

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní zaměření: 2301T007 Průmyslové inženýrství a management

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Realizace ergonomické analýzy
s možností implementace Motion Capture dat

Autor: **Bc. Martin PŘÍHODA**
Vedoucí práce: **Ing. Petr HOŘEJŠÍ, Ph.D.**

Akademický rok 2016/2017

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

V Plzni dne:

.....

podpis autora

Poděkování:

Autor by chtěl předně poděkovat za velkou trpělivost (a za obrázky) své manželce **Pavle Příhodové** s dcerou **Emou**, která se narodila v průběhu toho akademického roku. Také by rád poděkoval za spolupráci svému vedoucímu diplomové práce, **Ing. Petru Hořejšímu, Ph.D.** a konzultantům **Ing. Jiřímu Polcarovi** a **Ing. Michalovi Gregorovi** za vedení, konzultace, připomínky a zejména za čas, který mi věnovali. Za cenné rady s řešením některých programátorských problémů děkuje autor i Ing. Kamilovi Ekštejnovi, Ph.D. a Ing. Jiřímu Dobrému.

Anotace:

Tato práce se zabývá ergonomickou analýzou, rozborem jejích metod a implementaci vhodné metody ve vývojovém prostředí Unity 3D s použitím zařízení MS Kinect jako vstupního snímače.

Summary:

This work investigates the ergonomics analysis, check out the methods a implementation of the applicable method to the Unity 3D framework using MS Kinect device as a input sensor.

Klíčová slova:

RULA, NIOSH, OCRA, ergonomie, bezpečnost, záznam pohybu, simulace výrobních procesů, Unity 3D, MS Kinect, C#.

Keywords:

RULA, NIOSH, OCRA, ergonomoy, safety, motion capture, process simulation, Unity 3D, MS Kinect, C#.

Seznam použitých zkratk:

ČSN	-	Československá norma
RULA	-	Rapid Upper Limb Assessment Rychlé hodnocení horních končetin
NIOSH	-	National Occupation Safety and Health Národní institut bezpečnosti práce a zdraví
OCRA	-	Occupational Repetitive Actions Analýza hodnocení zátěže horních končetin při často se opakujících činnostech
PLM	-	Product Lifecycle Management Řízení životního cyklu výrobku
C#	-	Programovací jazyk
GUI	-	Graphical User Interface Grafické uživatelské rozhraní
MS	-	Microsoft (firma zabývající se vývojem a prodejem hardware a software)
API	-	Application programable interface programovatelné prostředí aplikace

Slovníček použitých pohybů:

Flexe	-	ohnutí, skrčení
Extenze	-	natažení
Abdukce	-	roztažení (prsty nebo končetiny se pohybují směrem od sebe)
Addukce	-	přitažení (prsty nebo končetiny se pohybují směrem k sobě)
Pronace	-	rotace ruky (směr „sbírám předmět“)
Supinace	-	rotace ruky (směr „nabízím něco“)
T-pozice	-	stoj spatný, horní končetiny rozpažené

Terminologie:

Aplikace	-	soubor komponentů, který na základě vstupů poskytuje výstupy
Program	-	sled instrukcí pro procesor
Script	-	soubor instrukcí v prostředí Unity 3D
Asset	-	balíček objektů pro Unity 3D

Obsah

1	Úvod.....	7
2	Analýza současného stavu	8
2.1	Popis stavu.....	8
3	Software – výběr softwaru pro realizaci řešení.....	9
3.1	Nabídka software.....	9
3.2	Parametry výběru software.....	11
4	Ergonomie – výběr vhodné analytické metody.....	12
4.1	Anatomické minimum	12
4.2	Ergonomie	14
4.3	Pracovní polohy.....	15
4.3.1	Trup.....	15
4.3.2	Krk a hlava	16
4.3.3	Horní končetiny.....	18
4.4	Metody ergonomie.....	19
4.4.1	RULA	19
4.4.2	NIOSH.....	21
4.4.3	OCRA.....	22
4.4.4	Analýza dle ČSN.....	22
4.5	Výběr ergonomické metody	23
5	Analýza programového řešení	24
5.1	Plán pracovního postupu	24
5.2	Návrh struktury programu	24
5.3	Uživatelské vstupy.....	25
5.4	Výstupy programu	26
5.5	Programové bloky aplikace	26
6	Uživatelské prostředí	28
7	Implementace RULA analýzy.....	31

