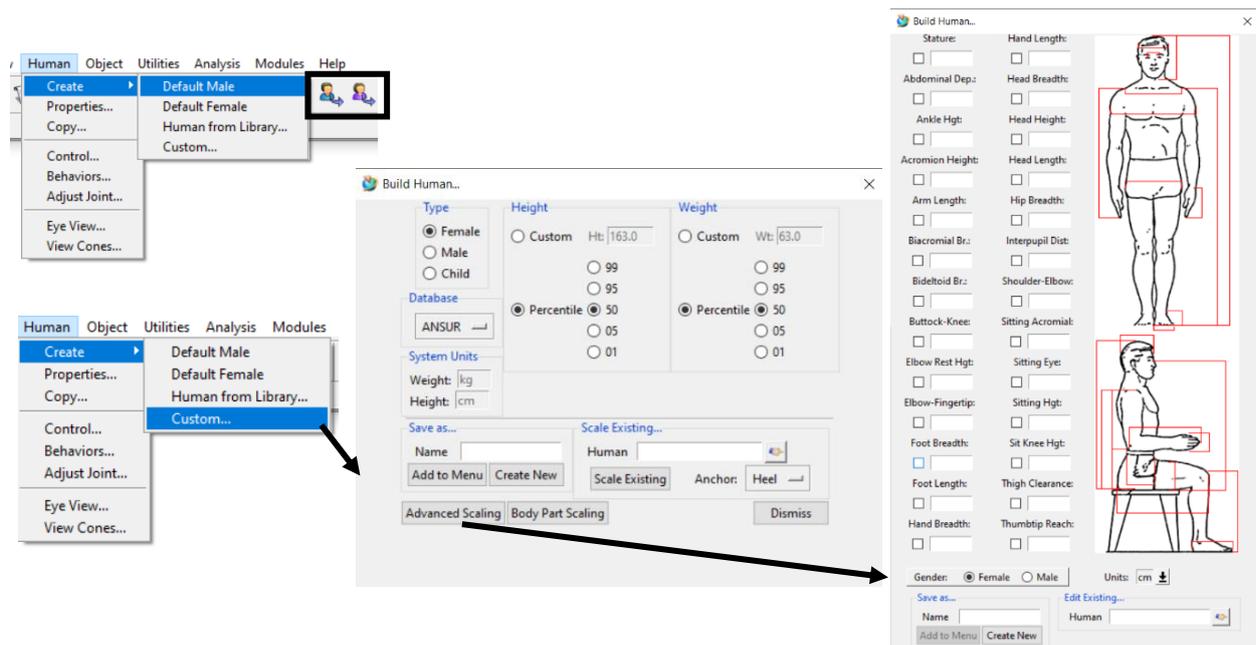


Obrázek 3-29: Hlavní panel - Tecnomatix Jack

- **Vkládání a editace modelu člověka**

Digitální model člověka se může vkládat pomocí ikon znázorňující muže a ženu na rychlém panelu, nebo pomocí hlavního menu Human>Create-Default Male, Default Female. Na základě výběru pohlaví se vloží digitální model člověka do prostředí. Uvažuje se model průměrného člověka, který má 50 percentil.

Žena mající 50 percentil disponuje výškou 162,5 cm a váhou 66 kg. U muže se jedná o výšku 175 cm a váhu 79 kg. V případě, že chceme vložit námi nadefinovaný rozměr člověka, lze k tomu využít okno Build Human. Zde se nastavuje výška, váha nebo percentil člověka. Ve spodní části dialogového okna se nachází možnost uložení a pojmenování modelu člověka pro další analýzy.

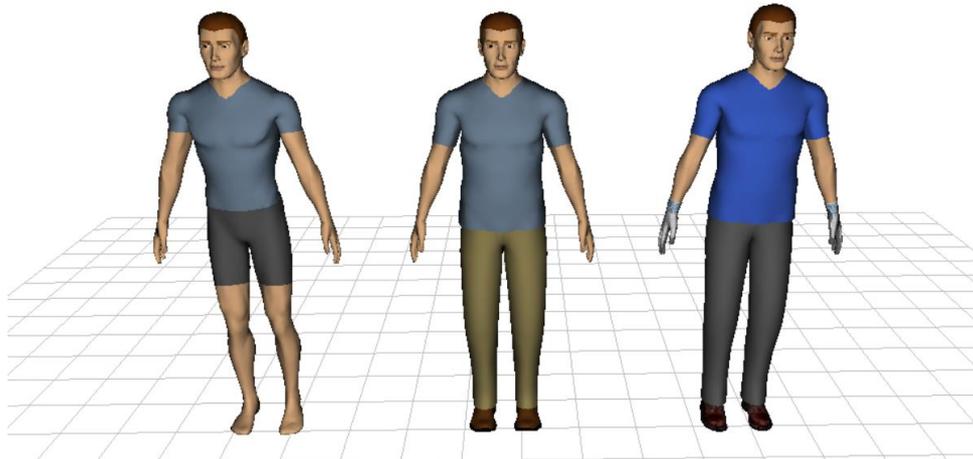


Obrázek 3-30: Vložení a editace digitálního modelu člověka

Při vkládání modelu člověka se dají využít i starší digitální modely, které mají předdefinované pracovní oblečení.

Z novější řady existují tři druhy zobrazení (Obrázek 3-32):

- Standardní model člověk s pracovním oděvem (prostřední model člověka),
- Standardní model člověka bez pracovního oděvu (model člověka na levé straně),
- Standardní model člověka s pracovním oděvem, rukavicemi a pracovními botami (model člověka nacházející se na pravé straně).



Obrázek 3-31: Zobrazení modelu člověka

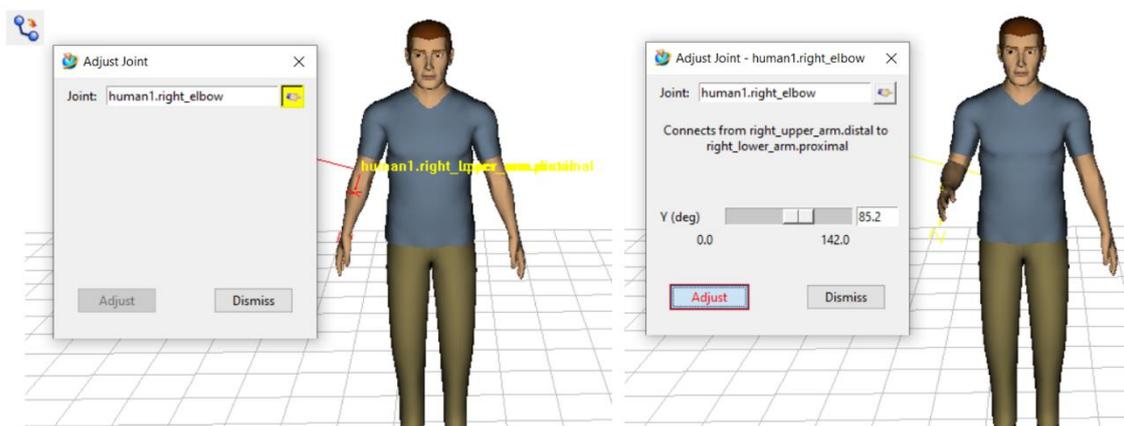
• Polohování digitálního modelu člověka

Po nadefinování hlavních parametrů člověka (váha, výška) a výběru zobrazení modelu člověka se digitální model nastaví do polohy, ve které sledovaná osoba vykonává činnost na pracovišti. Správné napolohování modelu člověka je důležité pro rozbor a ergonomické analýzy.

K napolohování člověka se využívá:

Přímá kinematika = manipulace s jednotlivými segmenty zvlášť

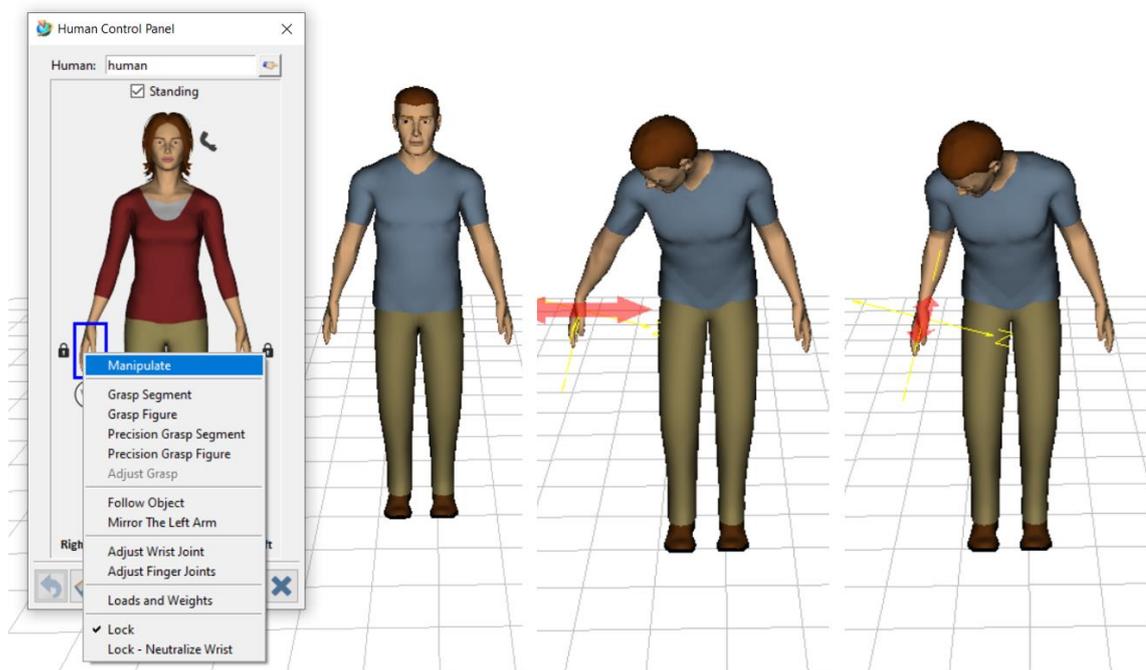
Pomocí ikony-Adjust Joint se vybírají konkrétní klouby např. loket, rameno, koleno. Následně se objeví režim, kde si pomocí slideru můžeme nastavit úhel v rámci fyziologických možností. Příkladem může být loket, který má jeden kloub, viz. Obrázek pod textem, kde 0° definuje připažení a maximální hodnota 142° pokrčení v lokti. Dalším příkladem je rameno, které má však tři stupně volnosti: abdukce (upažení), flexe (předpažení), rotace (rotace ramenního kloubu).



Obrázek 3-32: Polohování modelu - Přímá kinematika

Inverzní kinematika = nejedná se o manipulaci s jednotlivými segmenty, ale celé tělo se přizpůsobuje k pohybu části těla např. ruky, nohy. Pokud chceme nastavit inverzní kinematiku, probíhá to pomocí označení části těla na modelu člověka v Control panelu a Manipulate. Následně se zobrazí souřadnicový kříž ve vybrané části těla.

Na Obrázku 3-34 je ukázka výběru ruky, kdy se zobrazí souřadnicový kříž právě v její části. Následně se stanoví koncový bod ruky a zbytek těla se automaticky k tomuto pohybu přizpůsobí. Pokud nechceme pohyb některé části těla vůči pohybu ruky nebo nohy, lze tento segment uzamknout pomocí tlačítka Lock. Tím dojde k uzamčení tělesného segmentu v prostoru. V případě na obrázku pod textem se uzamkne trup a ruka se nastavuje pouze v rámci pohybu paže.

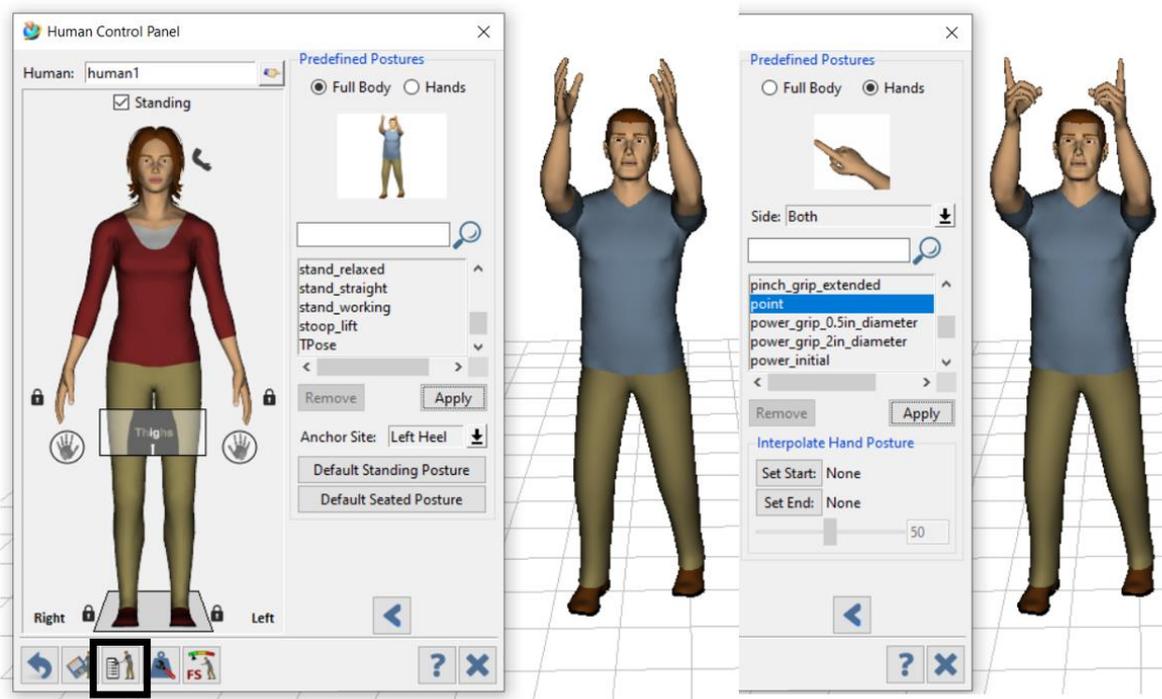


Obrázek 3-33: Polohování modelu - Inverzní kinematika

Předdefinované postoje člověka týkající se celého těla a úchopů

Databáze předdefinovaných postav a úchopů se nalézá přes Human Control Panel-Predefined Postures. Výhodou při výběru přes knihovnu je zobrazení náhledu jednotlivých postav. Jedná se např. o postoj vsedě, vestoje, postoj při řízení, manipulaci, uchopení, předklonění, zdvihání apod..

Stejný výběr se nachází i v databázi předdefinovaných úchopů pro ruce (pevný úchop, natažené prsty, různé možnosti sevření, uchopení tyčové součásti, malý stisk, velký stisk apod.). V případě, že není žádná předdefinovaná poloha totožná s reálnou polohou, lze ji nastavit pomocí editoru. Editor umožňuje nastavit počáteční pozici ruky (např. natažené prsty) a koncovou pozici ruky (např. pěst). Následně pomocí slideru si vybereme jakoukoliv polohu mezi dvěma krajními nastavenými polohami. Vybírat můžeme z možností pro pravou a levou ruku zvlášť, nebo pro obě současně.



Obrázek 3-34: Polohování modelu - Předdefinované postoje a úchopy

Ideální přístup pro nastavení polohy modelu člověka je nejprve výběr základní polohy pro tělo a ruce z knihovny předdefinovaných postojů a úchopů. Následně si pomocí Control panelu a inverzní kinematiky model dopravíme, co se týče polohy rukou a těla. V závěru si dopravíme detaily pomocí přímé kinematiky, např. detaily prstů, zápěstí, krku nebo hlavy.

3.3.2 Ergonomické analýzy

Existuje nespočet ergonomických analýz v softwaru, mezi nejpoužívanější analýzy patří:

- Analýza zorného pole
- Analýza dosahových vzdáleností
- RULA (Rapid Upper Limb Assessment)
- NIOSH – analýza zvedacích úkonů
- Analýza dle České Legislativy (NV361)
- Ovako Working Posture Analysis (OWAS) – analýza pracovního postoje
- Static Strength Prediction
- Predetermined Time Standards
- Manual Handling Limits
- Lower Back Analysis atd.

Pro účely diplomové práce bude využita metoda Rapid Upper Limb Assessment a hodnocení poloh dle české legislativy (Nařízení vlády 361/2007 Sb.).

RULA - Rapid Upper Limb Assessment

Analýza Rula slouží pro ergonomické analýzy pracovišť, kde se vyskytuje zatížení horních končetin. Slouží k hodnocení biomechanických a polohových zátěží na těle. Výsledkem analýzy je bodové skóre, které identifikuje úroveň potřeby provedení změn.

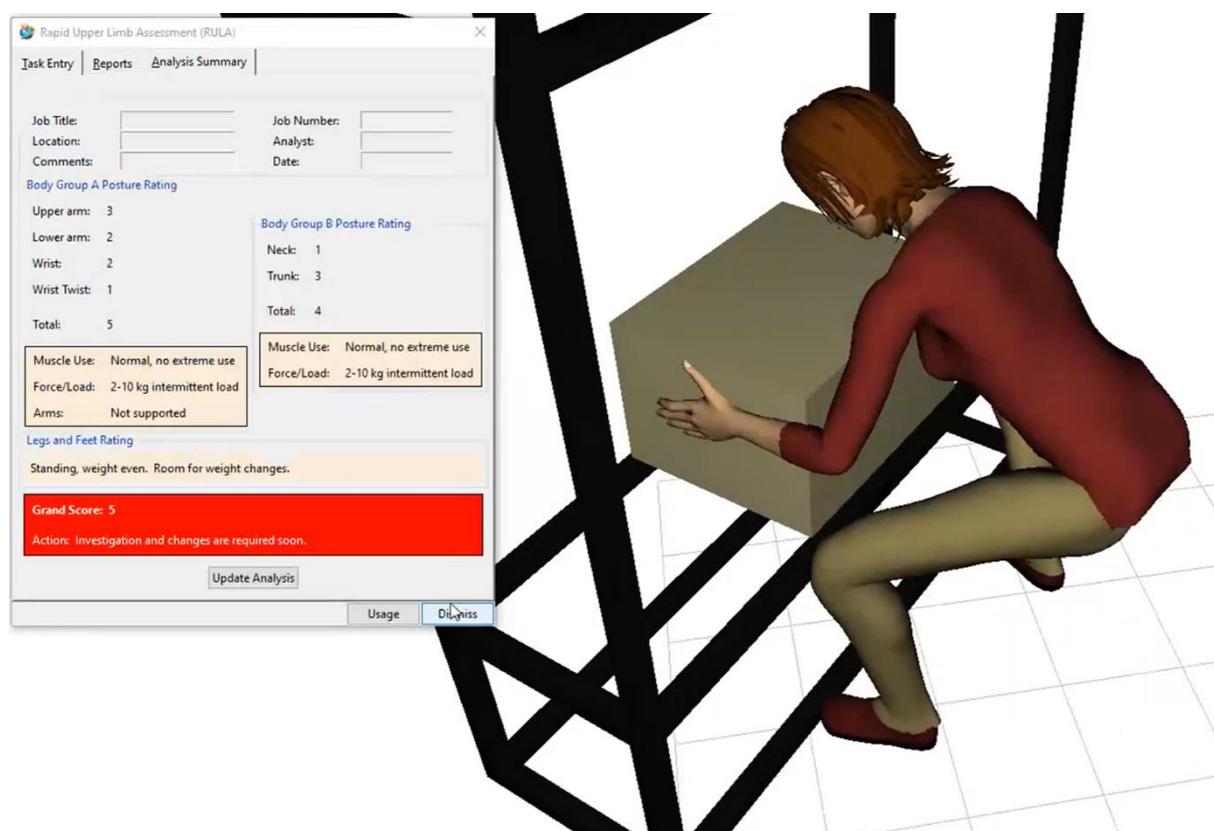
U analýzy v softwaru Tecnomatix Jack se nejprve v úvodu vybere hodnotící model člověka a následně se ručně stanoví svalová aktivita.

U svalové aktivity se nastavují vstupní parametry u dvou oblastí neboli skóre. Skóre A (Arm, Wrist) a skóre B (Neck, Trunk). U obou skóre se nastavují stejné parametry.

U skóre A i B se vybírá četnost manipulace (zvedání objektu - zatížení) z variant:

- normální manipulace, žádné extrémní využití
- statické využití (manipulace více jak 1x minutu)
- opakované využití (manipulace vícekrát než 4x za minutu).

K určení svalové aktivity musí být zvolena i váha břemene (objektu), zdali se jedná o přerušované zatížení (< 2 kg, 2-10 kg), statické zatížení (2-10kg) a opakované zatížení (2-10kg) nebo rázové zatížení (>10 kg).



Obrázek 3-35: Analýza RULA

V poslední části se stanoví polohy nohou:

- Poloha vestoje s rovnoměrně rozloženou váhou
- Poloha vestoje s nerovnoměrně rozloženou váhou
- Poloha vsedě, nohy a chodidla podepřená, váha rovnoměrně rozložená

Výstupem RULA analýzy je určení skóre. Výsledné skóre lze vidět pod záložkou Analysis Summary. Skóre A je stanoveno pro rameno, předloktí, polohu zápěstí a rotaci zápěstí a skóre B pro krk a trup. Ve spodní části se nachází stanovené svalové korekce, v dolní části následně výsledné celkové skóre.

Ergonomická analýza podle česká legislativa

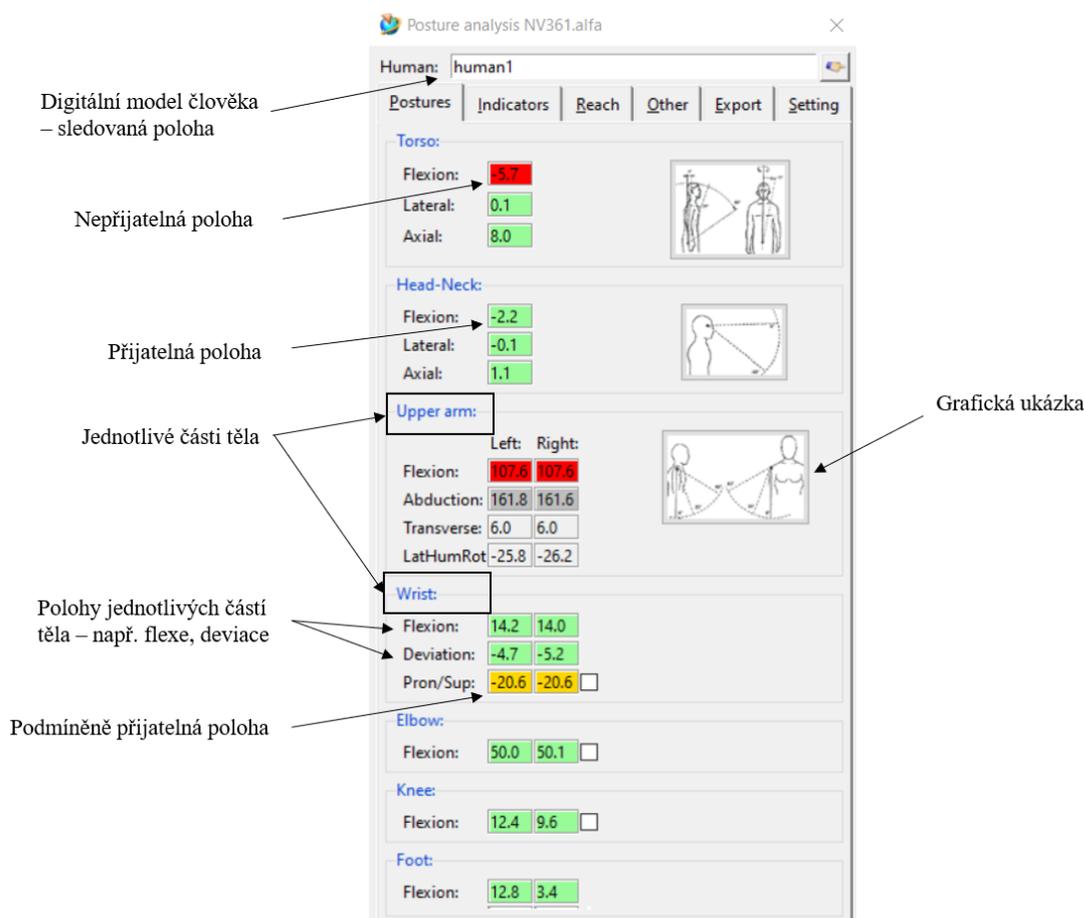
Jedná se o ergonomickou analýzu dle Nařízení vlády č. 361/2007 Sb., kterými se stanovují podmínky ochrany zdraví při práci. Na základě stanovených limitů, které jsou uvedeny níže, se následně zařadí pracovní polohy a pohyby do jedné ze tří skupin. Cílem ergonomické analýzy je odstranění nepříjemných poloh.

V úvodu ergonomické analýzy se nejprve digitální model člověka napolohuje do potřebné polohy. Následně se spustí analýza, ve které se označí sledovaný model člověka.

Hodnotí se tyto části těla:

- Trup – předklon, úklon, rotace
- Hlava, krk – předklon, úklon, rotace
- Horní končetiny (ramena) – flexe, abdukce
- Zápěstí – flexe, deviace
- Loket – ohnutí v lokti
- Dolní končetiny (koleno, kotníky), které nebudou předmětem analýzy

Výstupem hodnocení jsou naměřené úhly v kloubech, které zařazují polohu části těla do skupiny přijatelných (zelené vykreslení), podmíněně přijatelných (oranžové vykreslení) a nepříjemných poloh (červené vykreslení). Primární snahou je odstranění červených kritických oblastí, které mohou mít za cíl poškození zdraví. Po navržení nového pracoviště se digitální model člověka znovu napolohuje a vyhodnocuje do doby, dokud nejsou odstraněny červené oblasti.



Obrázek 3-36: Analýza dle Nařízení vlády

4 Charakteristika výrobního systému

Před samotnou analýzou pracoviště dojde k představení společnosti, ve které bude praktická část diplomové práce zpracována. A charakterizováno pracoviště, na kterém budou provedeny ergonomické analýzy.

4.1 Představení společnosti

Jedná se o největší evropskou pobočku koncernu Daimler AG, která zodpovídá za aktivity týkajících se autobusů. Se značkami Mercedes-Benz, Sestra, OMNIplus a BusStore pokrývají celé spektrum služeb na evropském trhu s autobusy. Řadí se též mezi největší producenty v této oblasti na celém světě. Výrobní závody a pobočky čítají více než 8000 zaměstnanců. Společnost sídlí na strategické poloze, která se nachází poblíž česko-německých hranic. Poloha sousedí s jednou z nejvýznamnějších logistických tras vedoucí Evropou. [19]



Obrázek 4-1: Společnost z ptáčích perspektivy [19]

Společnost patří mezi průkopníky v konstrukci se známými značkami, které byly představeny v úvodu této kapitoly. Cílem společnosti je design a ochrana životního prostředí, což je v současné době prvořadým úkolem. Snahou je též udržení a rozšiřování konkurenční výhody, která byla získána, s cílem uspokojit zákazníky. Těchto aspektů lze dosáhnout díky špičkové výkonnosti zaměstnanců, kteří jsou motivovaní a veškeré úkoly implementují se vší důsledností. Předpokladem uspokojování zákazníků je moderní výroba a technologie. Vizí společnosti je řešení mobility budoucnosti. [19]

Výrobní program společnosti se zaměřuje na výrobu karoserií nákladních automobilů a autobusů (městské a zájezdové). Městské autobusy se vyrábějí viz. Obrázek 2-1 vyznačená oblast A. Výroba zájezdových autobusů probíhá v oblasti B, která bude klíčovou oblastí pro řešení diplomové práce. Hala A byla vybudována v dřívějších letech.

Zde byla výroba orientována na výrobu komponentů, části podvozků a rámců. Později vzrostla hala B, kde se z dosavadních segmentů vyráběly skelety zájezdových autobusů.

Hala B funguje převážně jako svařovna, kde je výroba vedena linkovým způsobem. V závodu se vyskytují dvě linky, jedna je určena pro výrobu podvozků druhá pro nástavby vozu.

Kromě technologie svařování se společnost může pyšnit katodickým ponorným lakováním. Jedná se o nejmodernější a technologicky nejvyspělejší zařízení spojené s lakováním, které má díky abnormálním rozměrům a kapacitě širokou škálu využití. Použití nachází v oblasti výroby těl aut, trucků či autobusů, podvozků, návěsů či různých komponentů. [19]



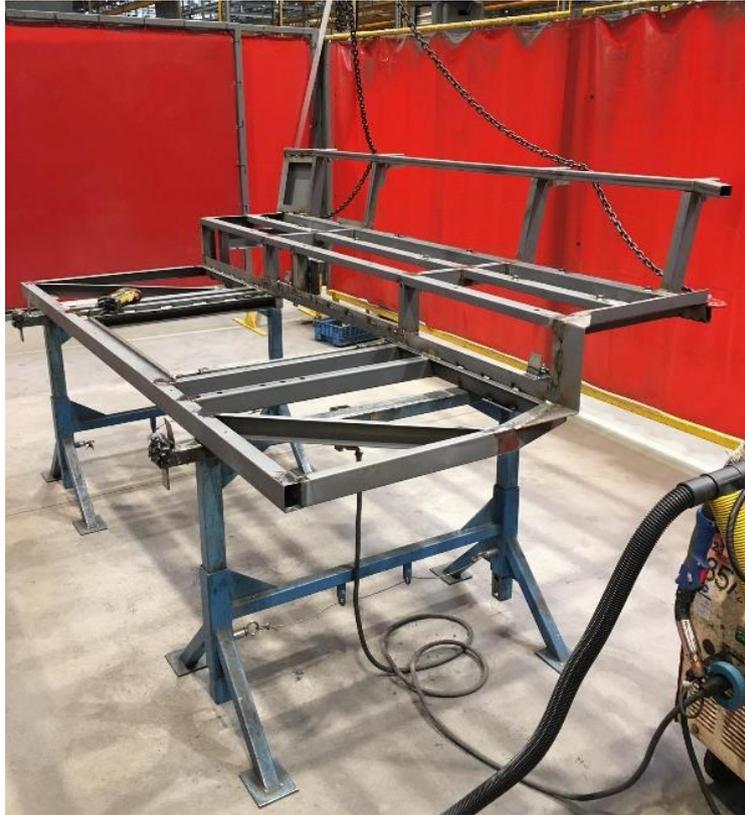
Obrázek 4-2: Katodické ponorné lakování [19]

4.2 Charakteristika pracoviště

Hala se skládá z několika částí, kde probíhá více výrobních procesů současně. Pro diplomovou práci je nejpodstatnější linková část, kde se vyrábí sedáky do autobusů.

Proces výroby začíná svařením konstrukce rámu dle technologického postupu. Konstrukce je určena jako podklad pro další operace. Následně se rám transportuje pomocí jeřábu na pracoviště, kde dochází k ustavování 11 plechů na konstrukci rámu. Pracoviště - Ustavování plechů a konstrukce rámu před ustavováním je k vidění na Obrázku 4-3. Při ustavování se nejprve naměří potřebné parametry a následně se plechy zajistí do správné polohy. Po naměření a ustavení plechů následuje operace svařování pomocí metody MAG (Metal Active Gas). Jedná se o metodu poloautomatického svařování velmi lehkých až středně těžkých ocelových konstrukcí a nerezových ocelí v ochranné atmosféře aktivního plynu. Po samotném procesu svařování ještě následuje dokončovací operace dovaření, opět pomocí metody MAG.

Z hlediska ergonomie lze pracoviště zařadit k pracovištím s vyhovující ergonomií. Pracovník vykonává pracovní činnosti téměř po celou dobu pracovní činnosti ve vzpřímené poloze. Polohy pracovníka jsou přijatelné, a proto pracoviště nebude předmětem ergonomické analýzy.

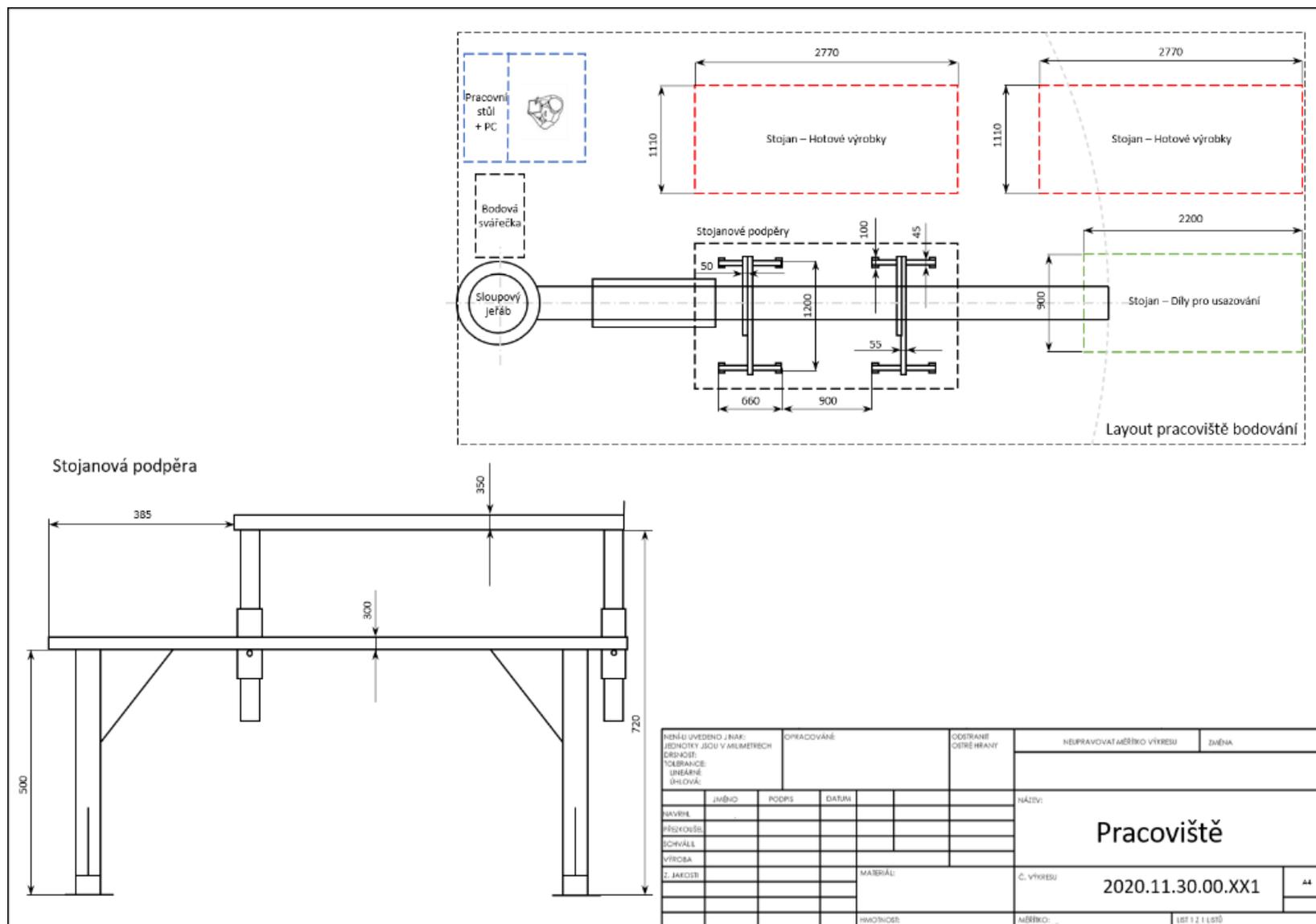


Obrázek 4-3: Pracoviště – Ustavování plechů

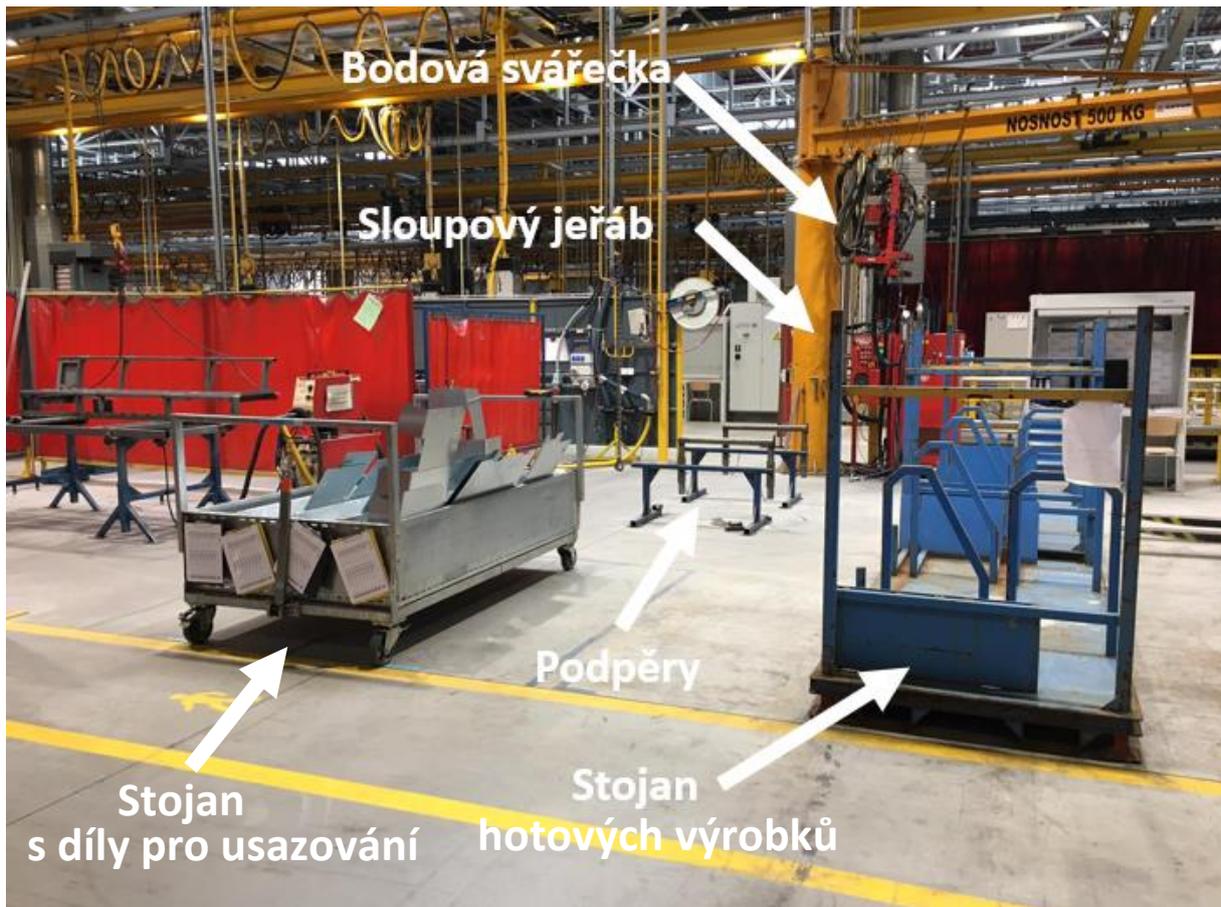
Po dokončení operace svařování se rám přesune pomocí jeřábu na pracoviště, kde dochází k bodovému svařování.

Jedná se o odporové svařování, kdy je spoj plechů tvořen jedním nebo několika bodovými svary. Pro svařování se používají kontaktní špičky, přesněji řečeno válcové duté elektrody, které mají vyměnitelnou čepičku. Materiál je svařen po sepnutí zdroje spínačem na určitou dobu. Během svařování materiálem začne procházet vysoký elektrický proud, který má za následek natavení materiálu v místě jejich styku. Kombinace velkého proudu a krátkého času se nazývá tvrdý režim, zde je vyžadována vyšší přítlačná síla. Svařovací kombinace nižšího svařovacího proudu dodaným v delším čase pracuje s nižší přítlačnou silou a nazývá se měkkým režimem. [20]

Pro zpracování ergonomické analýzy bylo zvoleno právě pracoviště - Bodování, které se nachází na Obrázku 4-4 a 4-5. Pracovník na pracovišti vykonává pracovní činnost v nepříjemných polohách. Pracoviště Bodování se skládá ze dvou podpěr určených k usazení konstrukce rámu a dvou stojanů, do kterého se ukládá hotový výrobek před transportem. Součástí pracoviště je otočný sloupový jeřáb, který zajišťuje snadnější manipulaci s hadicí příslušící bodové svářečce, která je posledním prvkem tohoto pracoviště. Vedle pracoviště se nachází stojan, kde jsou umístěny plechy určené pro pracoviště, kde dochází k usazování plechů. Posledním prvkem pracoviště je pracovní stůl a počítač sloužící k zápisu hotových výrobků.



Obrázek 4-4: Layout pracoviště Bodování



Obrázek 4-5: Pracoviště - Bodové svařování

Výrobní proces začíná přesunem svařené plechové konstrukce pomocí jeřábu na stojanové podpěry (Obrázek 4-6). Konstrukce se zpevní dále pomocí držáků (Obrázek 4-7 - bílý obrazec) a následně začíná samotný proces bodování.



Obrázek 4-6: Pracoviště Bodování - stojanové podpěry bez a s konstrukcí

Výrobní postup

Bodování probíhá nejprve na ploše 1 kolem obvodu obrazce, který lze vidět na obrázku 4-7. Zde se pracovník nachází v předkloněné poloze s napnutými nohy. Následně se přesune na kolmou plochu k ploše 1, kde zaujímá opět pozici předklonu, avšak s pokrčenými nohy kvůli přítlačné síle, kterou musí vyvíjet při bodování.



Obrázek 4-7: Plochy při bodování

Po provedení celé plochy kolmé k ploše 1 následuje plocha 2 nacházející se ve spodní části rámu. Pracovník se opět nachází v hlubokém předklonu, s širokým stojem rozkročným a pokrčenými nohama. Jak už bylo zmíněno výše, během bodování se vyvíjí přítlačná síla, a proto se tato pozice už na první zřetel dá označit jako nevyhovující. Po provedení spodní části následuje boční strana, kde se operace provádí ve stejné poloze jako tomu bylo u plochy 2.

Závěrečnou plochou je plocha 3, kdy si nejprve pracovník na horní části naměří místa určená pro bodování. Jedná se o místo, kde se nachází ze spodní strany rám. Kdyby došlo ke špatnému naměření a následnému bodování, plech by byl propálen a vytvořil by se propal v podobě cca 1 cm díry. Po naměření následuje bodování naměřené části, poté se boduje obvod. U obvodu se nejprve provádí bodování na různých protilehlých místech a navazuje na ně bodování po obvodu. Děje se to právě kvůli teplotě materiálu.

Při bodování horní plochy se každá část plechu svařuje zvlášť. Držák umístění na horní ploše musí být neustále přesouván (Obrázek 4-7 - bílý obrazec), z důvodu vysoké teploty. Kdyby se držák nacházel na jednom místě, došlo by k průhybu materiálu. Před bodováním plochy 3 se přenastaví program na svařovacím boxu, na základě kterého se zvýší proud a prodlouží doba svaru z důvodu pevnosti.

V průběhu bodového svařování se mohou vyskytnout případy, které vedou ke vzniku nedokonalostí a vad svarů. Vady se pojí většinou s daným svařovaným materiálem nebo se samotným svařováním. Jedná se např. o nečistoty materiálu apod. Vady svarů se následně opravují za využití z jedné metod klasického svařování. Svařování probíhá po vizuální kontrole na konci celého procesu bodování. Po dokončení bodování se hotový sedák vloží pomocí jeřábu do stojanů určených právě pro hotové výrobky a posléze následuje transport.



Obrázek 4-8: Stojan hotových výrobků

Následující kapitola je věnována analýzám pracoviště pomocí systému Captiv a softwaru Tecnomatix Jack. Pro analýzu byly vybrány čtyři polohy, které budou následně vyhodnoceny pomocí dvou metod pro hodnocení ergonomických rizik.

5 Analýza pracoviště

Kapitola se zaměřuje na rozbor pracoviště, především na rozbor pracovních poloh sledované osoby během výrobního procesu. Cílem analýzy je identifikace vlastností jednotlivých poloh a výstupní hodnocení za využití dvou nástrojů pro hodnocení ergonomických rizik.

5.1 Vstupní data

Pro zpracování ergonomické analýzy byla společností poskytnuta tato data:

- Technologický postup

L 0090	40RHI110	AS02	46,029	MIN 2
K3 Bodové svařování jednobodové				
Dokončení HiHA Fond		Zákl.množst	1,000	
Bodově svařit				
01	1	x A.628.618.20.76	7,819	
02	1	x A.628.610.23.12	6,696	
03	1	x A.633.618.38.78	4,298	
04	1	x A.628.618.14.76	5,897	
05	1	x A.628.618.18.76	2,527	
06	1	x A.633.618.40.78	5,702	
07	1	x A.633.610.21.87	4,104	
08	1	x A.628.610.55.19	4,428	
09	1	x A.633.618.30.78	4,558	

Obrázek 5-1: Technologický postup

- Výkres layout dwg. – pracoviště Bodování

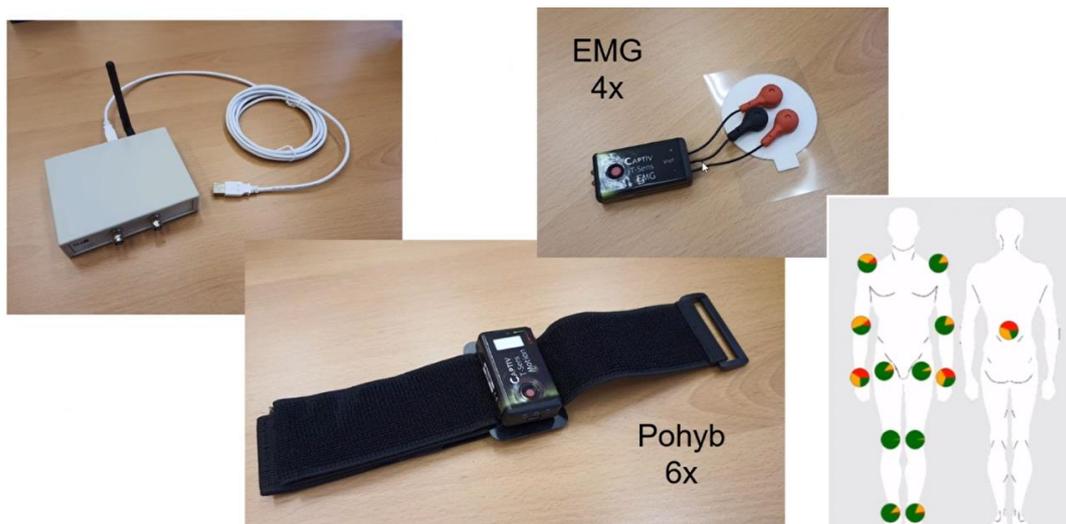
Výkres nebyl aktuální a chyběly určité části pracoviště. Došlo tedy k přeměření základních rozměrů pracoviště.

5.2 Analýza pracoviště v systému CAPTIV

Popis a komplexnost měřicího nástroje byla popsána v předchozích kapitolách. V kapitole věnované analýze bude popsán postup a vyhodnocení měření. Měření se zaměřuje na dva parametry, lokální svalovou zátěž a rozsahy pohybů za použití senzorů. I když se jedná o francouzský produkt, měření probíhá podle české legislativy. V současné době měření lokální svalové zátěže provádějí akreditované laboratoře z důvodu kategorizace pracovišť do jedné ze čtyř kategorií rizika. Stejně postupy se používají i zde.

5.2.1 Měřicí sada

Obsah měřicí sady se skládá z bezdrátově propojených senzorů, přijímače a záznamníku naměřených hodnot. Jedná se o čtyři EMG senzory na měření lokální svalové zátěže a šest pohybových senzorů na měření poloh. Přijímač umožňuje sběr dat v reálném čase. Software následně vyhodnocení dat na základě jejich sběru. Všechny komponenty se nacházejí v pevném přenosném pouzdře.



Obrázek 5-2: Měřicí sada CAPTIV použita při analýze pracoviště

Kalibrace měřicí sady

Před každým měřením se nejprve senzory zkalibrují. Kalibrace probíhá tak, že se všechny senzory položí na rovnou plochu do vzdálenosti cca 10 cm. Během kalibrace se senzory orientují stejným směrem a mimo působení magnetických sil. Pokud by nebylo tak učiněno, mohlo by to zapříčinit nevyhovující kalibraci a nepřesné měření. Po rozmístění se senzory zapnou do doby, dokud nedojde k rozsvícení zelené diody. Během intervalu 1 minuty si zabudovaný magnetometr zkalibruje každý senzor. Závěrem kalibrace je ověření správnosti orientace směru.

Následuje inicializační test sloužící k ověření výsledků kalibrace. Pokud je kalibrace provedena správně, indikátor se nachází v zelené oblasti. V případě, že se jedná o ruční kalibraci, indikátor je v oranžové oblasti. Pokud dojde k ovlivnění kalibrace magnetismem, indikátor se zobrazí

v červené oblasti (12°). V takém případě nelze pokračovat v měření a kalibrace musí být znovu zopakovaná. Celý postup kalibrace se popisuje v kapitole 3.2.3.1. Kalibrace senzorů.

5.2.2 Umístění senzorů

Senzory se na tělo pracovníka připevňují pomocí popruhů s úchyty, které zajišťují správnou polohu senzoru nebo pomocí plíšků, na kterých se nacházejí čidla (červené a černé). EMG senzory pro měření lokální svalové zátěže budou při měření umístěny na svaly předloktí, přesněji řečeno na extensor digitorum a flexor carpi radialis, viz. Obrázek 5-3. Dva EMG senzory jsou umístěny na levou část ruky, zbylé dva na pravou část ruky



Obrázek 5-3: Umístění EMG senzorů

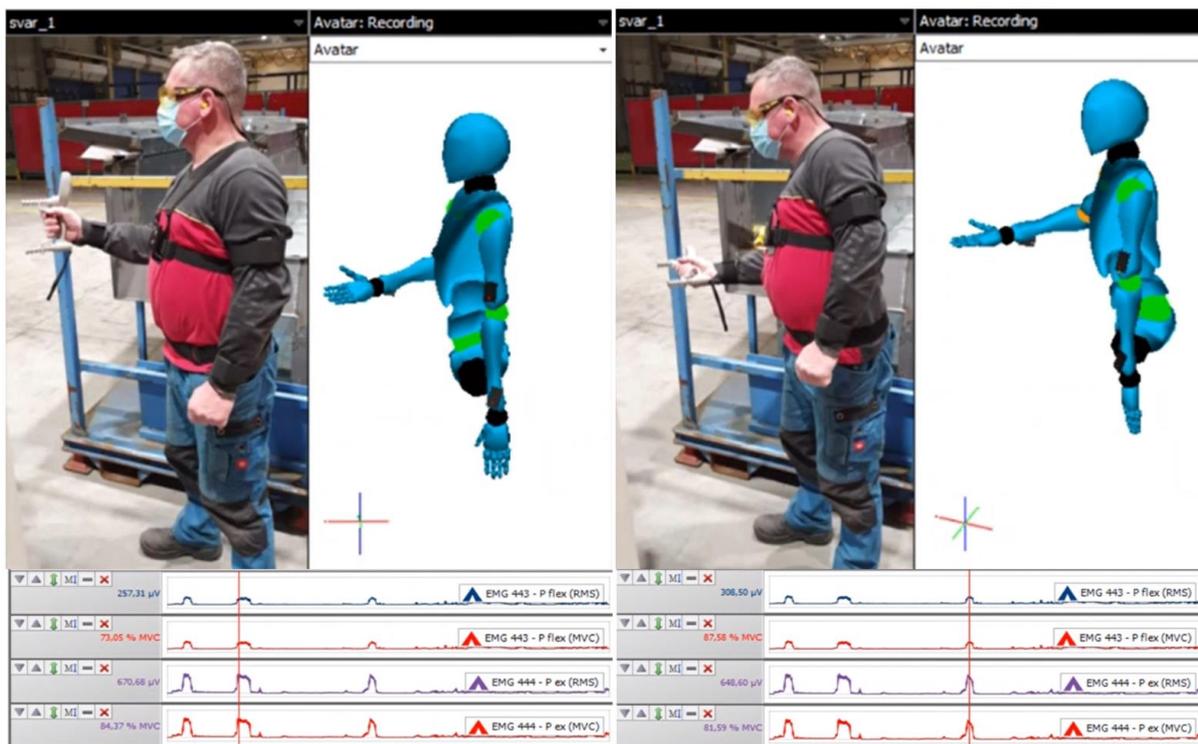
Sada dále obsahuje šest pohybových senzorů, jejichž rozmístění je zobrazeno na obrázku pod textem. Jedná se o umístění na předloktí, nadloktí, záda a boky. Jednotlivé senzory měří úhly v lokti, ramenu a trupu. Přesněji řečeno ohyb bederní páteře, ramene a lokte. Pro pochopení principu měření si lze uvést příklad. Aby byl zjištěn úhel v lokti, je potřeba mít senzor umístěný na předloktí a nadloktí.



Obrázek 5-4: Umístění pohybových senzorů

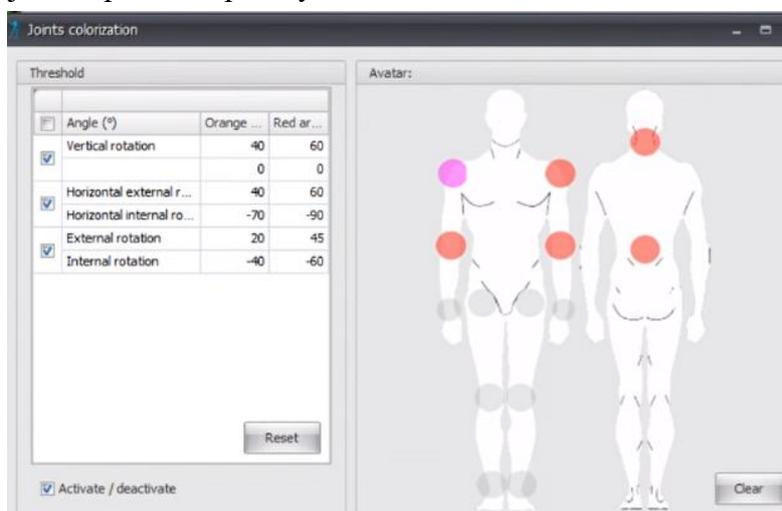
5.2.3 Kalibrace před měřením

Na počátku každého měření se provádí kalibrace pomocí siloměru (dynamometru), kdy pracovník stiskne siloměr ve dvou polohách Obrázek 5-5. Nejčastěji používaným typem dynamometru v praxi je ruční dynamometr. Dynamometr zjišťuje maximální sílu svalů, které se podílejí na stisku ruky. Úkolem testované osoby je v dané poloze vyvinout maximální tlak na tenzometr. Naměřená síla se označí jako maximální svalová síla F_{max} . (AJ: MVC-maximal voluntary contraction). Svalová aktivita se vyhodnocuje v μV (mikrovoltech) nebo v procentech přepočítané k F_{max} .



Obrázek 5-5: Kalibrace pomocí siloměru

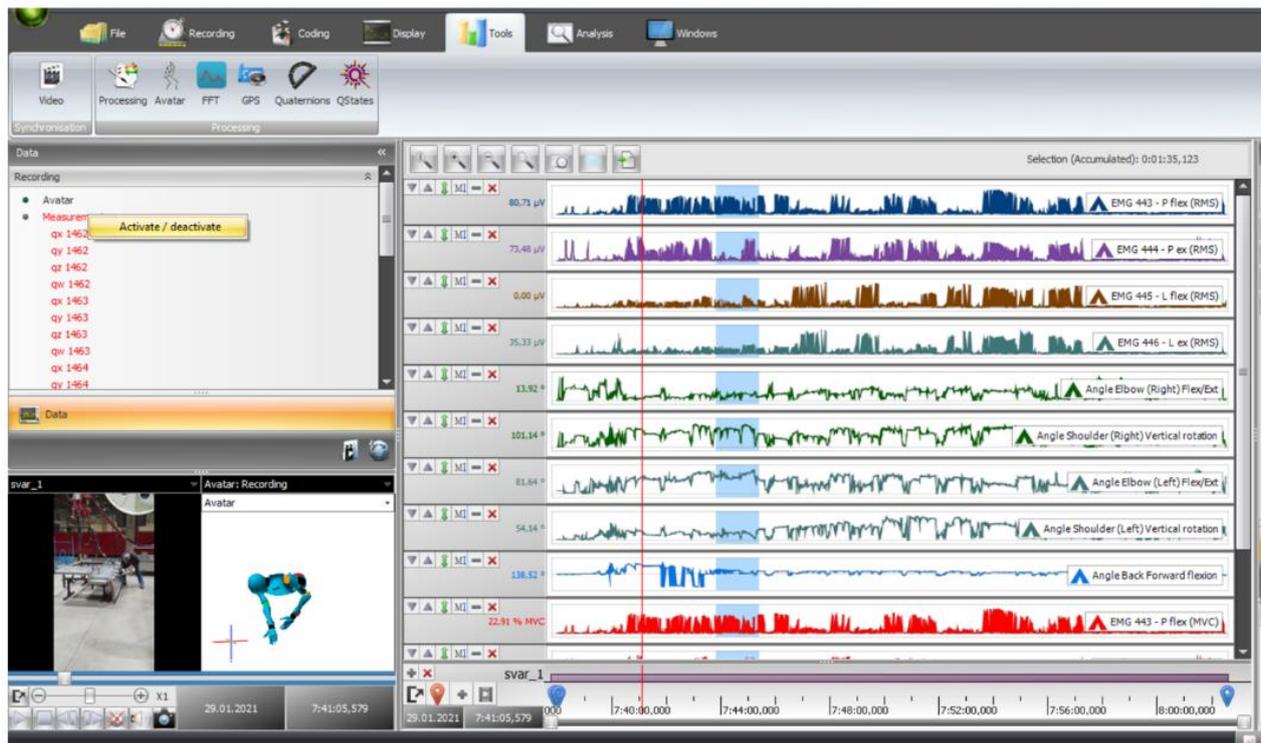
Pro každý kloub se následně nastaví úhlové rozsahy. Parametry jsou nastaveny podle české legislativy, která definuje lokální svalovou zátěž a úhlové rozsahy pro přijatelné, podmíněně přijatelné a nepřijatelné pracovní polohy.



Obrázek 5-6: Nastavení parametrů

5.2.4 Měření

Během měření se synchronizuje videozáznam v reálném čase s digitálním modelem člověka (avatarem). Na Obrázku 5-7 v levé části lze vidět paralelní zobrazení činností prováděných sledovanou osobou na avatarovi, kterému se jednotlivé zatěžované části těla vykreslují dle přijatelnosti poloh a zatížení. Červená barva značí nepříjemnou polohu a nadměrné zatížení, které je cílem odstranit. Oranžová barva poukazuje na podmíněně přijatelnou polohu a střední zátěž. Pokud se zobrazí zelená barva jedná se o přijatelnou pracovní polohu a vyhovující zátěž. Snahou je vždy všechny červené oblasti odstranit a nahradit jej zelenými a oranžově zbarvené oblasti zlepšit.

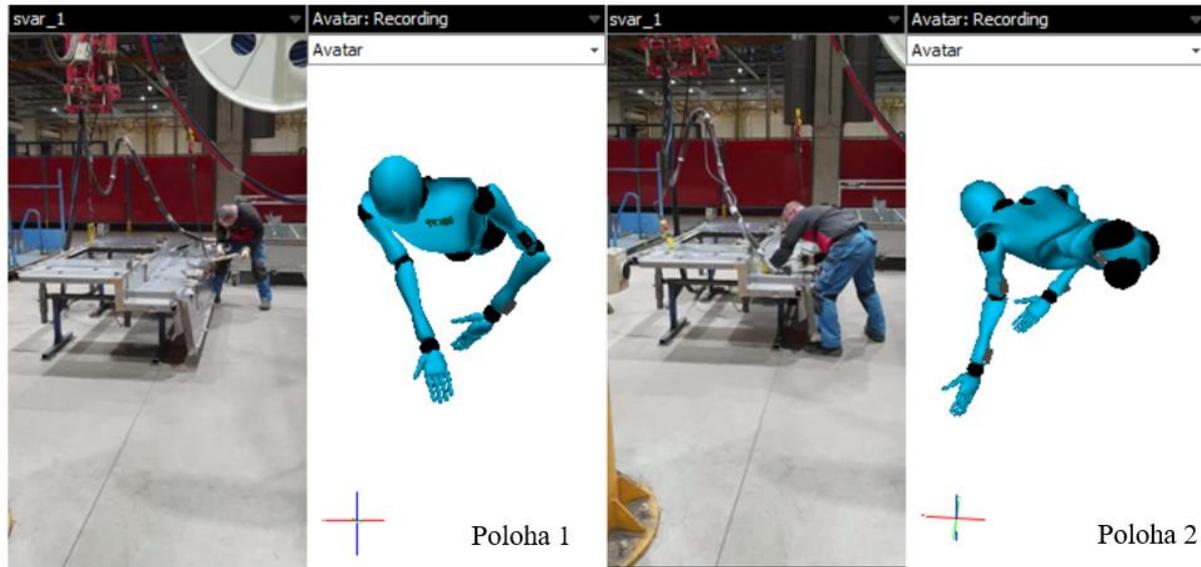


Obrázek 5-7: Zobrazení CAPTIV

Měření se opakovalo z důvodu ověření správnosti. Při každém měření se zaznamenal celý výrobní proces za pomoci videokamery. Jelikož se během výrobního procesu bodují čtyři hlavní plochy, byly pro analýzy vybrány čtyři polohy.

V první poloze sledovaná osoba provádí bodování spodní plochy výrobku. Postoj je charakterizovaný stojem rozkročným s ohnutým předkloněným trupem. Obě ruce jsou opřeny o dolní končetiny z důvodu vyvinutí přítlačné síly na svařovací hlavici. Levá ruka drží uchopovací část hlavice, pravá ruka se nachází na zadní části hlavice, která slouží právě k bodování (vyvinutí tlačné síly).

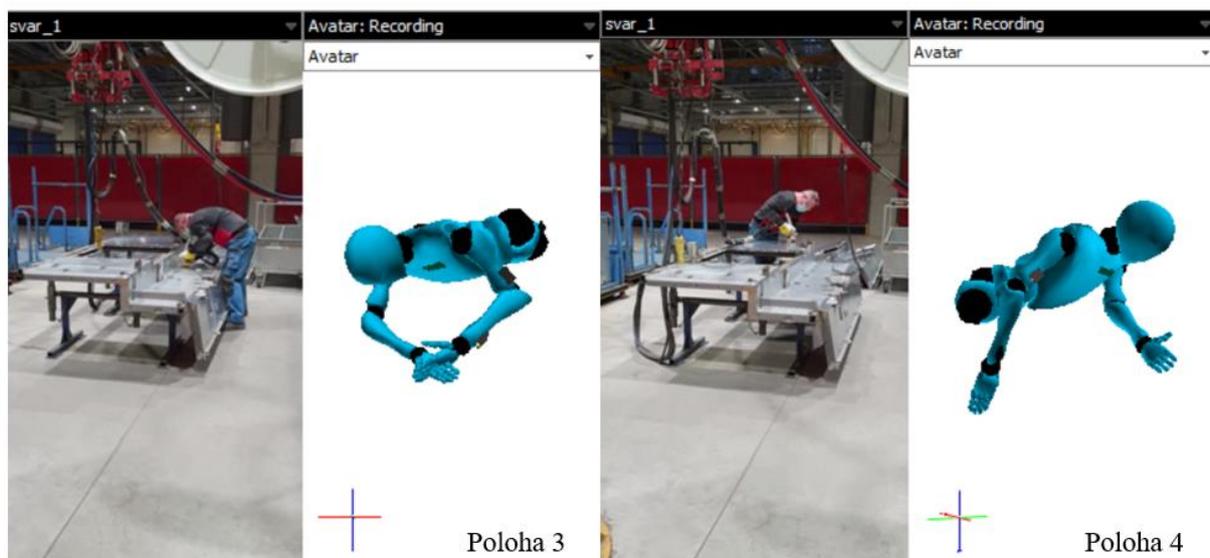
Druhou polohou je poloha, kdy se svařuje plocha nacházející se mezi horní a spodní částí výrobku kolmá k horní ploše. Zde je poloha postavy osoby v podřepu, ve stoji rozkročném. Větší část váhy se nachází na levé noze. Sledovaná osoba se nachází v ohnutém předklonu s pozicí hlavy, kdy oči sledují bodovanou plochu. Levá ruka uchopuje spodní část hlavice, pravá ruka slouží opět vyvíjí přítlačnou sílu při bodování.



Obrázek 5-8: Polohy při svařování ploch

Svařování plochy mezi horní a spodní částí, kdy je plocha rovnoběžná s horní plochou je znázorněno ve třetí poloze. Postoj je jako u předchozích v podřepu s nohama mírně rozkročenými a ohnutým trupem. Váha je v tomto případně rovnoměrně rozložena. Hlavice svářečky se nachází pod levým ramenem, kde je hlavice opřena. Rameno provádí pohyby pro vykonání přítláčné síly. Levá ruka uchopuje hlavici ve vyšší poloze a pravá horní končetina přidržuje hlavici ve spodní části ze spodní strany hlavice.

Poslední poloha sledované osoby je při svařování horní části plochy. Sledovaná osoba se nachází ve stoji vzpřímeným s mírným předklonem. Pravým bokem natočený k výrobku. Nohy jsou mírně rozkročné, ruce se nacházejí na hlavici. Horní končetiny jsou pokrčené v lokti s úchopem hlavice. Pravá ruka uchopuje horní část a horní stranu hlavice, levá ruka se nachází ve spodní části hlavice.



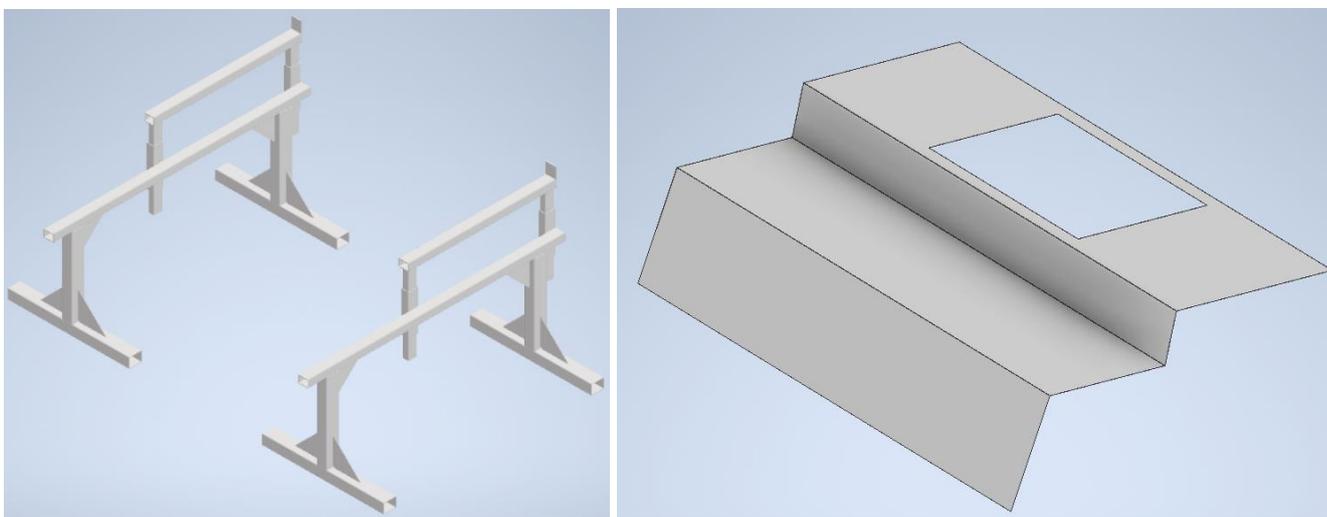
Obrázek 5-9: Polohy při svařování ploch

5.3 Analýza pracoviště v softwaru Tecnomatix JACK

Kapitola se věnuje postupu tvorby pracoviště v softwaru Tecnomatix Jack a napolohování digitálního modelu člověka do stejných poloh, jako tomu bylo u systému Captiv.

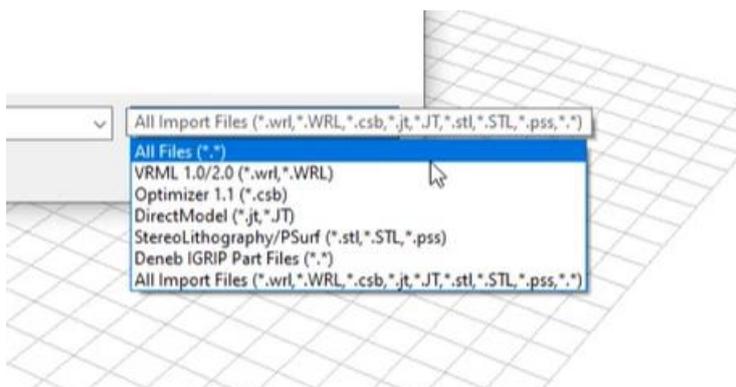
5.3.1 Tvorba pracoviště

Tecnomatix Jack umožňuje tvorbu modelů, jelikož se však tento software zaměřuje především na ergonomické analýzy, je vhodnější k tvorbě modelů použít jiný CAD software např. Catia, Autodesk Inventor, NX, Creo, Solid Edge nebo SolidWorks. Modely v diplomové práci určené pro ergonomickou analýzu byly vytvořeny pomocí sw. Autodesk Inventor. Prvním vytvořeným modelem jsou podpěry nacházející se na pracovišti, na které se umísťuje výrobek. Druhým modelem je samotný výrobek. Oba modely je možné vidět na obrázku pod textem.



Obrázek 5-10: Modely v softwaru Autodesk Inventor

Při importování cizích modelů (File-import) do softwaru Tecnomatix Jack můžeme využívat tyto formáty:



Obrázek 5-11: Formáty pro import do T. Jack

Nejpoužívanějším a univerzálním formátem je DirectModel (*.jt,*.JT), který je typický pro společnost Siemens a pro přenášení modelů mezi různými softwary ve společnosti. Mezi další často používaný formát patří formát VRML (*.wrl,*.WRL). Výhodou u obou formátů je zachování původních barev u všech objektů při importu. Poslední často využívaný formát StereoLithography (*.stl, *.STL, *.pss) v případě importu nezachová původní barvy, což patří

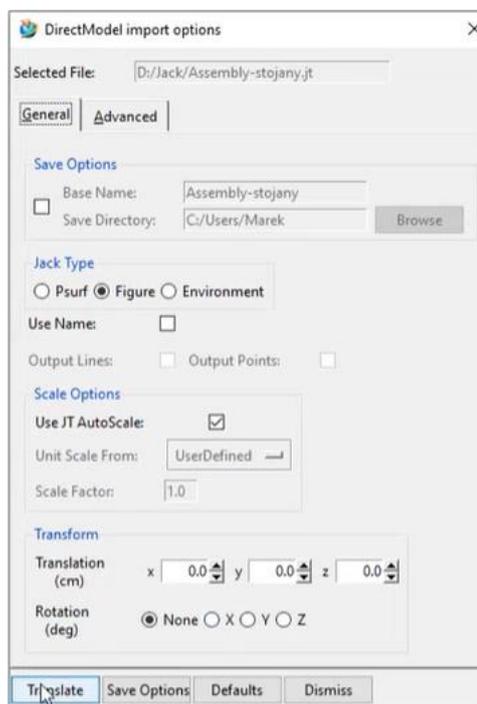
mezi jeho nevýhody. Při importu se barvy jednotlivých modelů spojí do jedné a není možné následně upravení ani v samotném softwaru Technomatix Jack.

Mezi nejpoužívanější formát patří formát s příponou *.jt, všechny CAD soubory (např. Catie) však neumožňují ukládání právě v tomto formátu. Lze však soubory přeložit přes jiný software (např. NX od Siemensu) a následně je nahrát do sw. Jack.

Práce se soubory

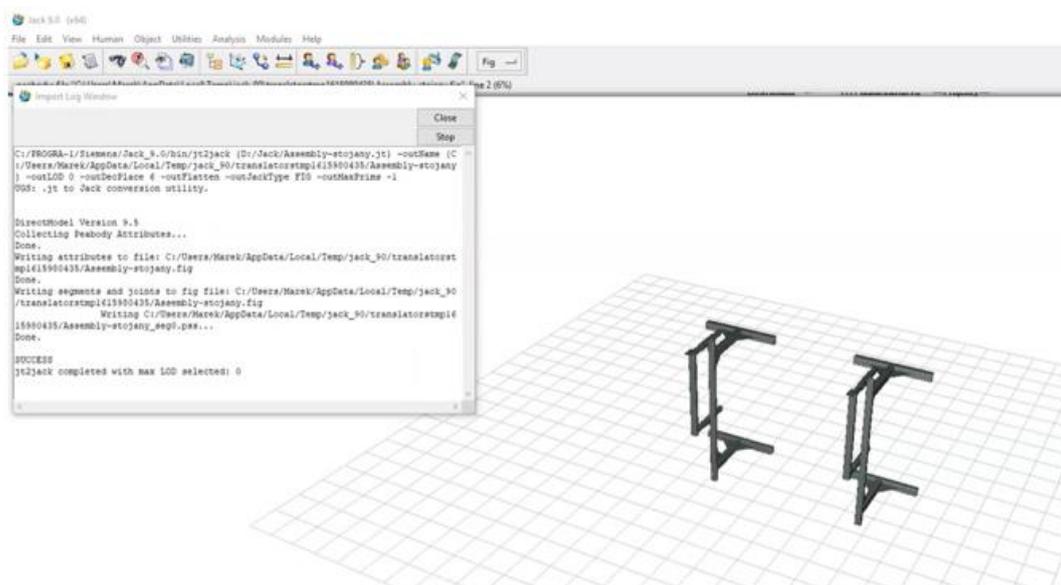
- Import modelů ve formátu *.jt
- Přeložení do formátu *.fig
- Opětovný import nového formátu a uložení

Postup při vkládání počínaje výběrem modelu ve formátu s příponou *.jt. Následně se zobrazí dialogové okno (Obrázek 5-12), kde se nastavují různé parametry importu. V zásadě není potřeba nic modifikovat, defaultní nastavení je plně dostačující k základnímu k importu.



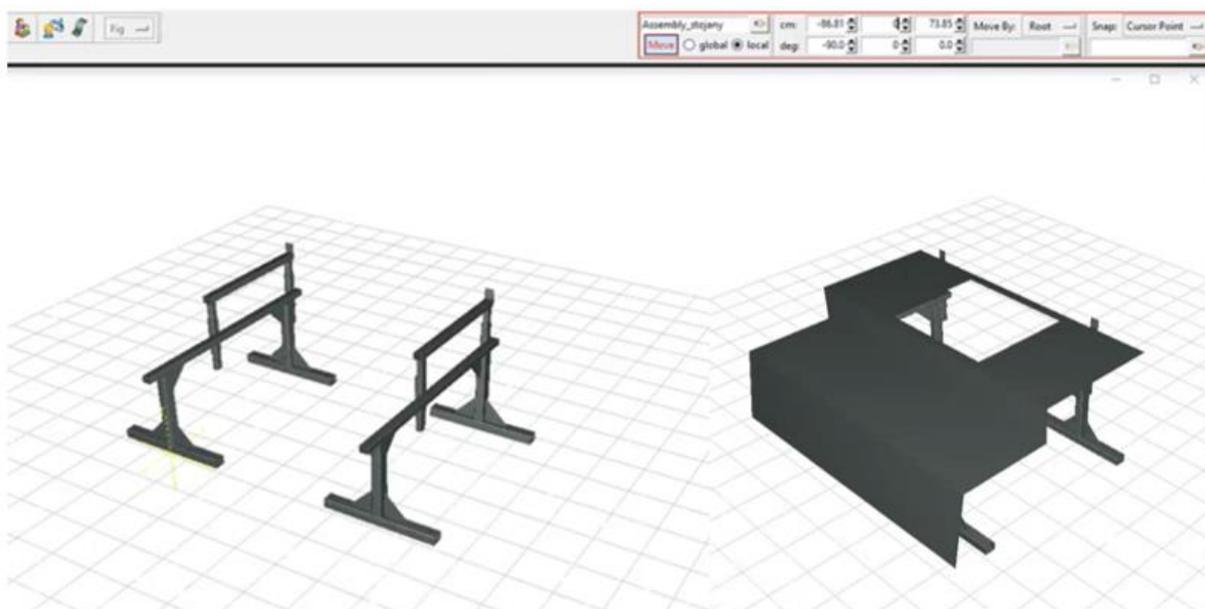
Obrázek 5-12: Dialogové okno pro import

Po ověření a otevření souboru se model naimportuje. Současně s importem se otevře okno importlog (viz. Obrázek pod textem), které zobrazí upozornění v případě, že by došlo k nějakému problému při importu. Nejčastějším problémem při importu je problém s cestou (načtení, zapsání). Jelikož se nejedná o český produkt, není vhodné ukládat soubory do složek s diakritikou, nedojde následně k načtení.



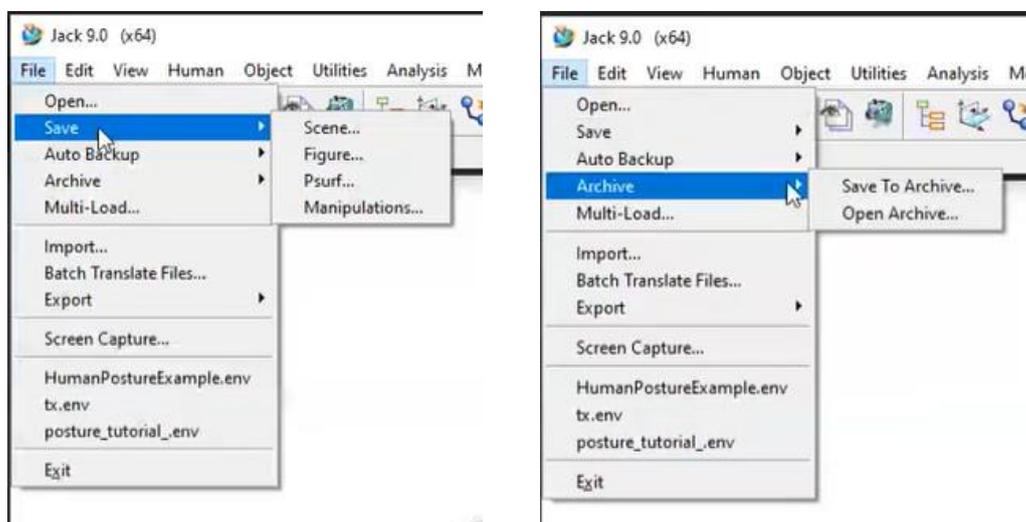
Obrázek 5-13: Importlog

Poloha podpěr je závislá na nadefinovaném souřadnicovém systému u daného modelu, v případě diplomové práce v sw. Autodesk Inventor. Po importu tedy musí být zajištěna správná poloha objektů. Poloha se mění buď pomocí klávesových zkratk, nebo pomocí příkazového okna, které je znázorněno pomocí obrazce na obrázku pod textem. Totéž provedeme i u druhého objektu-výrobku. Musí se opět zajistit správná poloha a napolohování spolu s podpěrami. Tím dojde ke spojení dvou objektů.



Obrázek 5-14: Import a polohování objektů

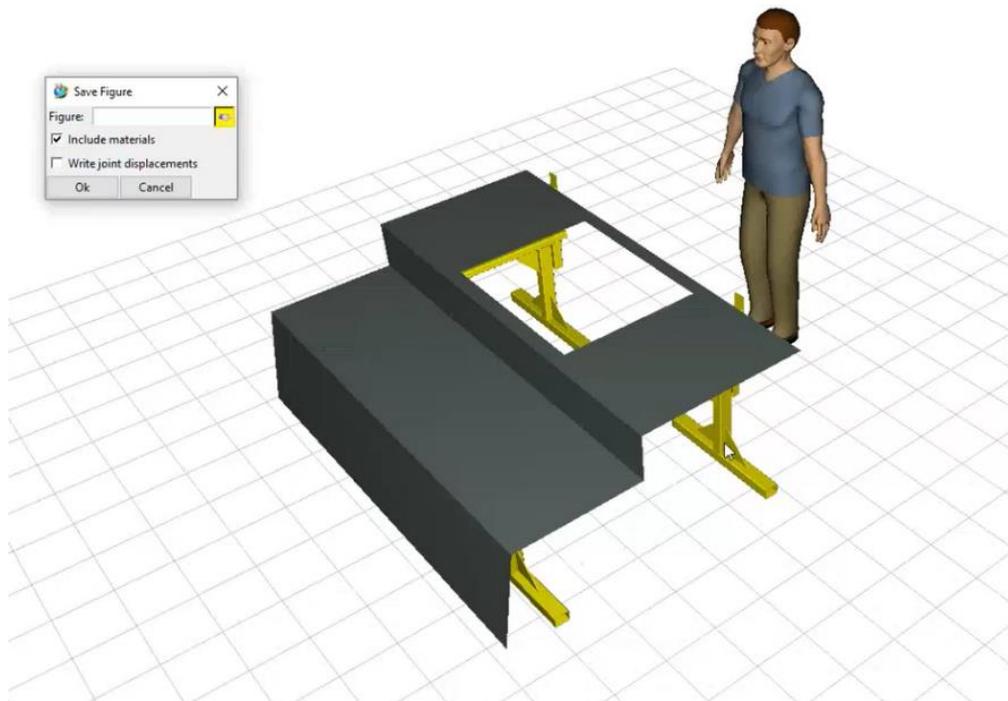
V případě, že importujeme modely z jiného softwaru a budeme s nimi chtít nadále pracovat v sw. Jack, je vhodné přeimportovat modely z formátu *.jt do formátu Tecnomatic Jack *.fig. Děje se to z důvodu opětovného otevření a výskytu chybových hlášek. Nelze uložit kompletní scénu ve formátu *.jt. Uložení probíhá dvěma způsoby, pomocí příkazu Save nebo Archive. Save umožňuje ukládat celou scénu, figuru (objekt) nebo komponenty. Buď přes tlačítko save, uložit scénu, figuru (jeden daný objekt). Pokud chceme ukládat celý objekt, doporučuje se použít Save To Archive. I když má i první varianta možnost ukládání celé scény, může dojít k tomu, že se neuloží všechny objekty, nebo textury k objektům.



Obrázek 5-15: Ukládání objektů

Jak už bylo výše zmíněno, při opětovném otevření celé scény je nejlepším řešením pro zamezení chybovosti, objekty uložit do formátu s příponou *.fig. Přesun do jiného formátu se uskutečňuje pomocí příkazu File-Save Figure, označením objektu a výběrem cíle uložení.

Výběr objektu je k vidění na obrázku pod textem. Takto vybereme a uložíme všechny objekty, které byly vymodelovány nebo přeneseny z cizího zdroje.



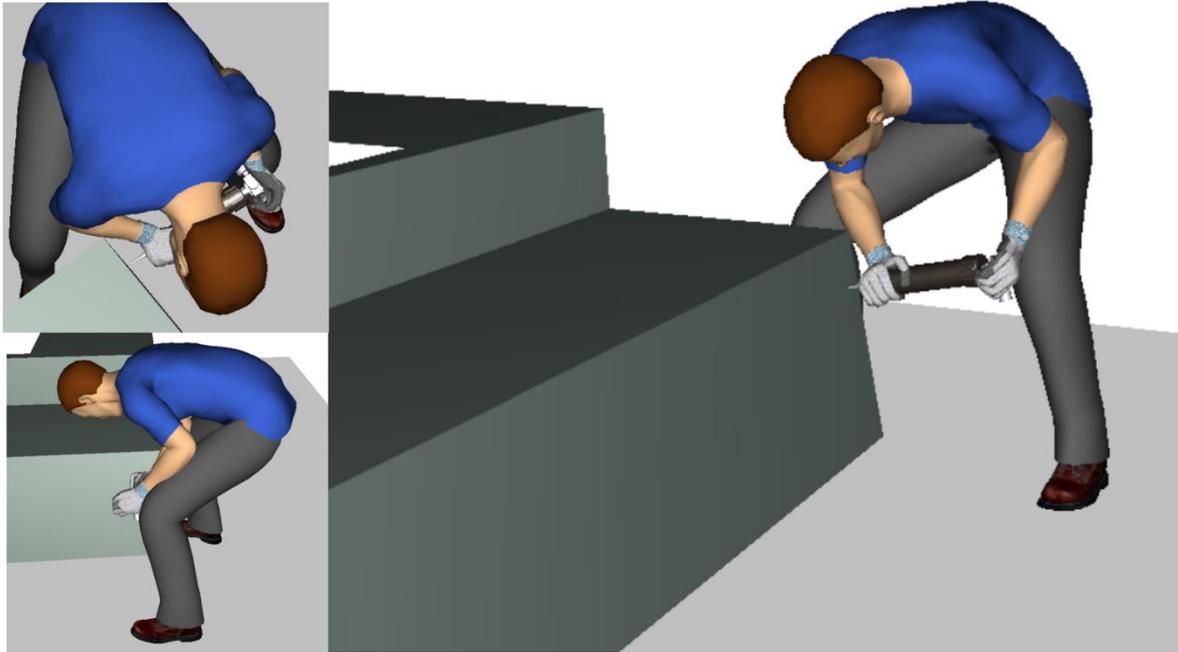
Obrázek 5-16: Objekty v uživatelském prostředí

V posledním kroku následuje import objektů ve vyhovujícím formátu, zajištění objektů do správné polohy a uložení celé scény. Pro lepší práci v softwaru se může upravit prostředí podle přivětivosti (změna pozadí, změna podlahy či změna barvy objektů).

Polohování digitálního modelu člověka

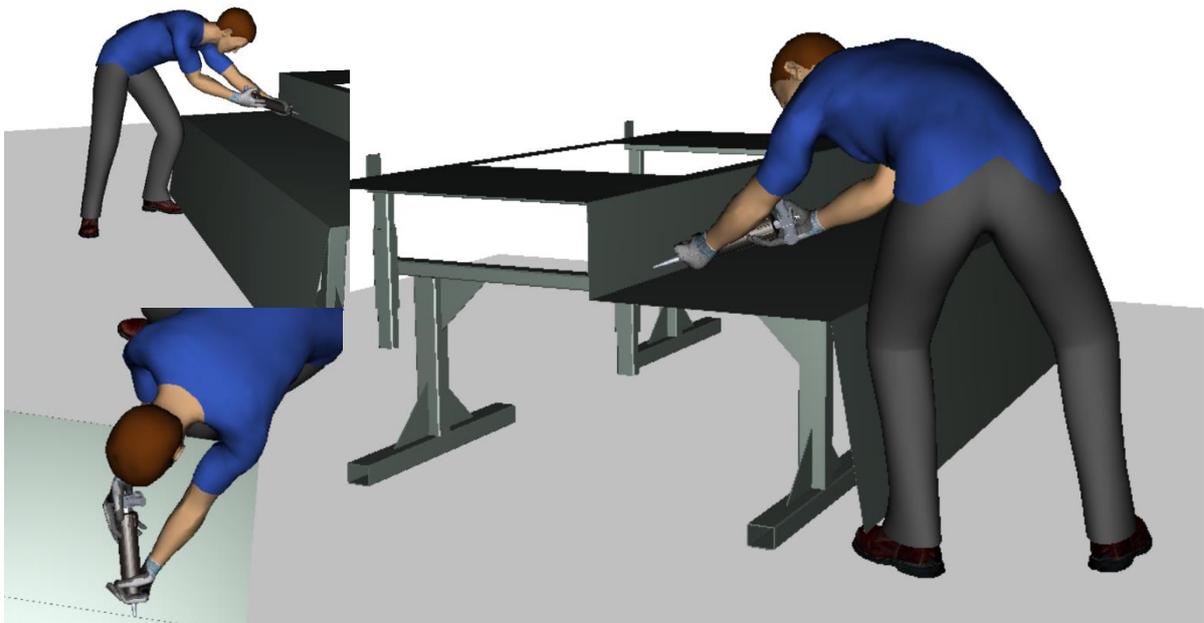
Polohování modelu člověka v softwaru se představilo v předchozích kapitolách, nyní budou znázorněny polohy, které se uvažují při analýzách. Jedná se o stejné čtyři polohy jako byly zobrazeny u systému CAPTIV.

První polohou je poloha, kdy sledovaná osoba provádí bodování spodní plochy výrobku. Postoj lze charakterizovat stojem rozkročným s ohnutým předkloněným trupem. Obě horní končetiny (ruce) jsou opřeny o dolní končetinu (stehenní kost) z důvodu vyvinutí přítlačné síly na svařovací hlavici. Podepření umožňuje lepší manipulaci a podporu při vyvinutí potřebné síly pro provedení bodování. Levá horní končetina drží uchopovací část hlavice, pravá horní končetina se nachází na zadní části hlavice, která slouží právě k bodování (vyvinutí tlačné síly). Pohled směřuje vždy do bodované části, s pohledem jde i pohyb hlavy.



Obrázek 5-17: Poloha 1 při svařování v Tecnomatix Jack

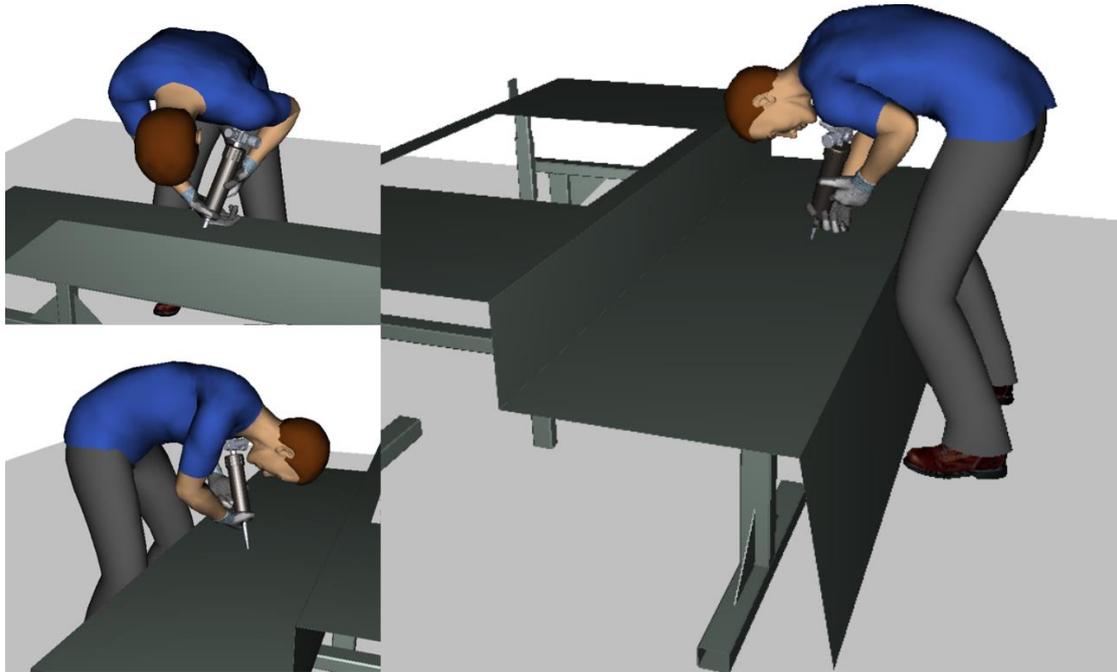
Druhá poloha byla vybrána při bodování plochy nacházející se mezi horní a spodní částí výrobku. Jedná se o plochu, která je kolmá k horní ploše. Poloha postavy sledované osoby se nachází v podřepu, ve stoji rozkročném, kdy je větší část váhy na levé dolní končetině. Sledovaná osoba se nachází v ohnutém předklonu s pozicí hlavy, kdy oči sledují bodovanou plochu. Levá horní končetina uchopuje spodní část hlavičky, pravá horní končetina slouží opět k vyvinutí přítláčné síly při bodování.



Obrázek 5-18: Poloha 2 při svařování v Tecnomatix Jack

Ve třetí poloze sledovaná osoba provádí bodové svařování plochy mezi horní a spodní částí výrobku. Jedná se o plochu rovnoběžnou s horní plochou. Zde se jedná opět o postoj v podřepu

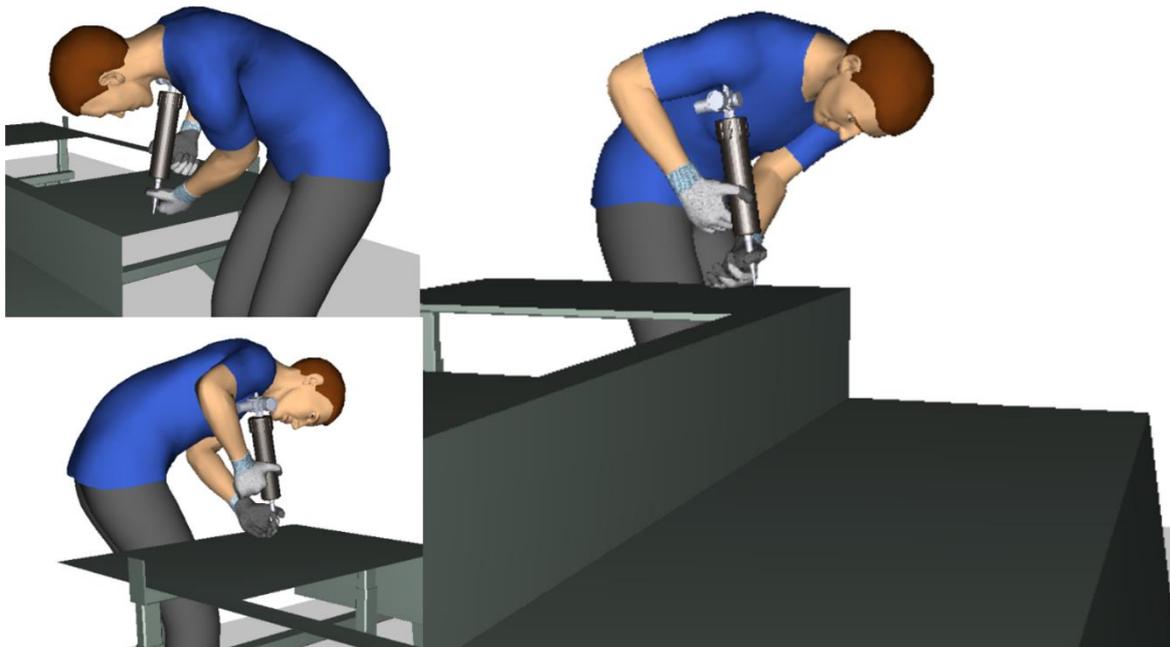
(tupý úhel stehno bérec), ohnutý předklon, nohy mírně rozkročné, váha na obou dolních končetinách. Rozkročení je užší než u předchozích dvou případů.



Obrázek 5-19: Poloha 3 při svařování v Tecnomatix Jack

Pozice hlavičky svářečky se nachází pod levým ramenem (na obrázku pod textem rameno blíže v pohledu), kde je hlavička opřena. Rameno provádí pohyby pro vykonání přitlačné síly. Levá horní končetina uchopuje hlavičku ve vyšší poloze, palec přidržuje horní část, zbytek prstů přidržuje hlavičku ze spodní strany. Pravá horní končetina přidržuje hlavičku ve spodní části ze spodní strany hlavičky.

Poslední poloha sledované osoby je při svařování horní části plochy.



Obrázek 5-20: Poloha 4 při svařování v Tecnomatix Jack

Zde se jedná o postoj vzpřímený s mírným ohnutým předklonem, pravým bokem k výrobku. Nohy jsou mírně rozkročné, hlava směřuje opět na bodovanou část. Horní končetiny se nacházejí na hlavici v pokrčené poloze.

5.3.2 Provedené ergonomické analýzy

Provedení ergonomických analýz je uskutečněno pomocí dvou systémů: Captiv a Tecnomatix Jack, jak už bylo v úvodu diplomové práce nastíněno. V Tecnomatix Jack se k hodnocení poloh využije dvou ergonomických metod, a to metody RULA a metody hodnocení dle České legislativy, které jsou blíže popsány v kapitole 2. Ergonomické analýzy. Pro oba softwary jsou vybrány čtyři polohy sledované osoby při uvažování čtyř odlišných svařovacích ploch. Hlavními plochami jsou: spodní čelní plocha výrobku, horní plocha výrobku, část výrobku mezi horní a spodní plochou (rovnoběžná plocha s horní plochou i plocha kolmá k horní ploše). K těmto plochám jsou totožné i polohy. Jedná se o polohy, kdy se ve většině případů sledovaná osoba nachází v podřepu s ohnutým předkloněným trupem. V horních končetinách drží svařovací hlavici s koncem určeným k vyvinutí přitlačné síly.

- **CAPTIV**

Výstupem ze systému CAPTIV jsou čtyři grafy pro čtyři polohy, které se skládají z několik oblastí. V první oblasti se nacházejí hodnoty, které se vztahují k pravému a levému lokti (označeno Elbow). Jedná se o hodnoty Flexe/Extenze (Elbow Flex/Ext). Flexe značí zmenšení úhlu mezi dvěma částmi těla (ohnutí paže v lokti). Extenze je opakem flexe, zvětšení úhlu mezi dvěma částmi těla (natažení paže v lokti). Poslední hodnotou příslušící k lokti je rotace. Všechny hodnoty jsou ve stupních. Hodnoty mohou být jak kladné, tak záporné. Znaménko značí směr např. směr rotace v lokti.

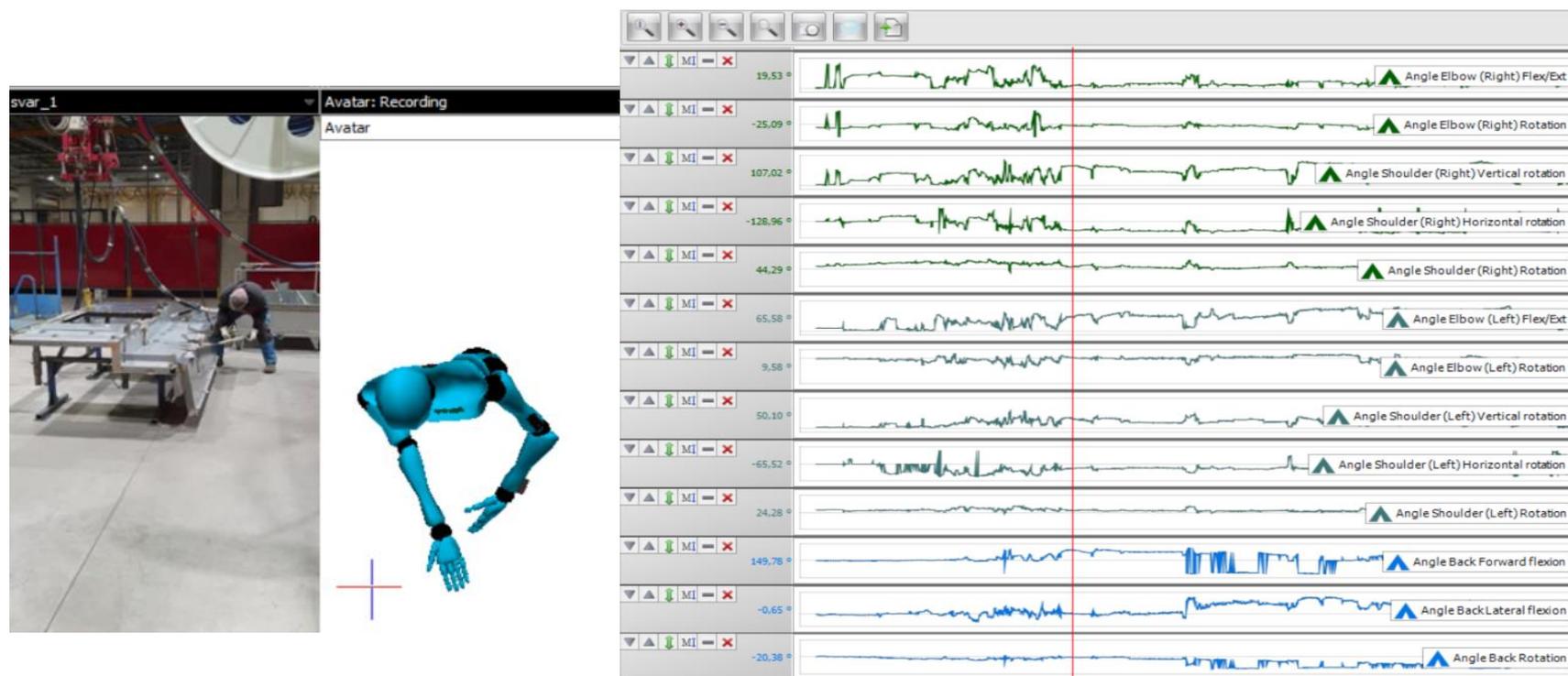
Druhá oblast se zaměřuje na pravé a levé rameno (Shoulder). Zde se nacházejí tři možnosti polohování ramene, které hrají roli při ergonomických analýzách. Jsou jimi vertikální rotace (Vertical rotation), horizontální rotace (Horizontal rotation) a rotace (Rotation). Vertikální rotace představuje abdukci neboli upažení, kdy se jedná o úhel mezi připažením a upažením (pro přijatelnou polohu je stanovena hodnota 0°- 40°). Horizontální rotace zobrazuje předpažení a zapažení (přijatelná poloha je ve stejném rozmezí jako u vertikální rotace). Když se horizontální rotace rovná 0° a vertikální rotace 90° jedná se o upažení. Pokud má vertikální rotace 90° a horizontální rotace -90°, pak je rameno v pozici předpažení. Poslední variantou je rameno v pozici vertikální rotace 90° a horizontální rotace 60°, zde se jedná o zapažení.

Poslední oblast se zaměřuje na trup (back), i zde se dělí pohyb trupu do třech poloh: předklon/záklon (Forward flexion), úklon (Lateral flexion), rotace neboli otáčení (Rotation). U předklonu/záklonu se rozmezí pro přijatelné polohy pohybuje od 0° do 40°. U úklonu je rozsah pro přijatelnou polohu stanoven od 0° do 20°. Poslední je otáčení, kde se rozmezí pro přijatelné polohy pohybuje se stejnými hodnotami jako u úklonu (0°-20°).

Výsledky byly ovlivněny elektromagnetickým polem od bodového svařování, jak bude popsáno v dalších kapitolách. Pro potvrzení byly proto výsledky měření porovnány s TX Jack.

Poloha 1

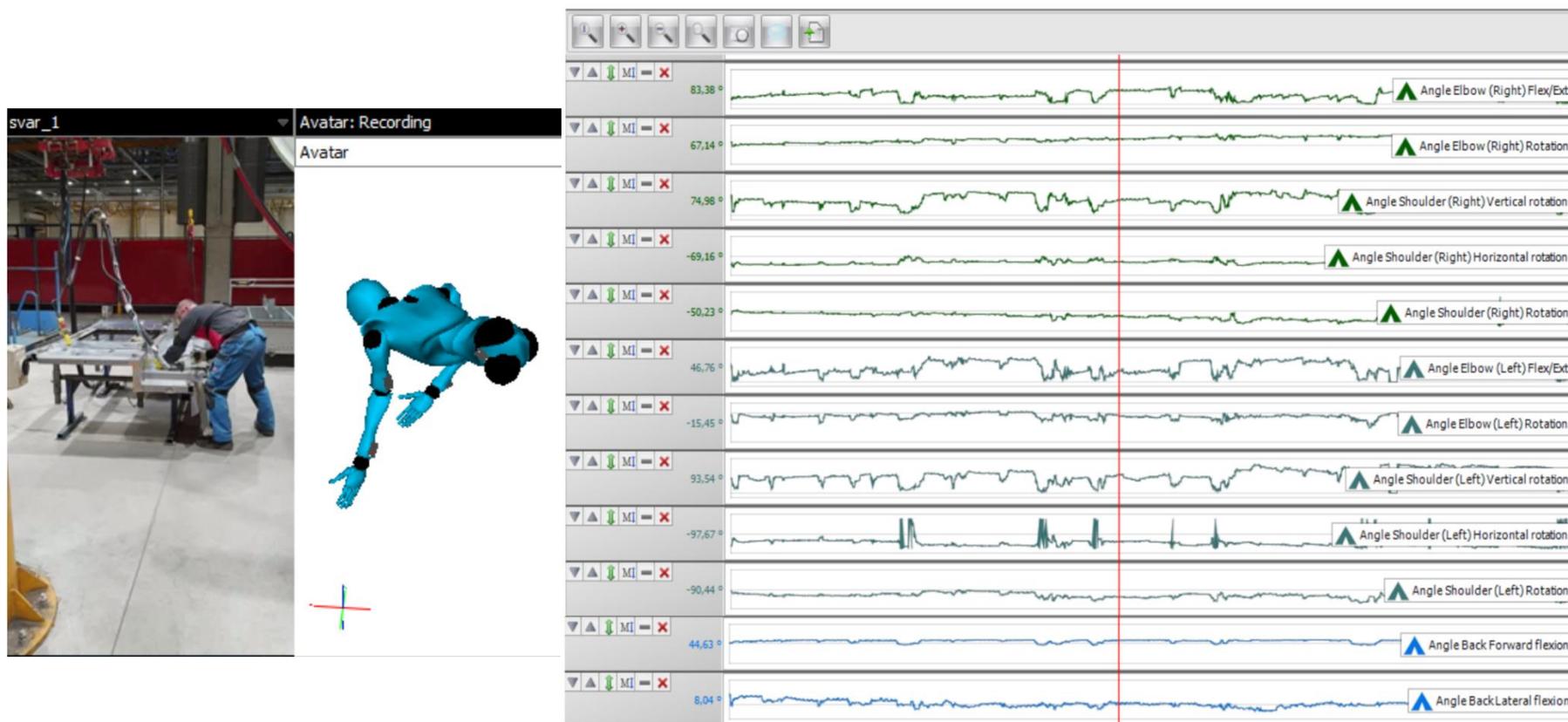
Polohu loktu určují dvě hodnoty, a to flexe (ohnutí paže v lokti) a rotace (rotace předloktí). U pravého loktu flexe činí 20° (natažená ruka 0°) a rotace -25° (rotace ruky za palcem směrem do pravé strany). Vnitřní strana předloktí směřuje vzhůru. U levého lokte se flexe rovná 66° a rotace 10° (vnější strana předloktí směřuje vzhůru). Pro rameno jsou specifické tři klouby tedy tři polohy: vertikální rotace (abdukce-upažení/připažení), horizontální rotace (předpažení, zapažení) a rotace v rameni. U pravého ramene je výsledná abdukce 107° , což charakterizuje upažení ruky. Z vizualizace měření níže je již patrné, že tato hodnota není správná. K takto velké abdukci nedošlo a hodnota bude tudíž ovlivněna elektromagnetickým polem. Horizontální rotace ramene vyšla -129° . Záporné znaménko uvádí polohu ramene do předpažení. I v tomto případě není z vizualizace patrné tak velké předpažení. Poslední hodnota 44° se přiřazuje k rotaci ramene. Pro levou ruku abdukce činí 50° , předpažení ramene -66° a rotace 25° . Poloha levého ramene vychází v porovnání s pravým ramenem lépe. Poslední částí je poloha trupu v předklonu (flexe) s hodnotou $149,78^\circ$ s pravým úklonem (lateral flexe) $-0,6^\circ$ a rotací trupu -20° , znaménko určuje rotaci trupu na levou stranu. Kladné znaménko by znamenalo rotaci trupu do pravé strany. Hodnota flexe trupu je zde opět velmi vysoká oproti reálu. Hodnota bude ovlivněna chybou při měření.



Obrázek 5-21: Poloha 1 při svařování a výstup ze systému CAPTIV

Poloha 2

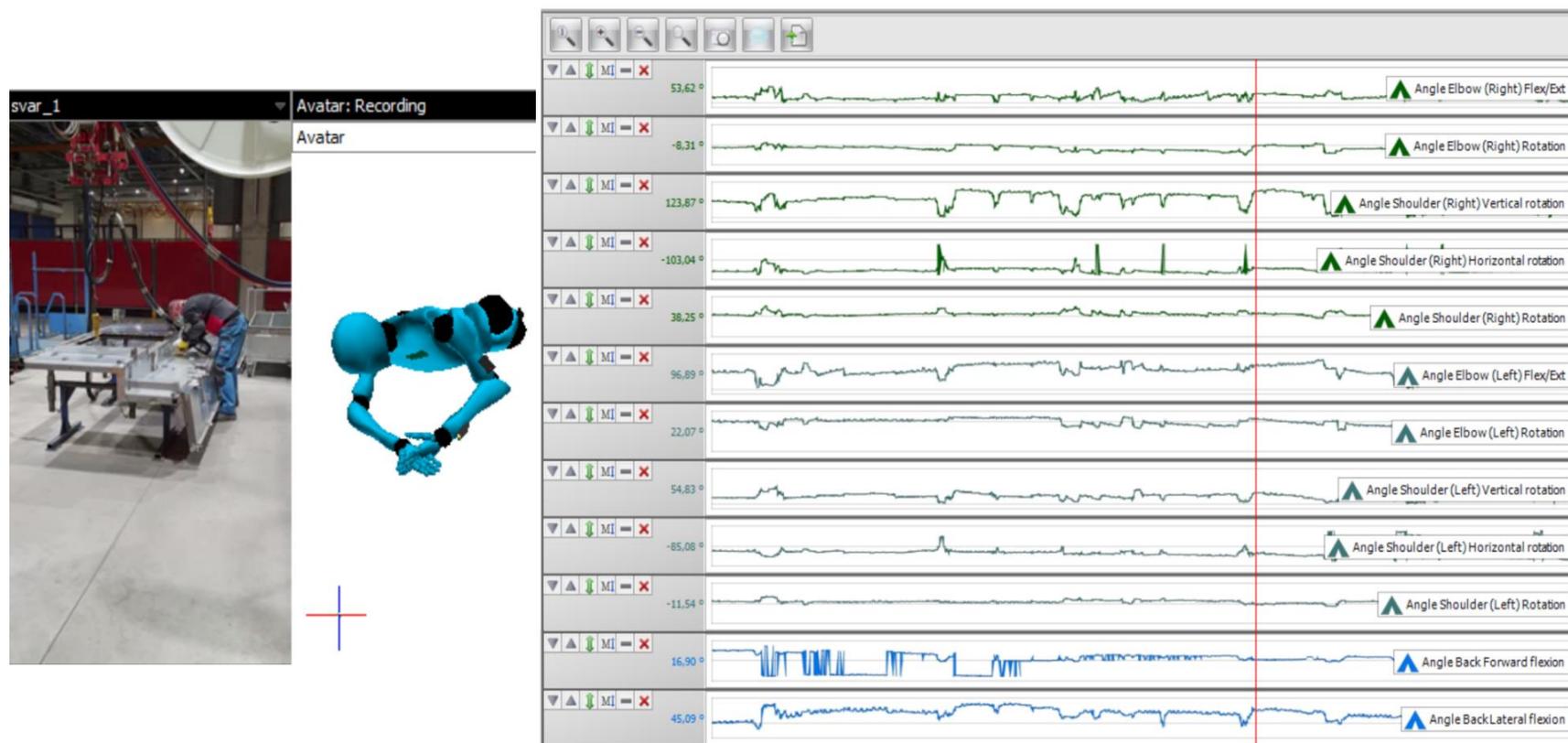
U druhé polohy je pozice pravého loktu u flexe (ohnutí paže) 83° a 67° pro rotaci (vnější strana předloktí směřuje vzhůru). Pro levé rameno jsou výsledné hodnoty u flexe 47° a u rotace $-15,5$ se záporným znaménkem, které charakterizuje rotaci ruky s vnitřní stranou předloktí směřující vzhůru. Hodnota pro pravé rameno se u abdukce vyčíslila na 75° (téměř upažení), předpažení ramene na 69° a rotace na -50° . Pro levé rameno je výslednou hodnotou abdukce 94° (upažení), předpažení ramene 98° a rotace -90° . U trupu se hodnota předklonu stanovila na 45° , pro pravý úklon trupu 8° .



Obrázek 5-22: Poloha 2 při svařování a výstup ze systému CAPTIV

Poloha 3

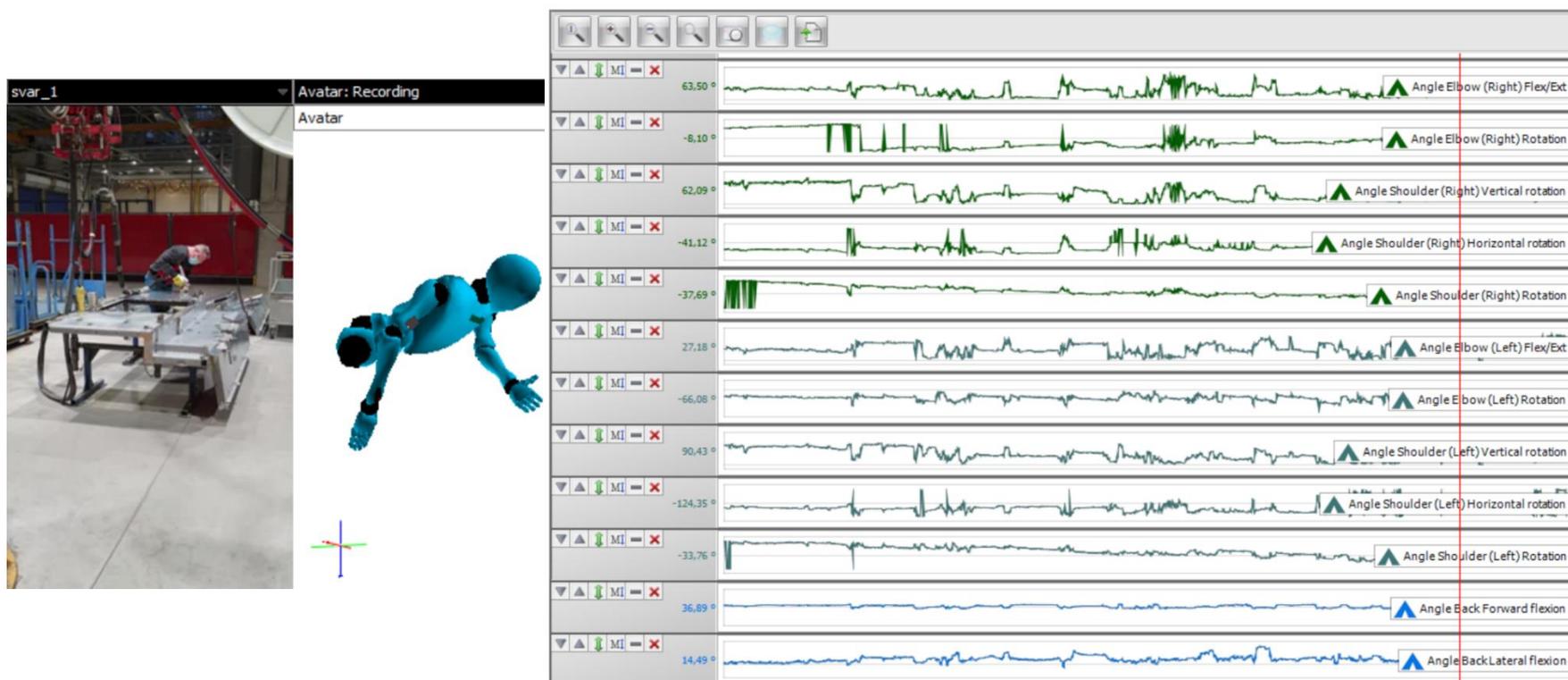
Z vyhodnocení u polohy tři vyplývá, že pro pravý loket se abdukce vyšplhala na hodnotu 54° a rotace na $-8,3^\circ$ se záporným znaménkem charakterizující rotaci ruky za palec směrem do pravé strany. U levého loktu se hodnota rotace liší v znaménku s číslem 22° , vnější strana předloktí směřuje vzhůru, což lze vidět na obrázku pod textem. Loket je ohnutý na hodnotu 97° . U ramene se hodnoty definují pro vertikální rotaci, horizontální rotaci a rotaci. U pravého ramene se stanovila hodnota u vertikální rotace (upažení) na 124° , předpažení ramene na 103° a rotace s hodnotou 38° . Z vizualizace měření níže je již patrné, že hodnota vertikální rotace není správná. Hodnota byla ovlivněna elektromagnetickým polem. Pro levé rameno abdukce činí 55° , předpažení ramene 85° a rotace -12° . V porovnání s pravým ramenem se jedná o nižší hodnoty. Tak jako u předchozích poloh i zde se poslední část zaměřuje na trup s předklonem 17° a pravý úklon 45° . Hodnota předklonu trupu v porovnání s obrázkem není odpovídající, hodnota předklonu trupu by měla odpovídat vyšší hodnotě. I zde byla hodnota ovlivněna působením elektromagnetického pole.



Obrázek 5-23: Poloha 3 při svařování a výstup ze systému CAPTIV

Poloha 4

V poslední poloze sledovaná osoba svařuje horní plochu výrobku. Ohnutí pravé paže v lokti (flexe) má výslednou hodnotu 64° a rotace předloktí -8° se záporným znaménkem, kdy vnitřní strana předloktí směřuje vzhůru. U levého lokte se jedná o hodnotu 28° pro ohnutí paže v lokti a pro zápornou hodnotu -66 charakterizující směr předloktí, jako tomu bylo u pravé paže. Pro pravé rameno polohový senzor vyhodnotil úhel od připažení 62° , předpažení 41° a rotaci -38° . S ohledem na polohu pravé končetiny na vizualizaci vyplývá, že i zde se jedná o ovlivnění hodnoty, neboť celá pravá končetina směřuje opačným směrem. U levého ramene upažení vyšlo s hodnotou 90° , předpažení s hodnotou -124° a rotace s hodnotou -34 . Hodnota předpažení se neslučuje s vizualizací, hodnota byla ovlivněna vlivem elektromagnetického pole. I zde se určuje předklon a úklon trupu. Předklon trupu činí 37° , hodnota není odpovídající. I v tomto případě došlo ovlivnění hodnoty vlivem působení elektromagnetického pole. Poslední hodnota je určena pro pravý úklon trupu s výsledkem $14,5^\circ$.



Obrázek 5-24: Poloha 4 při svařování a výstup ze systému CAPTIV

• Tecnomatix Jack

Pro zhodnocení zatížení horních končetin byla vybrána metoda RULA, která slouží k ergonomickým analýzám pracovišť. U analýzy se určuje tzv. skóre, které zařadí polohu do jedné ze čtyř kategorií. Kategorie 1, skóre 1-2 je určen pro přijatelnou polohu. V druhé kategorii (skóre 3-4) lze uvažovat o změnách. Do třetí kategorie (skóre 5-6) patří polohy, u kterých je brzký požadavek na změny. Skupinu uzavírá kategorie 4 se skórem 7, okamžitý požadavek na změny.

Druhým zvoleným hlediskem hodnocení poloh je hodnocení podle české legislativy Nařízení vlády č. 361/2007 Sb., kterými se stanovují podmínky ochrany zdraví při práci. Na základě stanovených limitů se začlení pracovní polohy do jedné ze tří skupin poloh: přijatelné pracovní polohy, podmíněně přijatelné pracovní polohy, nepřijatelné pracovní polohy.

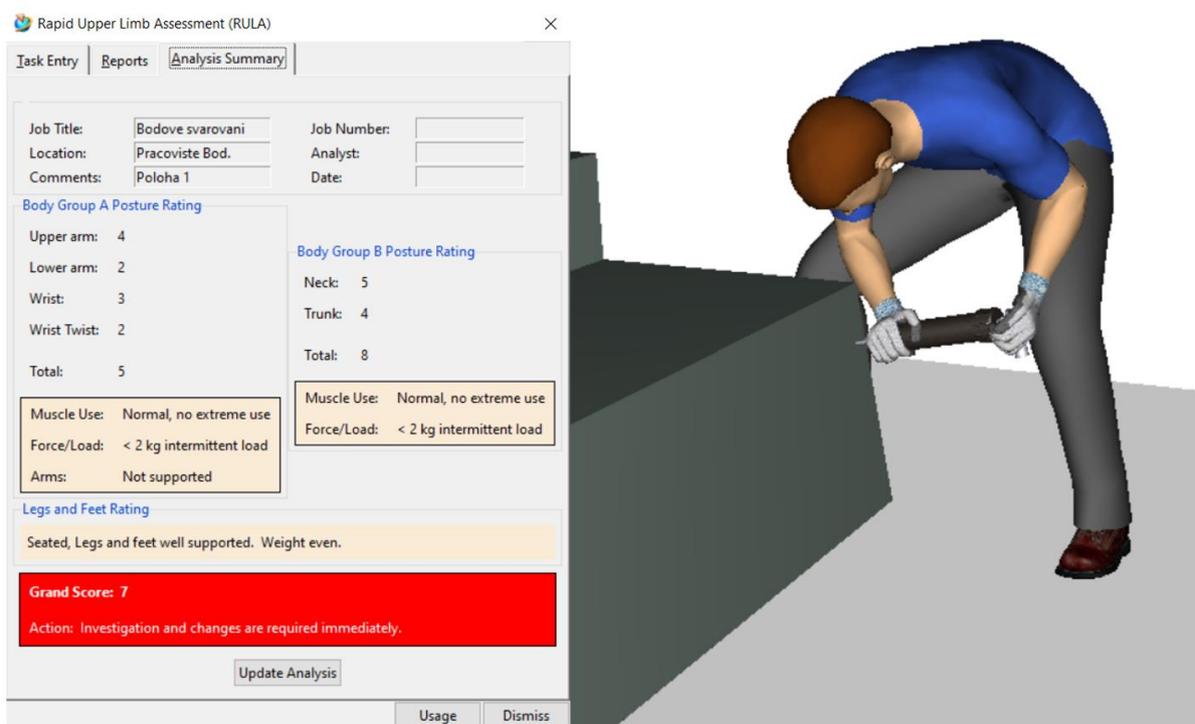
Poloha 1

Jedná se o polohu, kdy se sledovaná osoba nachází v postoji se stojem rozkročným a ohnutým předkloněným trupem. Obě horní končetiny jsou opřeny o dolní končetinu (stehenní kost) z důvodu vyvinutí přítlačné síly na svařovací hlavici.

• Hodnocení – metoda RULA

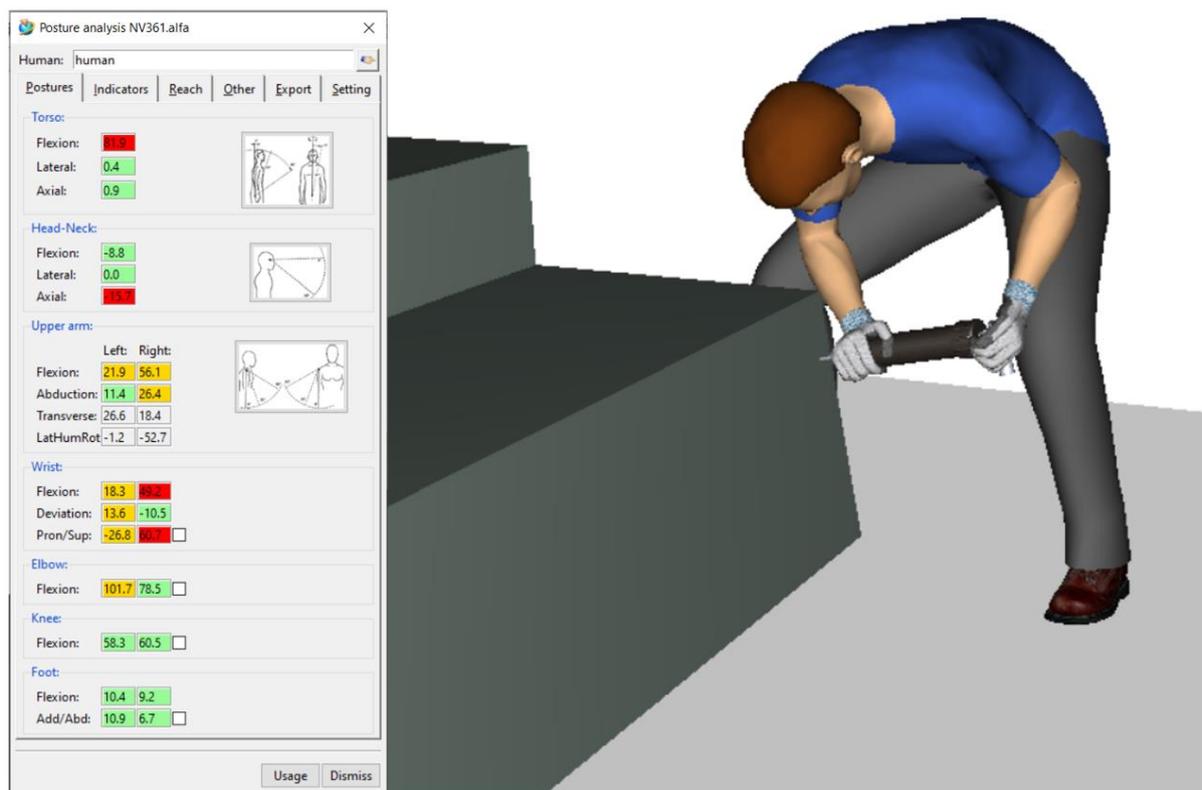
Výstupem RULA analýzy je celkové skóre 7 zařazující pracovní polohu do kategorie 4, která je charakterizovaná zvýšenou zátěží s požadavkem na změnu. Ve skupině A se nachází skóre pro jednotlivé části těla. Jedná se o horní končetiny, předloktí, polohu zápěstí a rotaci zápěstí. Ve skóre A je nejhorším skórem 4, které vyšlo pro horní končetiny.

Skupina B zahrnuje hodnocení trupu a krku s celkovým skórem 8. V poslední části jsou přičteny svalové korekce k jednotlivým skórem.



Obrázek 5-25: Poloha 1 – hodnocení RULA

- **Hodnocení – Nařízení vlády 361/2007 Sb.**



Obrázek 5-26: Poloha 1 - hodnocení podle české legislativy

Z hodnocení poloh dle české legislativy vyplývá, že mezi nejvíce zatížené části těla u polohy 1 patří trup, krk a zápěstí. Kritickou polohou trupu je předklon s hodnotou $81,9^\circ$. Maximální hodnota u předklonu pro přijatelnou polohu činí max. 40° . U pravého zápěstí se v červené oblasti nachází flexe (ohnutí zápěstí) s hodnotou $49,2^\circ$ a pron/sup $60,7^\circ$.

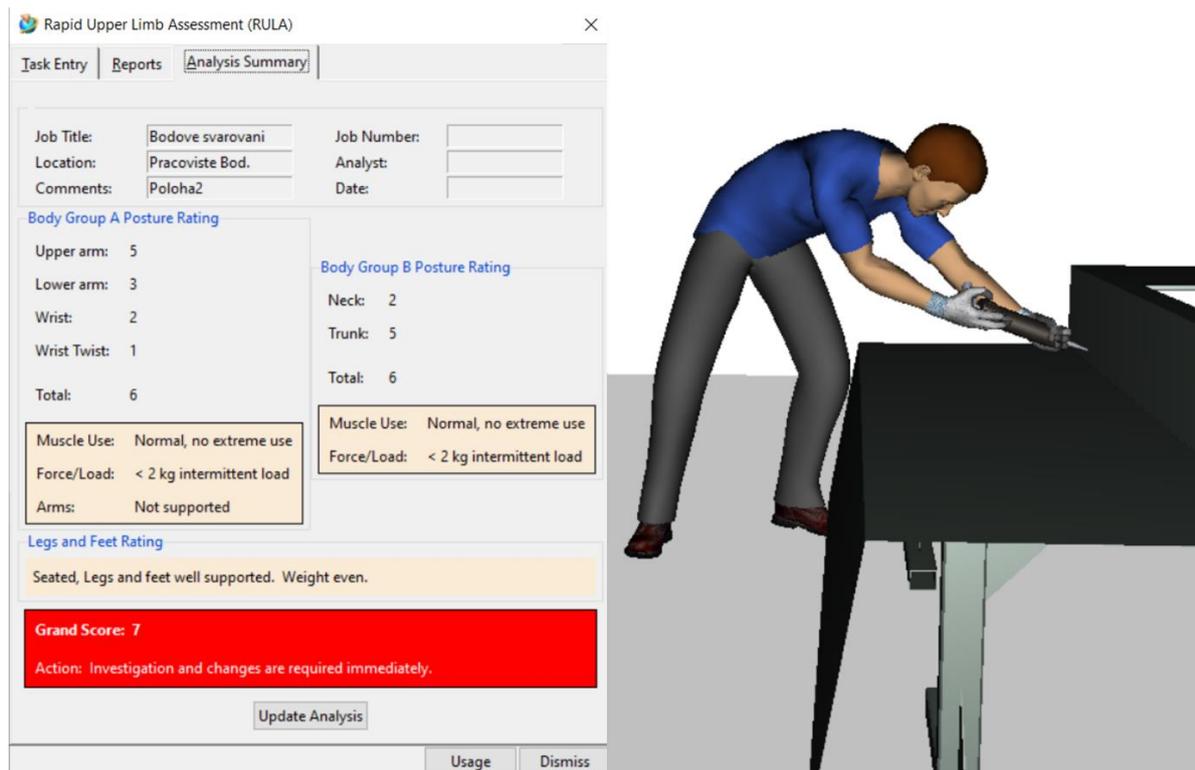
Ve skupině mající oranžovou barvu se nachází rotace krku, kdy osoba provádějící svařování plochy sleduje hlavici. Dále horní končetiny, přesněji poloha ramenou – připázení/upažení. Vyšší hodnota je vyčíslena pro pravé rameno. U levého zápěstí se v podmíněně přijatelných polohách vyskytuje deviace (odklon od palce). Poslední částí těla, které je zahrnuto v oranžové oblasti, je hodnota u ohnutí levého loktu (flexe). Primární snahou je odstranění červených oblastí (nepřijatelné pracovní polohy) a zlepšení nebo omezení oranžových oblastí (podmíněně přijatelné pracovní polohy).

Poloha 2

Poloha postavy sledované osoby se nachází jako v prvním případě v podřepu, ve stoji rozkročném v ohnutém předklonu. Větší část váhy je přenesena na levé dolní končetině. Levá horní končetina uchopuje spodní část hlavice, pravá horní končetina slouží opět k vyvinutý přitlačné síly při bodování

- **Hodnocení – metoda RULA**

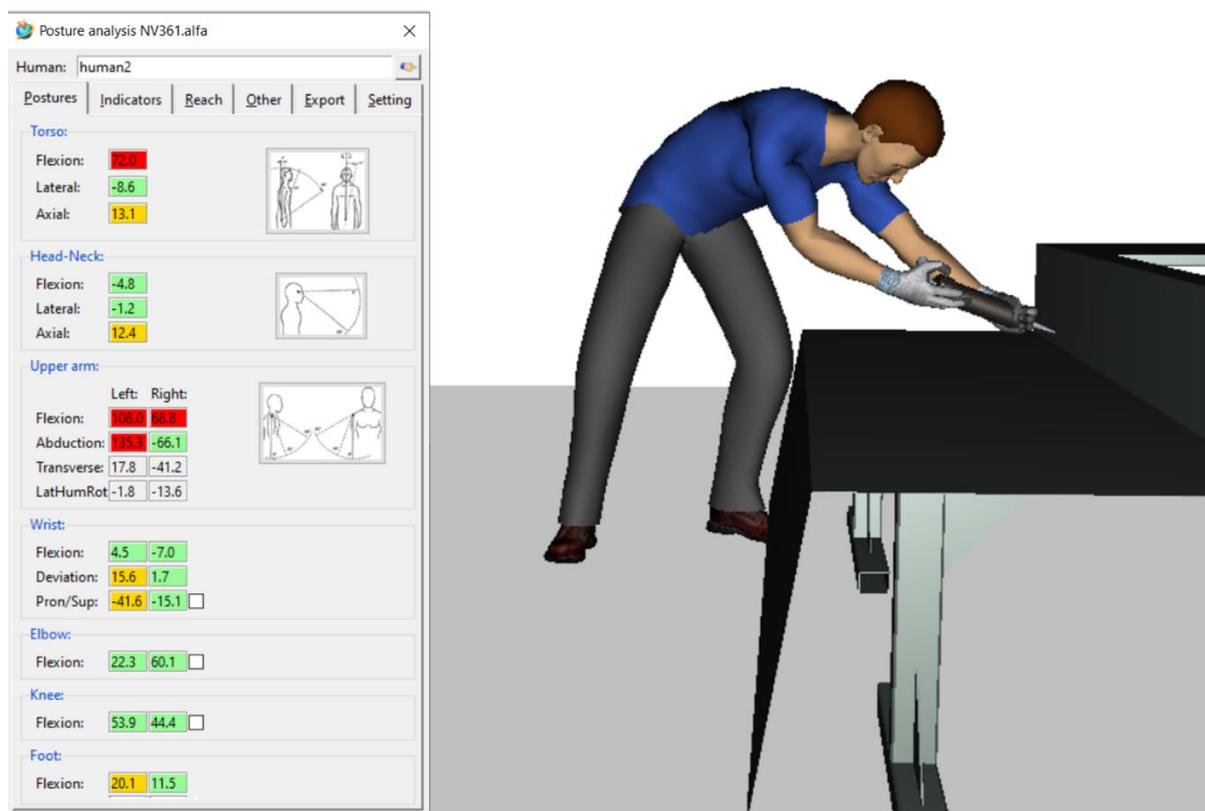
Poloha 2 se řadí do skóre 7, které stanovuje polohu jako nepřijatelnou s okamžitou nutností změny. Nejvyšší skóre ve skupině A je u horních končetin, kdy se sledovaná osoba nachází v předklonu a horní končetiny jsou namáhané z důvodu svařování čelní plochy. Ve skóre B je nejkritičtější oblastí trup, který se odvíjí od předklonu sledované osoby. Skóre dílčích skupin A a B je v tomto případě totožné.



Obrázek 5-27: Poloha 2 – hodnocení RULA

- **Hodnocení – Nařízení vlády 361/2007 Sb.**

Pozice, kdy sledovaná osoba provádí bodování čelní střední plochy vyšla pro tři části těla nepřijatelně. Mezi kritické části těla patří trup a horní končetiny.



Obrázek 5-28: Poloha 2 - hodnocení podle české legislativy

Na obrázku lze vidět, že výsledek předklonu trupu od osy souměrnosti činí 72° . Hraniční hodnotou pro přijatelnou polohu trupu je hodnota 40° , jedná se tedy o dvojnásobnou hodnotu. Ohnutí trupu se jeví jako hlavní problém u všech poloh. Mezi další zatěžované části patří horní končetiny (ramena), především flexe u obou ramen a abdukce u levé ruky. Jak je možné vidět na obrázku, levá ruka drží hlavici ve spodní části, té se přizpůsobuje předklon trupu.

Poloha 3

Ve třetí poloze sledovaná osoba provádí bodové svařování prostřední plochy, která je rovnoběžná s horní plochou. Zde se sledovaná osoba nachází v podřepu a předklonu s nohama mírně rozkročenými. Horní končetiny přidržují hlavici, pravé rameno se o hlavici opírá.

- **Hodnocení – metoda RULA**

Poloha 3 vyšla s výsledným skóre 6, které zařazuje polohu do kategorie 3 s brzkým požadavkem na změnu. Ve skupině A jsou nejvíce namáhány horní končetiny a zápěstí se skóre 3, ve skupině B se skóre 5 řadí k nejvíce namáhaným částem těla trup. V ohrožené oblasti se trup nachází z důvodu hlubokého předklonu, ve kterém sledovaná osoba musí provádět svařování, neboť má o levé rameno opřenou svařovací hlavici.

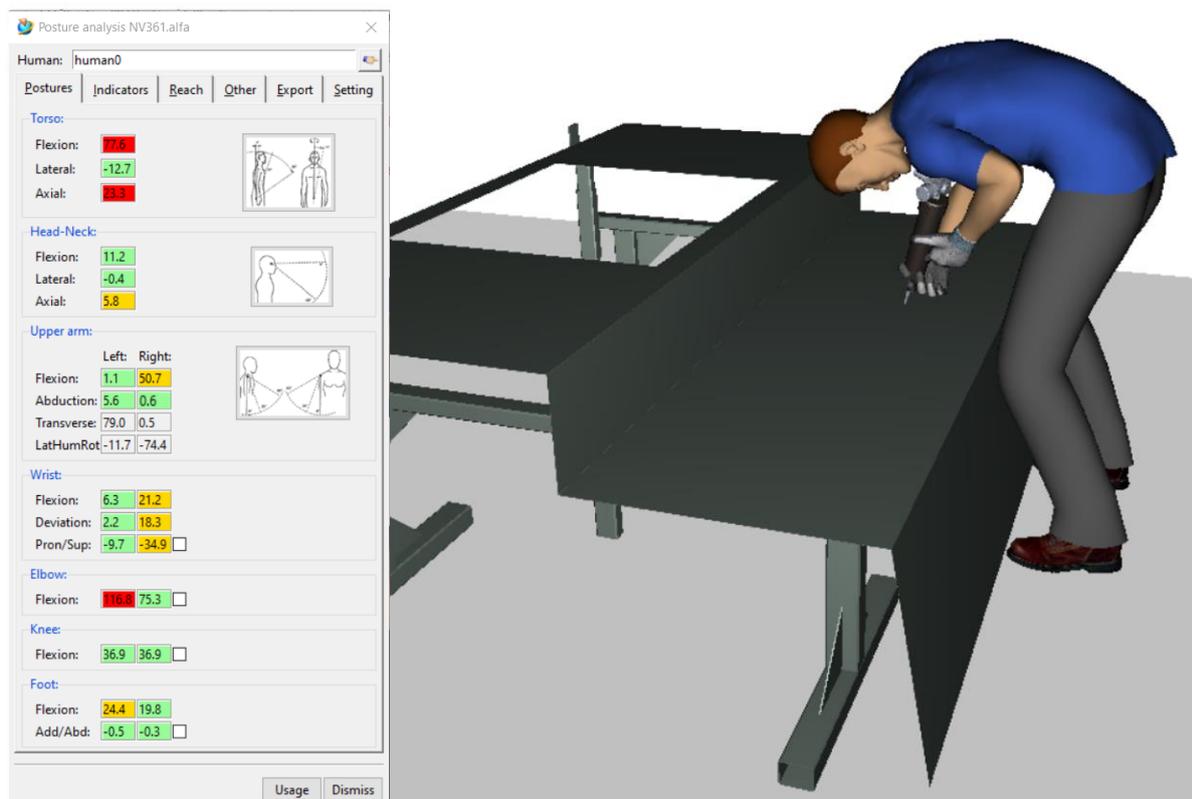
The screenshot displays the RULA software interface with the following data:

Category	Item	Rating/Value
Job Information	Job Title	Bodove svarovani
Job Information	Location	Pracoviste Bod.
Job Information	Comments	Poloha 3
Body Group A Posture Rating	Upper arm	3
Body Group A Posture Rating	Lower arm	2
Body Group A Posture Rating	Wrist	3
Body Group A Posture Rating	Wrist Twist	1
Body Group A Posture Rating	Total	4
Body Group B Posture Rating	Neck	3
Body Group B Posture Rating	Trunk	5
Body Group B Posture Rating	Total	6
Muscle Use	Muscle Use	Normal, no extreme use
Muscle Use	Force/Load	< 2 kg intermittent load
Arms	Arms	Not supported
Legs and Feet Rating	Legs and Feet	Seated, Legs and feet well supported. Weight even.
Grand Score	Grand Score	6
Action	Action	Investigation and changes are required soon.

Obrázek 5-29: Poloha 3 – hodnocení RULA

- **Hodnocení – Nařízení vlády 361/2007 Sb.**

Podle analýzy RULA byla nejvíce zatížená oblast horních končetin a trupu, což analýza dle české legislativy potvrdila. Flexe (předklon) u trupu vyšla s hodnotou $77,6^\circ$, která je téměř dvojnásobnou hodnotou pro přijatelnou polohu ($0-40^\circ$). Rotace trupu kvůli podpírání hlavice na svařování byla stanovena na hodnotu 23° . Pro přijatelnou polohu se jedná o limit od $0^\circ-20^\circ$. Poslední kritickou oblastí je loket, hodnota se přizpůsobuje stejně jako u rotace ke svařovací hlavici. Flexe vychází s hodnotou 117° .

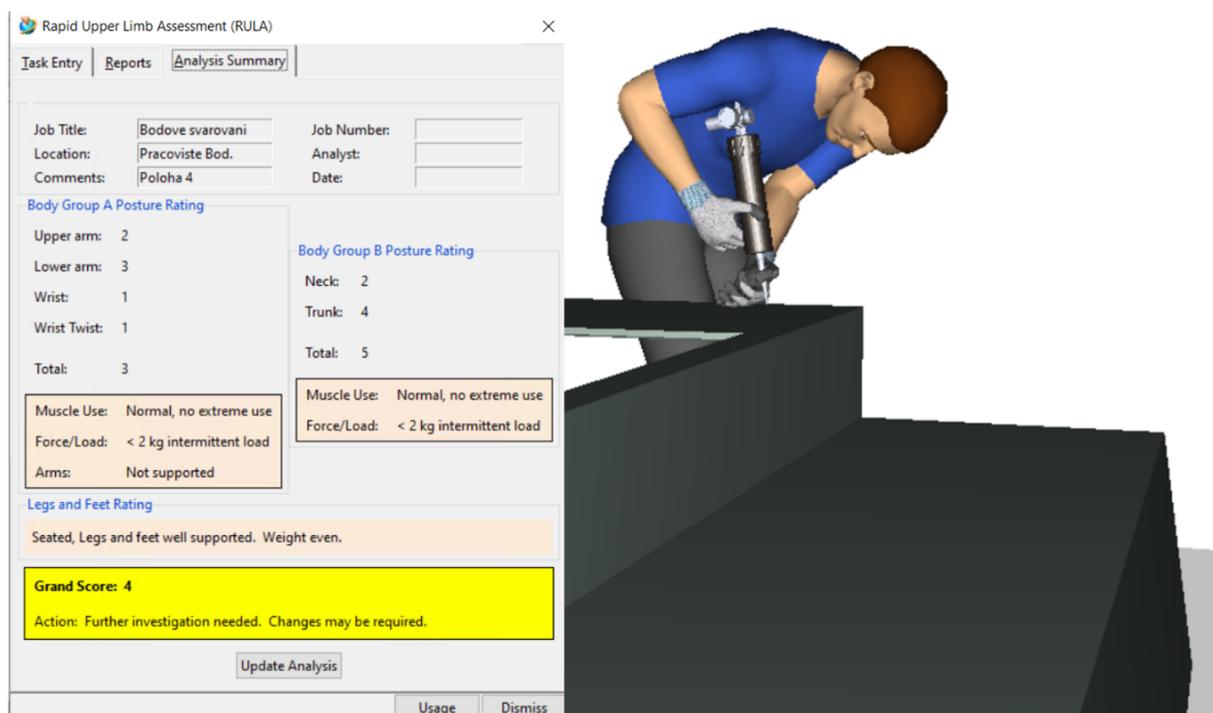


Obrázek 5-30: Poloha 3 - hodnocení podle české legislativy

Poloha 4

V poslední poloze sledovaná osoba svařuje horní část plochy. Zde se jedná o postoj vzpřímený s mírným pokrčením a ohnutým předklonem. Sledovaná osoba je pootočená pravým bokem k výrobku. Nohy jsou mírně rozkročné, hlava směřuje na bodovanou část.

- **Hodnocení – metoda RULA**

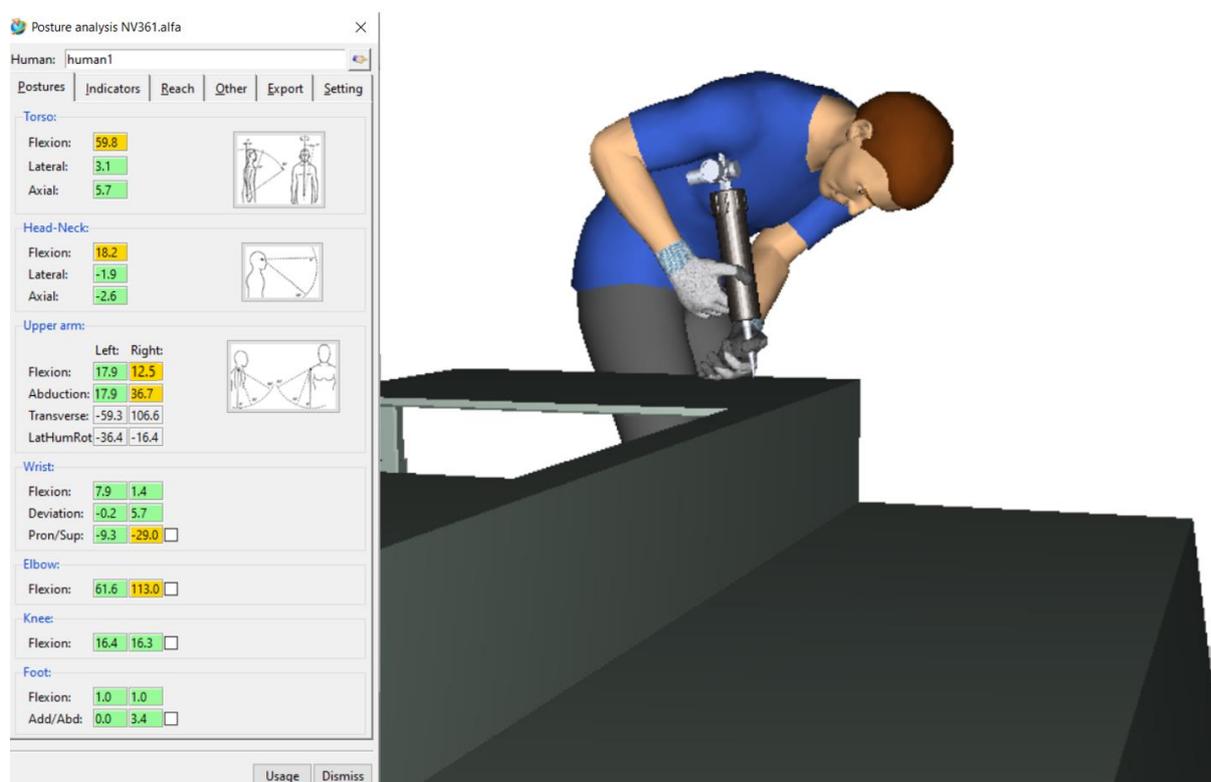


Obrázek 5-31: Poloha 4 – hodnocení RULA

Na základě hodnocení podle metody RULA se poslední poloha nachází ve 2 kategorii se skóre 4. Skupina A charakterizující horní končetina byla vyhodnocena se skóre 3. Skóre 5 přísluší skupině B, kde je nejzatíženější částí těla trup se skóre 4.

- **Hodnocení – Nařízení vlády 361/2007 Sb.**

Tak jako u všech předchozích poloh v porovnání s limity dle české legislativy nejvíce zatěžovanou částí těla je trup, horní končetiny a loket. U trupu je flexe (předklon) vyčíslena na hodnotu 59,8°, která je v porovnání s ostatními polohy nejnižší a nejvíce se blíží přijatelné poloze. Pravé rameno bylo další částí těla nacházející se v oranžové oblasti pro podmíněně přijatelné polohy s hodnotou flexe 12,5° a abdukce 36,7. Znaménko určuje, zdali se jedná o přepažení či zapažení. Další hodnota v oranžové oblasti 29° se vztahuje k zápěstí a poslední hodnota 113° k lokti (flexe=ohyb).



Obrázek 5-32: Poloha 4 - hodnocení podle české legislativy

Porovnání poloh ze softwaru Tecnomatix Jack a biomechanického systému Captiv

Porovnání poloh se nachází v tabulce 5-1 a 5-2, kde jsou hodnoty pro polohy lokte, ramene a trupu. Z vyhodnocení a porovnání poloh vyplývá, že se v některých hodnotách softwaru odlišují. Je to způsobené tím, že při měření pomocí biomechanického systému CAPTIV byly senzory ovlivněny vlivem elektromagnetického pole, které vzniká při bodovém svařování.

Dalším ovlivňujícím faktorem je napolohávní člověka. Není možné napolohovat model v TX Jack do zcela identické polohy jako při měření, a proto jsou hodnoty v některých kloubech odchyleny až o několik stupňů.

Při měření ve společnosti se zobrazující křivky zdály odpovídající, až po vyhodnocení bylo zjištěno, že některé polohy neodpovídají skutečným polohám a senzory byly ovlivněny. Proto jsou pro účely diplomové práce vyhodnoceny pouze polohové senzory, které v několika případech zobrazovaly pro určité části těla hodnoty odpovídající reálným hodnotám. Výstupními, a tudíž směrodatnými hodnotami ergonomické analýzy jsou hodnoty ze sw. Jack, kdy poloha sledované osoby byla provedena podle reálné polohy při svařování.

Tabulka 5-1: Výstup ze systému CAPTIV

CAPTIV		Poloha 1 [°]		Poloha 2 [°]		Poloha 3 [°]		Poloha 4 [°]	
		R	L	R	L	R	L	R	L
Loket	Flexe	20	66	83	47	54	97	64	28
Rameno	Abdukce (vertikální-upažení)	107	50	75	94	124	55	62	90
	Horizontální (předpaž/zapaž)	-129	-66	-69	-98	-103	-85	-41	-124
Trup	Předklon	150		45		17		37	
	Úklon	-0,6		8		45		14,5	
	Rotace	-20		x		x		x	

Tabulka 5-2: Výstup ze softwaru Tecnomatix Jack

JACK		Poloha 1 [°]		Poloha 2 [°]		Poloha 3 [°]		Poloha 4 [°]	
		R	L	R	L	R	L	R	L
Loket	Flexe	79	102	60	22	75	117	113	67
Rameno	Abdukce (vertikální-upažení)	26,4	11,4	66	135	-0,6	5,6	36,7	28,5
	Horizontální (předpaž/zapaž)	56,1	21,9	69	108	51	1,1	12,5	17,9
Trup	Předklon	81,9		72		78		59,8	
	Úklon	0,4		-8,6		-12,7		3,1	
	Rotace	0,9		13		23,3		5,7	

- Hodnoty s malou odchylkou
- Neodpovídající hodnoty => senzory ovlivněny elektromagnetickým polem

6 Návrhy a zlepšení pracovního místa

Z ergonomických analýz hodnotící současný stav pracoviště Bodování vyplývá, že všechny polohy vyšly s brzkým nebo okamžitým požadavkem na změny při uvažování doby výrobního procesu a pracovní doby (8 hodin). Pro určité části těla jednotlivé polohy představují při pracovní činnosti vysoké zdravotní riziko s nutností jeho odstranění (změna pracovního prostoru, přípravky apod.). Primárním cílem je odstranění červených oblastí definující nepřijatelné polohy. Vzhledem k jednotlivým polohám a nejvíce zatíženým částem těla (trup a horní části končetin) přichází v úvahu změna výšky při provádění svařování spodní části výrobku a části nacházející se mezi spodní a horní částí. Proto návrhem pro zlepšení pracovního místa a zajištění ergonomického pracoviště je polohovací zařízení.

6.1 Návrh nového polohovacího zařízení – varianta 1

V současné době se v tržním prostředí stále více rozšiřují nabídky polohovacích zařízení vhodných pro svařování komponentů. Polohovadla mají za cíl zvýšit komfort a bezpečnost pracovníků a zajistit ergonomické pracoviště s minimální zátěží pracovníků.

Protože právě nadbytečné zatížení organismu způsobuje řadu nemocí z povolání. Během průzkumu trhu nebylo nalezeno žádné polohovací zařízení přímo vhodné pro polohování takové atypické konstrukce.

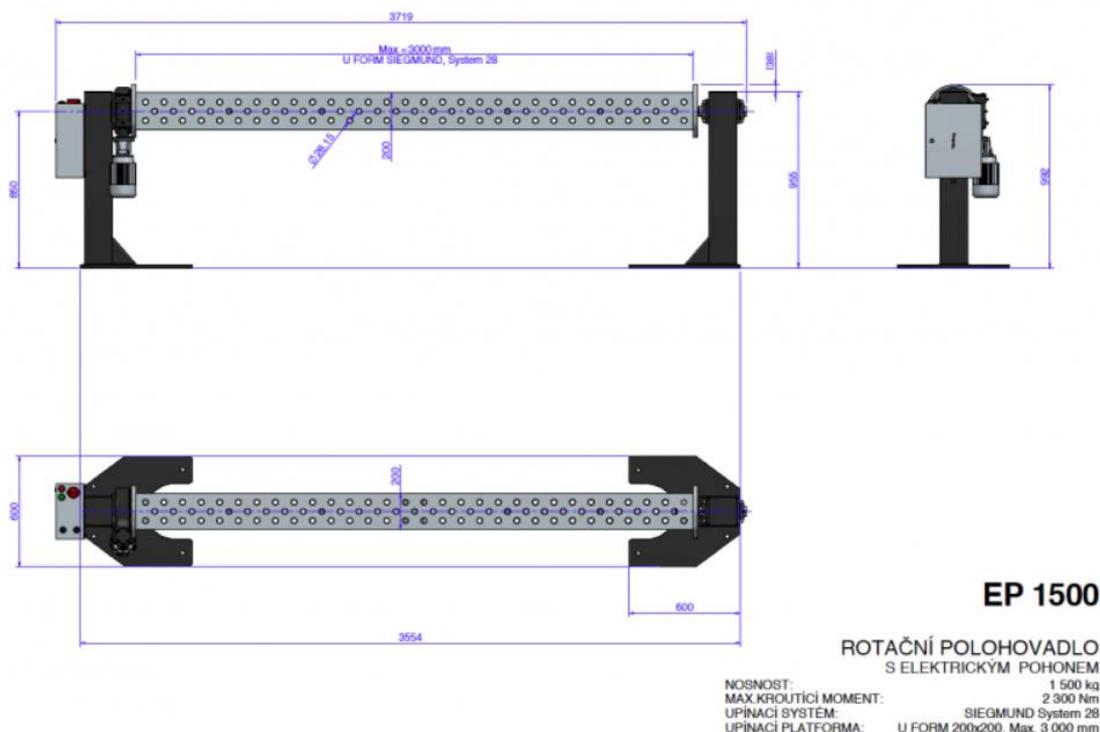
Proto bylo vybráno polohovadlo s elektrickým pohonem, na který by se musel upevnit přípravek vhodný pro typ konstrukce našeho výrobku.

Motorické polohovadlo EP 1500

Otočné polohovací zařízení s elektrickým pohonem tvoří dvojici stojanů – hnací a hnaný s univerzální přírubou. Dvojice stojanů je propojena upínací stavebnicovou platformou Siegmung. Elektromotor zabezpečuje rotační pohyb, který přenáší krouticí moment. Přenos kroutícího momentu je přes redukční převodovku na ložiskovou otoč hnacího stojanu, jejíž součástí je integrovaná samosvorná šneková převodovka sloužící zároveň jako aretace polohovacího zařízení dv nastavené poloze. Polohovací zařízení se ovládá pomocí tlačítek na skříni rozvaděče, kterými lze měnit smysl otáčení zařízení vpřed a vzad. [21]



Obrázek 6-1: Motorické polohovadlo [21]



Obrázek 6-2: Rozměry motorického polohovadla [21]

Technická data podle zdroje [21]:

Nosnost: 15 kN (1500 kg)

Krouticí moment M_k : 2300 Nm

Pohon: Elektromotor 0,37 kW s redukční převodovkou

Převod síly: Ložiskovou otočí s integrovanou převodovkou

Převodový poměr: $i=73$

Osa otáčení: vodorovná ve výšce $H=850$ mm

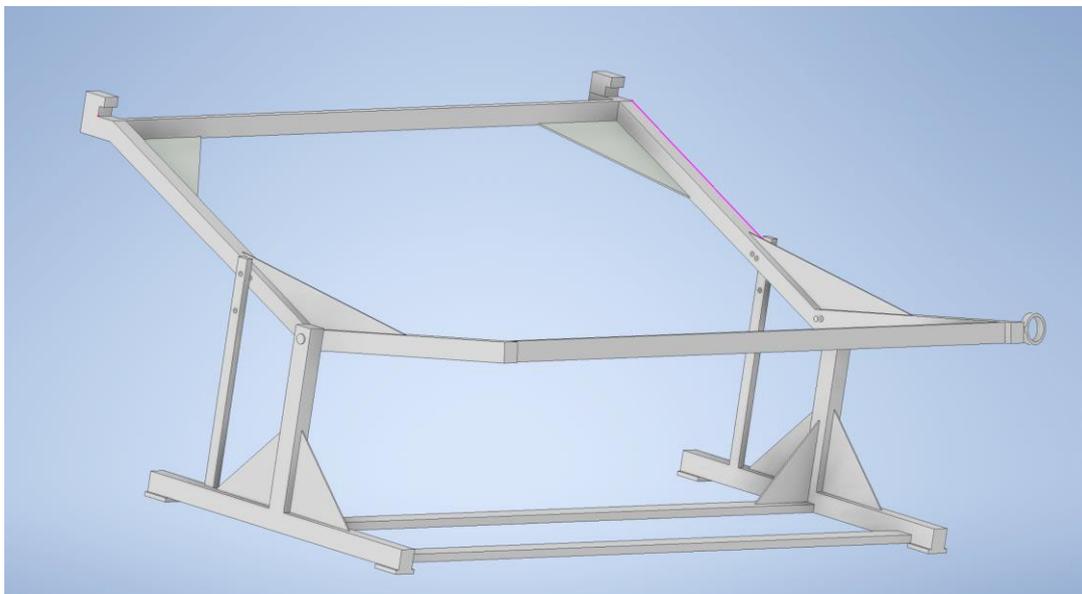
Upínací systém: U-FORM Siegmund – Systém 28, max. 3000 mm

Pořizovací cena: 243 972 Kč

6.2 Hrubý návrh nového polohovacího zařízení – varianta 2

Kapitola popisuje navrzení optimálního polohovacího zařízení vhodného pro výrobní proces bodování. Jedná se o hrubý návrh, součástí navrzení polohovadla není dimenzování. Při návrhu se bere v potaz stávající pracoviště, především tvar stojanových podpěr, využití jeřábu a snadná ovladatelnost. Vzhledem k malé četnosti využití pracoviště je z ekonomického hlediska přívětivá jednoduchá konstrukce. Jelikož se na pracovišti nachází jeřáb, lze ho využít pro naklápění výrobku, čímž se výrazně sníží konstrukční nároky na polohovadlo a tím i cena.

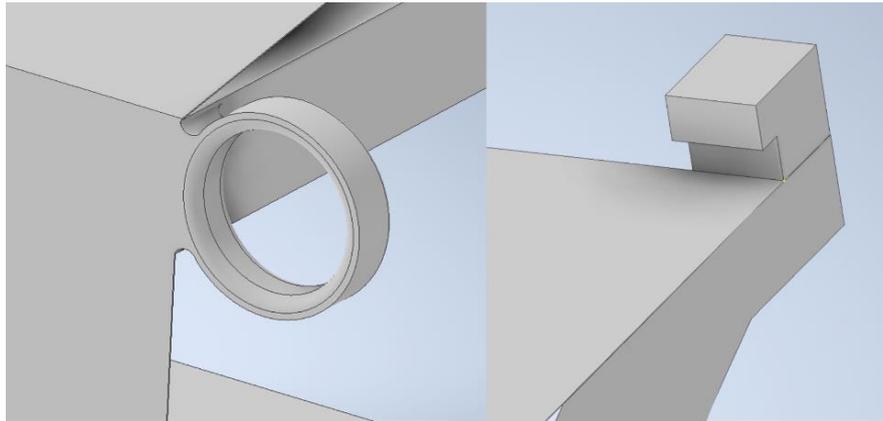
Návrh nového polohovadla se skládá z několika částí, Obrázek 6-3. První částí je konstrukce rámu, na který se bude výrobek usazovat. Přední rám umožňuje usazení výrobku v místě, kde se konstrukce výrobku plochy mezi horní a spodní plochou ohýbá na čelní spodní plochu.



Obrázek 6-3: Návrh polohovadla - konstrukce

Na zadní části rámu se nachází úchyty ve tvaru U, které slouží k usazení výrobku. Hlavním úkolem úchytů je zajištění přesné polohy výrobku při změně polohy polohovacího zařízení. Pro zpevnění konstrukce se v horním rámu nachází žebrování.

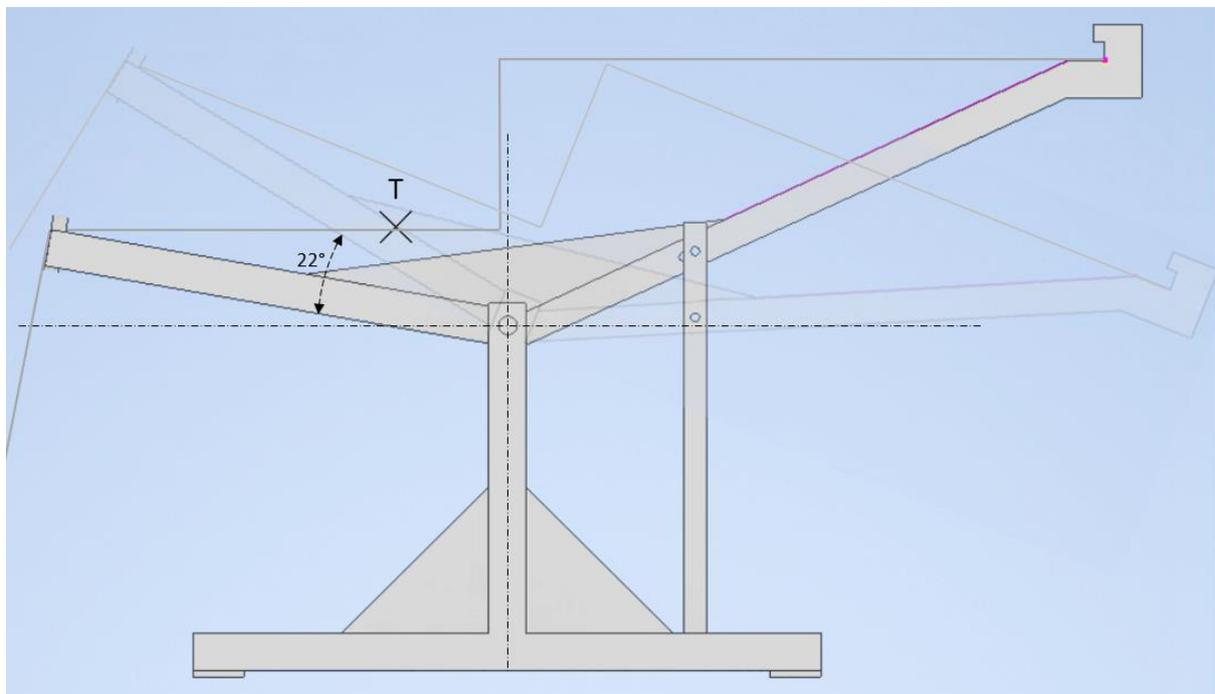
Pracovník na pracovišti postupuje tak, že po manipulaci výrobku z předchozího pracoviště- Usazování plechů, uloží výrobek do rámu polohovadla a do horních úchytů. Výrobek se umísťuje jako v současném stavu. To znamená, že horní plocha výrobku je rovnoběžná s podlahou.



Obrázek 6-4: Návrh polohovadla - oko pro jeřáb, úchyty

Druhou částí konstrukce jsou stojany. Původní tvar stojanů (tvar T) byl zachován, přibylo k nim propojení obou částí a žebrování z důvodu stability polohovadla. Žebrování se nachází z každé strany stojanu (rovnoběžně se stojany) a kolmo k oběma stojanům.

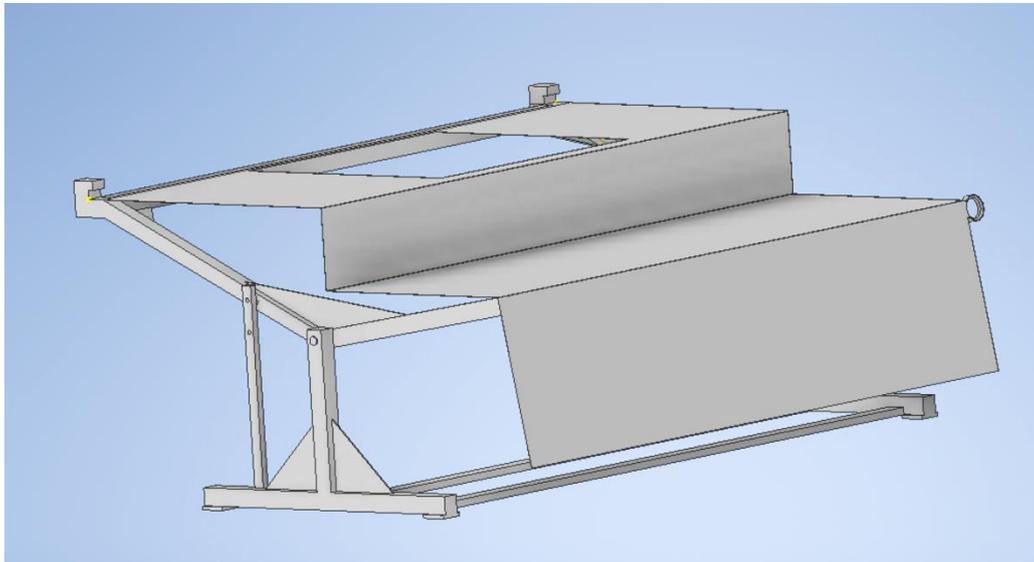
Naklápění polohovadla se provádí pomocí čepů, které jsou umístěny na bočních stranách propojující stojany a horní rám. K aretaci polohy slouží dva kolíky, nacházející na bočních stranách polohovacího zařízení. Z boku konstrukce rámu (na pravé straně) se nachází oko pro manipulaci s jeřábem. Oko slouží k usnadnění změny polohy polohovadla. Při změně polohy si nejprve pracovník přichytí za oko hák jeřábu, následně vysune kolík a pootočí polohovadlo do správné polohy. V posledním kroku zajistí novou polohu kolíkem.



Obrázek 6-5: Návrh polohovadla - změna polohy

Polohu změny polohovacího zařízení určuje výrobní postup. Bodově se svařuje nejprve plocha mezi horní a spodní částí výrobku, následně se svařování přesouvá na spodní část výrobku. V obou případech se polohovadlo přesune do polohy určené ke svařování právě těchto ploch, určíme si polohu jako poloha číslo II.

Pro svařování horní části se polohovadlo vrátí do výchozí polohy (poloha číslo I) před natočením polohovadla (horní plocha rovnoběžná s podlahou). Kompletní navržené polohovací zařízení s výrobkem se nachází na obrázku pod textem.



Obrázek 6-6: Návrh polohovadla s výrobkem

Ergonomické analýzy na navrženém polohovacím zařízení

Pro ověření správnosti bude nové navržené polohovací zařízení podrobena ergonomické analýze za využití metod pro hodnocení ergonomických rizik. Jedná se o stejné metody, které byly využity v analýze současného stavu – metoda Rula, hodnocení podle Nařízení vlády 361/2007 Sb.. K ergonomické analýze se použijí i stejné digitální modely člověka (50 percentil). Vycházíme z předpokladu provedení analýzy na stejných čtyřech polohách, které charakterizují bodové svařování na jednotlivých plochách.

Poloha 1

Při bodovém svařování spodní plochy se polohovací zařízení přesune do polohy číslo II a zajistí se kolíkem. Sledovaná osoba se nachází ve stoji mírně rozkročněm a v mírném předklonu. Levá ruka přidržuje svařovací hlavici ze spodní strany a na horní plochu vyvíjí sílu potřebnou při bodování. V porovnání se současnou polohou vykonávanou při svařování spodní plochy se hodnoty z ergonomických analýz výrazně zlepšily. U analýzy současného stavu pomocí metody RULA bylo výsledné skóre 7, kdy mezi nejvíce zatížené části těla patřily horní končetiny se skóre 4, trup se skóre 4 a krk se skóre 5. Skupina A vyšla s výsledným skóre 5, skupina B se skóre 7. U nového navrženého polohovadla jsou hodnoty pro výše jmenované části těla s výsledným skóre 3. Pro skupinu A se po navržení polohovadla snížila hodnota na skóre 4, stejné skóre vyšlo i pro skupinu B.

V případě srovnání hodnot podle Nařízení vlády 361/2007 Sb. se všechny červené zatížené oblasti odstranily. Největším problémem u polohy 1 byla poloha trupu – flexe s hodnotou 82°, krk – axiální osa s hodnotou 16°, ohnuté zápěstí u pravé ruky s hodnotou 49° a natočení zápěstí 61°. Hodnoty pro uvedené části těla u nového polohovacího zařízení se snížily. Pro polohu trupu (flexe) se jedná o výslednou hodnotu 37°, pro krk 10°, ohnutí zápěstí kleslo na hodnotu 12° a natočení na hodnotu 3°.

Poloha 2

Současné skóre u polohy 2 vyšlo s výsledkem 7, které řadí polohu do 4. kategorie s nutností okamžitých změn z důvodu vysokého zdravotního rizika. Ve skupině A byly nejvíce zatěžovanými částmi těla: trup a horní končetiny se skóre 5. Pro skupinu A se výsledné skóre vyšplhalo na 6, s totožným výsledkem se potýkala i skupina B. Po úpravě pracoviště a přesunu polohovacího zařízení do polohy II se celkové výsledné skóre změnilo na skóre 3, které zařazuje pracovní polohu do 2. kategorie. Změnou polohy došlo ke snížení celkového skóre ze skóre 7 na skóre 3. Trup i horní končetiny se po úpravě pohybují se skóre 3. Celkové skóre pro skupinu A vyšlo se skórem 4 u skupiny B se skóre snížilo na 3.

Jako u předchozí polohy i zde bylo provedeno hodnocení podle Nařízení vlády 361/2007 Sb.. U analýzy současného stavu jsou nejvíce zatíženými částmi těla trup (předklon 72°) a horní končetiny (ramena), především flexe u obou ramen (levé 108° , pravé 69°) a abdukce u levé ruky s hodnotou 135° . I zde po úpravě došlo k poklesu těchto hodnot a odstranění červených oblastí. Předklon trupu se snížil na hodnotu 55° , u levého ramena flexe klesla na hodnotu 59° , u pravého ramena na 33° . Výslednou hodnotou pro abdukci levé ruky je 20° .

Poloha 3

Tak jako tomu bylo u předchozích poloh, i zde se při bodovém svařování nové polohovací zařízení přesune do polohy II. U metody RULA vyšlo pro současný stav celkové skóre 6 patřící do 3. kategorie. Největší skóre 5 bylo stanoveno pro trup, druhým největší skóre 3 patřilo horním končetinám. Celkové skóre pro skupinu A bylo vyčísleno na 4, pro skupinu B vyšlo výsledné skóre s vyšším číslem 6. Po úpravě pracoviště se celkové skóre změnilo na skóre 4, které řadí polohu do 2. kategorie. U horních končetin došlo také k poklesu na skóre 2 s výsledným skóre 3 pro skupinu A. U skupiny B se skóre snížilo na hodnotu 5, u trupu na hodnotu 4.

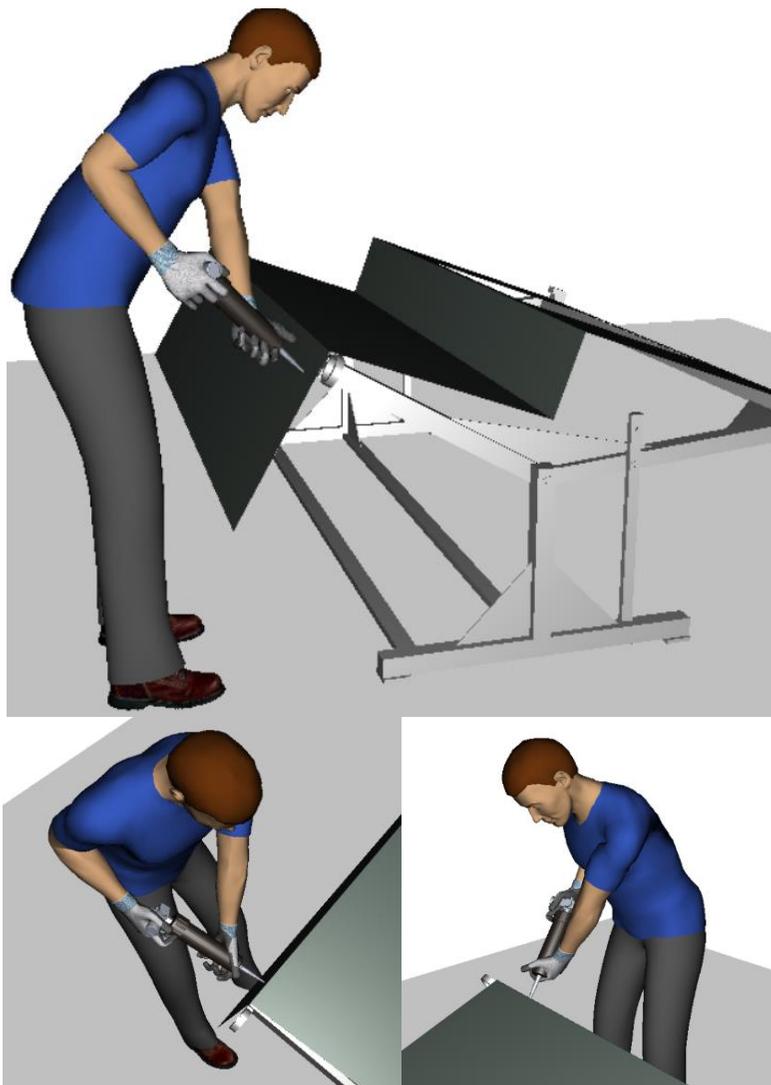
Podle hodnocení Nařízení vlády 361/2007 Sb. do červených, nejvíce zatěžovaných, oblastí patří: trup, levý loket, pravé zápěstí. U trupu jsou kritickými polohami předklon s hodnotou 80° a rotace 24° . Rotace zápěstím se vyšplhala na -59° , znaménko určuje směr natočení, viz. kapitola Hodnocení podle Nařízení vlády 361/2007 Sb.. Poslední zatíženou částí těla řadící se do červené oblasti je loket, přesněji ohnutí lokte s hodnotou 126° . Po změně polohy polohovacího zařízení se předešlé hodnoty takto změnily: předklon trupu 46° , rotace trupu 7° , rotace zápěstí -39° , ohnutí lokte 104° . Veškeré červené nepřijatelné oblasti s vysokým zdravotním rizikem byly odstraněny.

Poloha 4

Podle metody RULA bylo výsledným skóre u poslední polohy skóre 4, které řadí polohu do kategorie 2. Jelikož ani při hodnocení podle Nařízení vlády 361/2007 Sb., které určuje limity pro bezpečnou práci, nevyšla žádná hodnota v červené (nepřijatelné) oblasti, není nutná změna polohy. Při bodovém svařování horní plochy se polohovací zařízení ustaví do polohy I. Jedná se o poslední polohu při bodovém svařování, proto bude změna polohy polohovacího zařízení pouze v konečné fázi.

Pod textem jsou zobrazeny polohy a výsledky, které vznikly navržením nového polohovadla.

Poloha 1



Hodnocení: Metoda RULA

Rapid Upper Limb Assessment (RULA)

Task Entry | Reports | Analysis Summary

Job Title: Job Number:
Location: Analyst:
Comments: Date:

Body Group A Posture Rating

Upper arm: 3
Lower arm: 3
Wrist: 1
Wrist Twist: 1
Total: 4

Body Group B Posture Rating

Neck: 3
Trunk: 3
Total: 4

Muscle Use: Normal, no extreme use
Force/Load: < 2 kg intermittent load
Arms: Not supported

Muscle Use: Normal, no extreme use
Force/Load: < 2 kg intermittent load

Legs and Feet Rating

Seated, Legs and feet well supported. Weight even.

Grand Score: 4

Action: Further investigation needed. Changes may be required.

Update Analysis

Nařízení vlády 361/2007 Sb.

Posture analysis NV361.alfa

Human: human0

Postures | Indicators | Reach | Other | Export | Setting

Torso:

Flexion: 36.9
Lateral: 1.3
Axial: 5.9

Head-Neck:

Flexion: 10.3
Lateral: 4.2
Axial: 10.4

Upper arm:

	Left:	Right:
Flexion:	41.0	19.1
Abduction:	22.3	10.6
Transverse:	-38.0	152.0
LatHumRot:	-25.1	-7.9

Wrist:

Flexion: 2.2 | 12.1
Deviation: 4.9 | 13.5
Pron/Sup: -36.6 | -2.9

Elbow:

Flexion: 6.5 | 75.3

Knee:

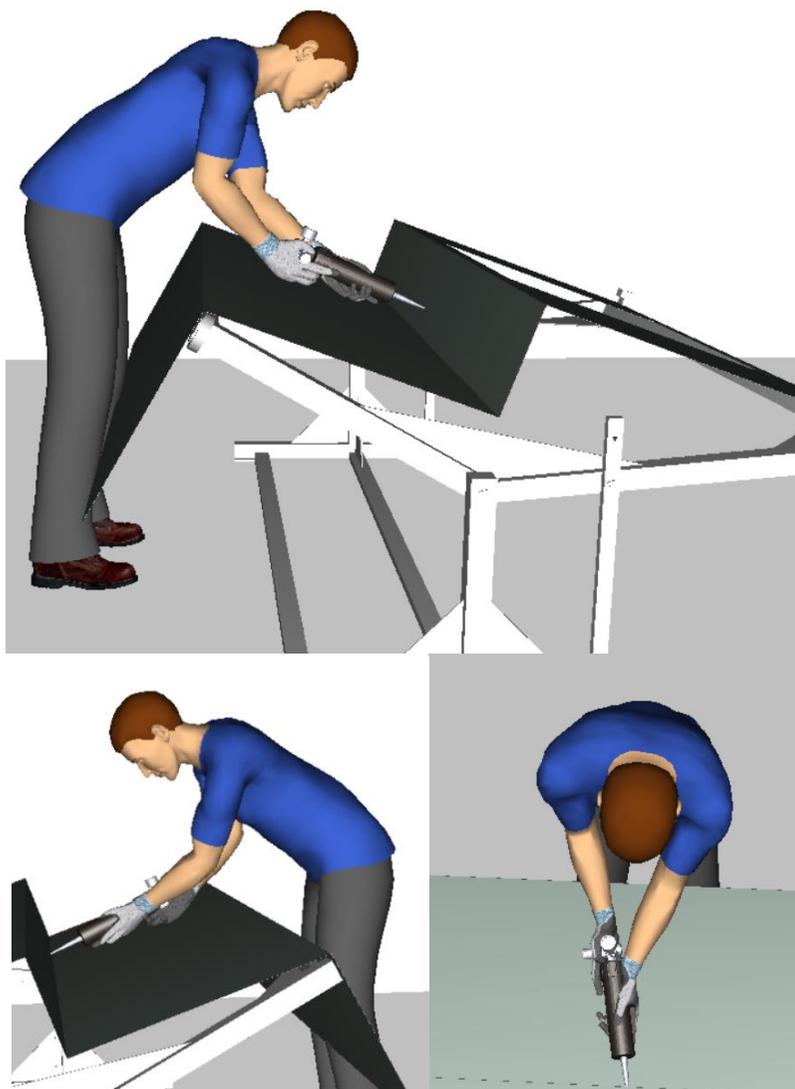
Flexion: 10.2 | 5.1

Foot:

Flexion: -1.3 | -6.3
Add/Abd: 1.7 | 6.1

Obrázek 6-7: Poloha 1 - nové navržené polohovací zařízení, metoda RULA a NV 361/2007 Sb.

Poloha 2



Hodnocení: Metoda RULA

Rapid Upper Limb Assessment (RULA)

Task Entry | Reports | Analysis Summary

Job Title: Job Number:
 Location: Analyst:
 Comments: Date:

Body Group A Posture Rating

Upper arm: 3
 Lower arm: 3
 Wrist: 3
 Wrist Twist: 1
 Total: 4

Body Group B Posture Rating

Neck: 1
 Trunk: 3
 Total: 3

Muscle Use: Normal, no extreme use
 Force/Load: < 2 kg intermittent load
 Arms: Not supported

Muscle Use: Normal, no extreme use
 Force/Load: < 2 kg intermittent load

Legs and Feet Rating

Seated, Legs and feet well supported. Weight even.

Grand Score: 3
 Action: Further investigation needed. Changes may be required.

Update Analysis

Nariadení vlády 361/2007 Sb.

Posture analysis NV361.alfa

Human: human

Postures | Indicators | Reach | Other | Export | Setting

Torso:

Flexion: 55.2
 Lateral: -1.1
 Axial: 1.9

Head-Neck:

Flexion: 5.5
 Lateral: -0.2
 Axial: 2.3

Upper arm:

	Left:	Right:
Flexion:	59.1	33.0
Abduction:	31.7	20.0
Transverse:	-17.8	-29.2
LatHumRot:	-6.2	-23.6

Wrist:

	Left:	Right:
Flexion:	19.3	11.6
Deviation:	13.8	19.1
Pron/Sup:	-40.1	-28.4

Elbow:

Flexion: 45.3 61.9

Knee:

Flexion: 10.0 5.5

Foot:

	Left:	Right:
Flexion:	10.0	6.8
Add/Abd:	0.4	3.5

Obrázek 6-8: Poloha 2 - nové navržené polohovací zařízení, metoda RULA a NV 361/2007 Sb.

Poloha 3

Hodnocení:

Metoda RULA

Nařízení vlády 361/2007 Sb.



Rapid Upper Limb Assessment (RULA)

Task Entry | Reports | Analysis Summary

Job Title: Job Number:
 Location: Analyst:
 Comments: Date:

Body Group A Posture Rating

Upper arm: 2
 Lower arm: 2
 Wrist: 2
 Wrist Twist: 1
 Total: 3

Body Group B Posture Rating

Neck: 3
 Trunk: 4
 Total: 5

Muscle Use: Normal, no extreme use
 Force/Load: < 2 kg intermittent load
 Arms: Not supported

Muscle Use: Normal, no extreme use
 Force/Load: < 2 kg intermittent load

Legs and Feet Rating

Seated, Legs and feet well supported. Weight even.

Grand Score: 4

Action: Further investigation needed. Changes may be required.

Update Analysis

Posture analysis NV361.alfa

Human: human1

Postures | Indicators | Reach | Other | Export | Setting

Torso:

Flexion: 45.6
 Lateral: -0.0
 Axial: 6.9

Head-Neck:

Flexion: 18.7
 Lateral: 0.3
 Axial: -5.4

Upper arm:

	Left:	Right:
Flexion:	21.8	-7.2
Abduction:	16.4	6.5
Transverse:	-48.2	138.0
LatHumRot:	-36.1	-7.9

Wrist:

Flexion:	4.4	1.1
Deviation:	-10.5	-3.2
Pron/Sup:	17.1	-39.4

Elbow:

Flexion: 62.4 104.8

Knee:

Flexion: 32.2 31.7

Foot:

Flexion:	19.2	18.9
Add/Abd:	1.4	2.3

Obrázek 6-9: Poloha 3 - nové navržené polohovací zařízení, metoda RULA a NV 361/2007 Sb.

6.3 Technické, ekonomické zhodnocení a přínosy nového návrhu

Z hodnocení současného stavu pracoviště Bodování vyplývá, že tři pracovní polohy vyšly s okamžitým požadavkem na změny. Jedná se o polohy představující vysoké zdravotní riziko při pracovní činnosti s nutností jeho odstranění. Hlavním problémem byl předklon trupu a zatížení horních končetin, proto návrhem pro zlepšení pracovního místa a zajištění ergonomického pracoviště je polohovací zařízení.

- **Ekonomické zhodnocení**

Pořizovací náklady

Na základě průzkumu trhu bylo vybráno motorické polohovací zařízení EP 1500, které se skládá ze dvou stojanů. **Pořizovací náklady** polohovadla činí **243 972 Kč**, v ceně je zahrnuto dopravné a balné. Součástí polohovacího zařízení není přípravek, do kterého lze usadit produkt. Dodatečné **náklady** na výrobu **přípravku** by byly ve výši **20 000 Kč**.

V případě návrhu hrubého polohovacího zařízení by náklady spojené s výrobou činily **50 000 Kč**, do **nákladů nejsou** započteny **konstrukční práce 55 000 Kč**. V obou případech by práce související se svařením přípravku v první variantě a celého polohovacího zařízení ve druhé variantě prováděla společnost, ve které probíhá zpracování praktické části. Výrobní program společnosti se zaměřuje na svařování konstrukcí. Z ekonomického hlediska vyplývá, že při porovnání obou variant vychází výhodněji druhá varianta – hrubý návrh konstrukčního řešení polohovacího zařízení.

Tabulka 6-1: Ekonomické hodnocení

Ekonomické hodnocení	Polohovací zařízení EP 1500 - varianta 1	Návrh konstrukčního polohovacího zařízení - varianta 2
Pořizovací náklady	243 972 Kč	50 000 Kč
Dodatečné náklady	20 000 Kč	55 000 Kč
Celkové náklady	263 972 Kč	105 000 Kč

Náklady spojené s kategorizací fyzické zátěže

Vyčíslení úspor spojených se zlepšením ergonomie na pracovišti je velmi složité. Pokud součástí zlepšení nebývá i zvýšení produktivity, lze návratnost spočítat velmi těžší. Z tohoto důvodu jsem se v diplomové práci zaměřila na vyčíslení nákladů a povinností spojených s vedením pracoviště ve 3. kategorii rizika. Zavedením navrženého řešení by se společnost těmto nákladům a dalším povinnostem však vyhnula.

V případě, že bude pracoviště zařazeno do 3. pracovní kategorie, jsou zde náklady podle zdroje [22] na:

- Častější pracovně-lékařské prohlídky
Ve standardním případě (**1. a 2. kategorie**) jsou prohlídky uskutečňovány **1x za 5 let**.
V případě dovršení 50 let je prohlídka 1x za 2 roky.
Pokud se pracoviště nachází ve **3. kategorii**, pracovně-lékařské prohlídky se provádějí **1x za 2 roky**. Pokud je u pracovníka dovršeno 50 let, prac. prohlídka je 1x za 1 rok.

- Archivace dat
Pracovníci musí **řízeně** rotovat mezi pracovišti 2. a 3. kategorie. S tím souvisejí náklady na archivaci těchto dat. Veškerá rotace se archivuje v elektronické a tištěné podobě po dobu 10 let pro každého zaměstnance.
- Bezpečnostní přestávky
V případě, že pracovníci **nebudou rotovat**, musí mít **bezpečnostní přestávky**. Bezpečnostní přestávky jsou po **2 hodinách** po dobu **5-10 min**. Délku přestávky si určuje zaměstnavatel, musí být však potvrzena Krajskou hygienickou stanicí. Standardně se jedná o přestávky v délce 10 min. Se zvyšujícím se množstvím bezpečnostních přestávek dochází ke snížení výrobní kapacity.
- Vícepráce s činnostmi
Jedná se o vícepráce spojené s činnostmi (řešení NzP či pracovního úrazu). rámci řešení této problematiky je vyžadována spolupráce několika oddělení, jedná se obvykle o HR, HSE (BOZP), vedoucího daného oddělení – mistr a oddělení výroby.
- Autorizované měření
V případě žádosti o uznání nemoci z povolání je firma povinna zajistit měření autorizovanou ergonomickou laboratoří či Krajskou hygienickou službou, měření se liší dle typu potenciální nemoci z povolání. Např. u syndromu karpálního tunelu se jedná o měření lokální svalové zátěže, cena tohoto měření se pohybuje kolem **25 000 Kč**.
- Nemoci z povolání
Největším potenciální nákladem pro pracovníky ve 3. kategorii je **potenciální možnost vzniku nemoci z povolání**. Pracovník odejde buď rovnou na neschopenku, nebo zůstane na pracovišti, jeho pracovní výkon však bude vzhledem k jeho zdravotnímu stavu nižší. S tím se samozřejmě nesou další vícenáklady, které se společností snaží předejít, a proto se ergonomii věnují.

V případě, že je uznaná nemoc z povolání, zaměstnavatel se může sám rozhodnout, jak s pracovníkem budoucností naloží. Pokud už pro něj nemá vhodné zaměstnání, propustí jej. Zaměstnavatel mu však musí vyplatit bonus ve výši 12ti násobku průměrné měsíční mzdy. Dalším nákladem v případě uznané nemoci z povolání je pro zaměstnavatele doplácení do průměrné měsíční mzdy. Náklad vzniká v případě, že pracovník po vzniku nemoci z povolání není schopen nalézt obdobně finančně ohodnocené zaměstnání. Doplatek do průměrné měsíční mzdy se doplácí i v případě, že pracovník dostává invalidní důchod, a to až do věku 65 let. [22]

- **Technické zhodnocení**

Z technického hlediska je elektrické polohovací zařízení komfortnější. Změna polohovacího zařízení se uskutečňuje pomocí tlačítek na ovládání. Elektromotor zabezpečuje rotační pohyb, který přenáší kroutící moment. Přenos kroutícího momentu je přes redukční převodovku na ložiskovou otoč hnacího stojanu, jejíž součástí je integrovaná samosvorná šneková převodovka sloužící zároveň jako aretace polohovacího zařízení v nastavené poloze. Polohovací zařízení se ovládá pomocí tlačítek na skříni rozvaděče, kterými lze měnit smysl otáčení zařízení vpřed a vzad.

U druhé varianty byl brán zřetel především na využitelnost současného pracoviště. Vzhledem k malé četnosti využití pracoviště se z ekonomického hlediska vyplatí jednoduchá konstrukce. Do návrhu byl zakomponován jeřáb, který je součástí pracoviště. Konstrukce se skládá z horního rámu, dvou stojanových podpěr a z úchytných, které jsou určeny k zajištění polohy výrobku. Změna polohy polohovacího zařízení se zajišťuje pomocí dvou čepů a kolíků. Kolíky jsou určeny k aretaci polohy.

Při změny polohy se nejprve zajistí polohovací zařízení jeřábem, následně se vysune kolík a nastaví se polohovadlo do nové polohy. V závěru se poloha zajistí opět kolíkem. Při svařování horní plochy výrobku se polohovací zařízení ponechá v základní poloze, při bodovém svařování ostatních ploch se polohovadlo přesune do polohy II.

Vhodnost polohovadla z ergonomického hlediska potvrdily i dříve provedené analýzy v TX Jack na 3D modelu navrženého polohovadla. Porovnání současného a navrhovaného stavu za pomoci metody NV 361/2007 Sb. je přehledně znázorněno v následujících dvou tabulkách.

Tabulka 6-2: TX. Jack - současný stav (NV 361/2007 Sb.)

TX. JACK - Současný stav		Poloha 1 [°]		Poloha 2 [°]		Poloha 3 [°]		Poloha 4 [°]	
		R	L	R	L	R	L	R	L
Loket	Flexion	79	102	60	22	75	117	113	62
Rameno	Abduction	26	11,4	66	135	0,6	5,6	37	18
	Flexion	56	22	69	108	51	1,1	12,5	18
Hlava+Krk	Flexion	-9		-4,8		11,2		18,2	
	Lateral bend	0		-1,2		-0,4		-1,9	
	Axial twist	-16		12,4		5,8		-2,6	
Zápěstí	Flexion	49	18	-7	4,5	21	6,3	1,4	7,9
	Deviation	-10,5	14	1,7	15,1	18	2,2	5,7	-0,2
	Pronation/Supination	61	-27	-15,1	-41,6	-35	-9,7	-29	-9,3
Trup	Flexion	81,9		72		78		59,8	
	Lateral rotation	0,4		-8,6		-12,7		3,1	
	Axial rotation	0,9		13		23,3		5,7	

Primárním cílem bylo odstranění červených oblastí, které představovaly vysoké zdravotní riziko pro všechny skupiny pracovníků.

Tabulka 6-3: TX. Jack - navržený stav (NV 361/2007 Sb.)

TX. JACK - Navržený stav (varianta 2)		Poloha 1 [°]		Poloha 2 [°]		Poloha 3 [°]		Poloha 4 [°]	
		R	L	R	L	R	L	R	L
Loket	Flexion	75	6,5	62	45	105	62	113	62
Rameno	Abduction	10,6	22	20	32	6,5	16,4	37	18
	Flexion	19	41	59	33	-7,2	21,8	12,5	18
Hlava+Krk	Flexion	10,3		5,5		18,7		18,2	
	Lateral bend	4,2		-0,2		0,3		-1,9	
	Axial twist	10,4		1,9		-5,4		-2,6	
Zápěstí	Flexion	12,1	2,2	11,6	19,3	1,1	4,4	1,4	7,9
	Deviation	13,5	4,9	19,1	13,8	-3,2	-10,5	5,7	-0,2
	Pronation/Supination	-2,9	-37	-28	-40	-39	17	-29	-9,3
Trup	Flexion	37		55		45		59,8	
	Lateral rotation	1,3		-1,1		0		3,1	
	Axial rotation	5,9		1,9		7		5,7	

Stejná tabulka porovnání byla vytvořena i pro druhou hodnotící metodu RULA. Opět se jedná o tabulku, kde jsou znázorněny hodnoty pro současný stav i navrženou variantu 2. V současném stavu se poloha 1 a 2 nachází ve 4. kategorii s celkovým skóre 7, která charakterizuje okamžité požadavky na provedení změn. Navržením nového pracoviště se obě polohy zařadily do 2. kategorie. Poloha 3 se v současném stavu začlenila svými hodnotami do 3. kategorie, po navržení nového stavu se přesunula do 2. kategorie. U polohy 4 hodnoty zůstaly z důvodu vyhovujícího postoje při bodování.

Tabulka 6-4: TX. Jack – současný a navržený stav (RULA)

Tecnomatix JACK		Poloha 1		Poloha 2		Poloha 3		Poloha 4	
		Současný stav	Navržená varianta 2	Současný stav	Navržená varianta 2	Současný stav	Navržená varianta 2	Současný stav	Navržená varianta 2
Skupina A	Celkové skóre	5	4	6	4	4	3	3	3
Skupina B	Celkové skóre	8	4	6	3	6	5	5	5
Výsledné celkové skóre		7	4	7	3	6	4	4	4

Časová náročnost polohování je u elektrického polohovacího zařízení nižší, než je tomu u druhé varianty. Časová náročnost se u druhé varianty prodlužuje dobou pro napolohování jeřábu a zachycení konstrukce. Rozdíl však není markantní a na čase cyklu, který se pohybuje okolo 20 minut nebude představovat žádné plýtvání.

Pro uložení konstrukce výrobku do rámu jsou časové doby totožné, neboť se jedná o stejný přípravek. Z konstrukčního hlediska se jedná o téměř totožnou konstrukční náročnost. U první varianty se musí přípravek připevnit k již dodané konstrukci. U druhé varianty se spodní část konstrukce musí vyrobit. Posledními porovnávanými parametry jsou provozní náročnost a bezpečnost, v obou případech je vyšší pro první variantu.

Tabulka 6-5: Technické hodnocení

Technické hodnocení	Polohovací zařízení EP 1500 - varianta 1	Návrh konstrukčního polohovacího zařízení - varianta 2
Ovládání polohovadla	tlačítko na rozvaděči	jeřáb
Časová náročnost polohování	vyšší	nižší
Časová náročnost uložení výrobku	neutrální	neutrální
Konstrukční náročnost	neutrální	neutrální
Provozní náročnost	vyšší	nižší
Bezpečnost	vyšší	nižší

Při porovnání obou variant, je z ekonomického hlediska výhodnější druhá varianta. Z hlediska komfortu se může zdát výhodnější první varianta z důvodu elektrického polohování. Ve druhé variantě se však ke změně polohy využívá jeřáb, což ulehčuje práci pracovníkovi. Z technického hlediska nelze varianty číselně porovnat, k porovnání slouží Tabulka 6-5. Z ekonomického hlediska lze posoudit, že u druhé varianty se díky možnosti vyrobení celého polohovadla ve společnosti snižují pořizovací náklady, proto je tato varianta doporučena.

Hlavním přínosem diplomové práce je nové polohovací zařízení, pomocí kterého jsou odstraněny polohy představující vysoké zdravotní riziko při pracovních činnostech. Pracovní polohy se v současném stavu nacházejí ve 3. a 4. kategorii, ve které je nutno provést potřebné změny a zajistit ergonomické pracoviště. Na základě vhodného návrhu polohovacího zařízení se polohy přesunuly do 2. kategorie, charakterizující přijatelnou polohou. Navržením nového polohovacího zařízení se zvýšila bezpečnost, ochrana zdraví při práci a minimalizovaly se negativní vlivy působící na člověka při pracovní činnosti.

Závěr

Pro ponoření se do problematiky s tím spojené, došlo v úvodu k přiblížení současného tržního prostředí a ergonomie, kde byly znázorněny jednotlivé nemoci z povolání dle Státního zdravotního ústavu. Výsledkem statistiky bylo, že vzrůstajícím se tempem ekonomiky přibývá i mnoho nemocí z povolání. V čele statistik vévodily především nemoci z přetěžování končetin. Právě jednostranné zatěžování a zvedání těžkých břemen vede k přetěžování bederní páteře. Nejohroženější skupinou jsou dle SZÚ pracovníci vykonávající monotónní činnost u částečně automatizovaných linek

Následně došlo k nadefinování pojmu ergonomie, která má mnoho definic. Avšak podstata je u všech stejná. Snahou je přizpůsobení práce možnostem člověka.

Vzhledem k návaznosti praktické části na teoretickou část bylo zapotřebí si představit pojmy, související s ergonomií pracoviště např. pracovní systém, pracovní zařízení, pracovní prostředí či ergonomické pracoviště. Ergonomické pracoviště je chápáno jako pracoviště, které se přizpůsobuje potřebám pracovníků, kteří místo využívají. Při tvorbě ergonomického pracoviště se zaměřujeme především na bezpečnost práce, pracovní pohodu a ekonomickou účinnost. Cílem je ochrana pracovníků před fyzickým poškozením a zaručení duševního zdraví. Výsledkem je efektivní, bezchybná a přesně vykonaná práce.

Aby byly pracovní prostory vyhovující a jednalo se o ergonomické pracoviště, musejí ze zákona splňovat určité parametry, které jsou popsány v další kapitole. Jedná se především o podlahovou plochu, výšku pracoviště, vzdušný prostor, manipulační prostor a prostor pro dolní končetiny. Nezáleží však pouze na rozměrech pracoviště, ale i na pracovních polohách a pracovních pohybech. V případě, kdy dochází při pracovních činnostech k fyzické zátěži, musí být splněny hmotnostní limity pro zvedání a přenášení břemene, které se liší v závislosti na pohlaví. Dále je důležitý limit pro tlačné a tažné síly při manipulaci s břemeny pomocí lidského faktoru.

Poslední rešeršní část byla věnována moderním metodám ergonomie, a to metodám RULA a hodnocení podle Nařízení vlády 361/2007 Sb.. Tyto metody slouží k hodnocení ergonomických rizik a zvyšují efektivitu, bezpečnost a pohodu na pracovišti, Pomocí těchto dvou metod se hodnotily pracovní polohy v praktické části diplomové práce. Na ergonomické metody následně navazuje kapitola, kde jsou popsány moderní nástroje pro hodnocení ergonomických rizik, které se následně využily při ergonomickém hodnocení poloh na pracovišti. Jedná se o biomechanický systém Captiv a software Tecnomatix Jack.

V úvodu praktické části diplomové práce se popsala vstupní analýza, jejíž součástí je popis podniku, ve kterém bude praktická část zpracována. Následují dále základní rozměry pracoviště a jeho popis. Na základní vstupní analýzu navazuje kapitola, kde je podrobný rozbor měření pomocí systému Captiv, kdy se na sledovanou osobu umístily pohybové senzory a senzory pro měření lokální svalové zátěže. Výstupem byly jednotlivé hodnoty pro sledované části těla (trup, rameno, loket) porovnané s českou legislativou.

Pomocí modelu pracoviště a digitálního modelu člověka bylo vytvořeno digitální pracoviště i v softwaru Tecnomatix Jack. Jednalo se o pracovní polohy totožné jako u prvního nástroje. Následně se polohy sledované osoby vyhodnotily pomocí ergonomických metod pro hodnocení rizik, a to podle metody RULA a podle Nařízení vlády 361/2007 Sb.. Metoda Rula se zaměřuje

na hodnocení zatížení horních končetin a zařazuje pracovní polohy do kategorií podle výsledného skóre. Kategorie určuje zdravotní riziko s nutností provedení změn. Zde vyšly dvě polohy s výsledným skóre 7, jedna poloha se skóre 6 a poslední poloha se skóre 4. Nařízení vlády stanovuje podmínky ochrany zdraví při práci. Na základě stanovených limitů se následně zařadily jednotlivé části těla do tří skupin: přijatelná poloha, podmíněně přijatelná poloha a nepřijatelná poloha. Po vyhodnocení poloh bylo v poslední kapitole navrženo zlepšení pracoviště.

Vzhledem k jednotlivým polohám a nejvíce zatíženým částem těla (trup a horní části končetin) přichází v úvahu změna výšky při provádění svařování spodní části výrobku a části nacházející se mezi spodní a horní částí. Proto návrhem pro zlepšení pracovního místa a zajištění ergonomického pracoviště bylo polohovací zařízení. V současné době se v tržním prostředí stále více rozšiřují nabídky polohovacích zařízení vhodných pro svařování komponentů. Polohovadla mají za cíl zvýšit komfort a bezpečnost pracovníků a zajistit ergonomické pracoviště s minimální zátěží pracovníků. Protože právě nadbytečné zatížení organismu způsobuje řadu nemocí z povolání. Během průzkumu trhu nebylo nalezeno žádné polohovadlo přímo vhodné pro polohování takové atypické konstrukce. Proto bylo vybráno polohovadlo s elektrickým pohonem. Na polohovací zařízení by se musel vyrobit a upevnit přípravek vhodný pro typ konstrukce našeho výrobku.

Druhou variantou se stal hrubý návrh polohovacího zařízení, který vycházel ze současného pracoviště. Vzhledem k malé četnosti využití pracoviště byla z ekonomického hlediska nutná jednoduchá konstrukce. Jelikož se na pracovišti nachází jeřáb, využil se pro naklápění výrobku, čímž se výrazně snížily konstrukční nároky na polohovadlo a tím i cena. Konstrukce rámu polohovadla byla zhotovena vzhledem ke konstrukci výrobku. Jedná se však o hrubý návrh, a proto v případě využití musí být polohovací zařízení dimenzováno a podrobena detailní konstrukční analýze. V další kapitole následují ergonomické analýzy na novém polohovacím zařízení pomocí metody RULA a Nařízení vlády 361/2007 Sb.. Při analýze je uvažováno bodové svařování stejných čtyř ploch jako tomu bylo u ergonomických analýz současného stavu. Navržením nového polohovadla došlo ke snížení dvou pracovních poloh na skóre 4, jedna pracovní poloha klesla na skóre 3. Původní čtvrtá poloha zůstala, neboť na základě analýzy současného stavu vyšla s výsledným skórem 4. Všechny polohy se po úpravě pracoviště nacházejí ve 2. kategorii. U všech poloh byly také odstraněny všechny červené oblasti charakterizující nepřijatelné polohy pro jednotlivé části těla, které představují vysoké zdravotní riziko při pracovních činnostech. V nové navržené variantě se většina hodnot, charakterizující polohu jednotlivých částí lidského těla, nachází v zelené oblasti definující přijatelné polohy.

Diplomovou práci uzavírá technické a ekonomické porovnání obou variant, ze kterého je hlavním výstupem doporučení druhé varianty.

Literatura

- [1] Nemoci z povolání v České republice, SZÚ. *SZÚ* [online]. Copyright © 2007 [cit. 10.11.2020]. Dostupné z: <http://www.szu.cz/publikace/data/nemoci-z-povolani-a-ohrozeni-nemoci-z-povolani-v-ceske-republice>.
- [2] Co je to ergonomie | BOZPinfo.cz. *BOZPinfo - Časopis JOSRA* [online]. Copyright © 2002 [cit. 8.10.2020]. Dostupné z: <https://www.bozpinfo.cz/co-je-ergonomie>.
- [3] CHUNDELA, Lubor. *Ergonomie*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2001. ISBN 80-01-02301-x.
- [4] Co je to ergonomie | BOZPinfo.cz. *BOZPinfo - Časopis JOSRA* [online]. Copyright © 2002 [cit. 20.10.2020]. Dostupné z: <https://www.bozpinfo.cz/co-je-ergonomie>.
- [5] MAREK, Jakub; SKŘEHOT, Petr. *Základy aplikované ergonomie*. Praha : VÚBP, v.v.i., 2009, 118 s., ISBN 978-80-86973-58-6.
- [6] GILBERTOVÁ, Sylva a Oldřich MATOUŠEK. *Ergonomie: Optimalizace lidské činnosti*. Praha: Grada, 2002. ISBN 80-247-0226-6.
- [7] Attention Required! | Cloudflare. *Attention Required! | Cloudflare* [online]. [cit. 20.10.2020]. Dostupné z: <https://pixabay.com/cs/vectors/stroj-tov%C3%A1rna-le%C5%A1t%C4%9Bn%C3%AD-%C5%BEeleznice-30512/>
- [8] Pracovní místo. *Úvod* [online]. Copyright © 2016 [cit. 30.10.2020]. Dostupné z: <https://zsbozp.vubp.cz/pracovni-prostredi/241-ergonomicke-parametry-pracovniho-mista>
- [9] BUREŠ, M. *Manipulace s břemeny*. Plzeň. Přednáška z předmětu ŘOP. Západočeská univerzita v Plzni, FST, Katedra KPV
- [10] RULA - Rapid Upper Limb Assessment - Ergonomie site. *Ergonomie site - Info over ergonomie* [online]. [cit. 2.11.2020]. Dostupné z: <https://www.ergonomiesite.be/rula/>
- [11] HLÁVKOVÁ, Jana a Alena VALEČKOVÁ. *Ergonomické checklisty a nové metody práce při hodnocení ergonomických rizik: metodický materiál Národního referenčního pracoviště pro fyziologii a psychofyziologii práce*. Praha: Státní zdravotní ústav, 2007. ISBN 978-80-7071-289-4.
- [12] BUREŠ, M. *Ergonomické metody a analýzy*. Plzeň. Přednáška z předmětu ŘOP. Západočeská univerzita v Plzni, FST, Katedra KPV
- [13] BUREŠ, M. *Ergonomie - člověk*. Plzeň. Přednáška z předmětu ŘOP. Západočeská univerzita v Plzni, FST, Katedra KPV
- [14] BUREŠ, M. *Digitální modely člověka*. Plzeň. Přednáška z předmětu ŘOP. Západočeská univerzita v Plzni, FST, Katedra KPV

- [15] CAPTIV-L7000 [online]. Dostupné z: <https://www.creact.co.jp/item/captiv-l7042>
- [16] Manuál k systému CAPTIV, CAPTIV Manual ENGLISH.pdf
- [17] - TEA. TEA - *Measurement and analysis of Human Behavior* [online]. Copyright © 2021 TEA [cit. 11.02.2021]. Dostupné z: <https://www.teaergo.com/products/?appcat=&prodtype=&brandcat=teaergo>
- [18] *Tecnomatix Jack 7.0* [online]. Copyright © [cit. 14.03.2021]. Dostupné z: https://www.plm.automation.siemens.com/cz_cz/Images/Tecnomatix_Jack_7_tcm841-117308.pdf
- [19] EvoBus [online] Copyright © 2021 EvoBus GmbH Všechna práva vyhrazena. [cit. 26.03.2021]. Dostupné z: <https://www.evobus.com/cs-cz/layer/other-layers/vyroba/>
- [20] Odporové bodové svařování | Svářecí technika Schinkmann.cz. *Svářecí technika Schinkmann.cz* [online]. Copyright © 1991 [cit. 20.02.2021]. Dostupné z: <https://www.schinkmann.cz/odporove-bodove-svarovani>
- [21] EP 1500 - motorické polohovadlo. JC-Metal | JC Metal [online]. Copyright © 2021 [cit. 04.04.2021]. Dostupné z: <https://www.jcmetal.cz/eshop/cs/motoricka-polohovadla/826-ep-1500-motoricke-polohovadlo.html>
- [22] Autoři. CBA - *Cost Benefit Analýza v ergonomii*. Interní materiály spol. CIE Group s.r.o., Plzeň, 2021.