8	Implementace analýzy dle české legislativy	34
8.1	Měření času.....	34
8.2	Opakované překročení limitu	35
9	Propojení se snímacím zařízením MS Kinect	36
9.1	Instalace ovladače MS Kinect	36
9.2	Zjištění úhlů jednotlivých kloubů.....	37
10	Závěr	39
10.1	Ekonomické hodnocení projektu.	39
10.2	Porovnání výstupů z jiných aplikací.....	40
11	Seznam obrázků.....	45
12	Bibliografie	46
	Příloha A	
	Příloha B	
	Příloha C	

1 Úvod

V současné době digitalizace výrobních procesů přichází na řadu i analýza ergonomických vlastností pracoviště a následně i celého výrobního procesu. Doba, kdy ve vztahu člověk-stroj-prostředí hrál prim stroj, je již dávno za námi a současné strojírenství klade čím dál větší důraz na člověka – tedy na bezpečnost a ergonomii. Tyto požadavky vycházejí nejen z požadavků zaměstnanců, potažmo spolků pro ochranu zaměstnanců, ale i provozovatelé strojů si spočítali, že se vyplatí mít stroj bezpečný a ergonomický. Takový stroj má pak nižší nepřímé náklady na obsluhu, která má nižší nemocnost, vyšší loajalitu a vyšší produktivitu. Mnohé z bezpečnostních a ergonomických požadavků jsou již i převedeny do legislativy.

Je nutné neustále přehodnocovat a validovat ergonomické a bezpečnostní analýzy a věnovat úsilí v inovacích, které zajistí zlepšení ergonomie a zajištění bezpečnosti. Tyto analýzy by měly probíhat během celého životního cyklu produktu. Z hlediska požadavků na bezpečnost to dokonce vyplývá z platné legislativy. Na ergonomické hledisko bývá vyvíjen tlak ze strany zákazníků. V praxi tyto požadavky specifikuje zákazník ve svých specifikacích.

Tato práce má za úkol zanalyzovat současnou situaci v oblasti ergonomických analýz, zjistit jaké jsou metody, jejich použití a použitelnost při matematickém modelování. Na základě rozboru vznikla aplikace, která provádí ergonomické hodnocení pozice pracovníka snímaného pomocí zařízení MS Kinect. Aplikace byla naprogramována v programovacím jazyce C#, grafické rozhraní bylo vytvořeno v softwarovém prostředí Unity 3D. Ambicí práce je stát se základem systému pro ergonomickou analýzu v tomto software. Tomu by mohlo napomoci i skutečnost, že tato práce bude podkladem pro část disertační práce ing. Michala Gregora, která se bude metodami ergonomických analýz zabývat.

První část této práce se zabývá teoretickým základem, porovnáním různých typů analýz a postupem výpočtu v prostředí Unity 3D. Druhá část se zabývá samotným převedením analýzy RULA do prostředí Unity 3D. Posledním krokem je propojení aplikace se zařízením MS Kinect. Výstup aplikace je porovnán s výstupem z profesionálního software Tecnomatix Jack.

Pro zpracování bylo zvoleno vývojové prostředí Unity 3D a programovací jazyk C#. Jako vstupní jednotka slouží zařízení MS Kinect, které je schopno snímat člověka a s určitou přesností interpolovat polohy jednotlivých kloubů a kostí.

S ohledem na podobnost a občasnou nejasnost hranic mezi termíny je vhodné definovat terminologii pro tento projekt.

Aplikace – celý soubor komponentů, který na základě vstupů poskytuje výstupy.

Program – sled instrukcí pro procesor.

V této práci je terminologie rozdělena tak, že aplikací bude rozuměn celý výsledný spustitelný produkt a program bude označovat konkrétní část v programovacím jazyce C#. V prostředí Unity 3D jsou tyto části označeny anglickým výrazem script.

Také označení metody „dle české legislativy“, případně označení „dle ČSN“ se vztahuje na konkrétní příslušné normy, a to: ČSN EN 1005-4:2005, ČSN EN 1005-5:2007 a nařízení vlády č. 68/2010 Sb.

Cílem práce je vytvořit aplikaci, která pomocí zařízení MS Kinect snímá pohyby pracovníka, přenáší je do počítače a v reálném čase počítá a zobrazuje ergonomické hodnocení aktuální pozice.

2 Analýza současného stavu

2.1 Popis stavu

V současné době se běžně využívají ve strojírenství všechny metody ergonomické analýzy. To, která metoda a jakým způsobem se využije, závisí zejména na vhodnosti metody, finančních možnostech firmy a na četnosti využití. I metody, které nejsou drahé na pořízení, dají poměrně dobré výsledky, většinou jsou však dosti pracné a časově náročné. Pro komplikovanější situace, případně rozbor delšího časového úseku pracovního cyklu, bývá vhodnější použít softwarové řešení. Tato řešení však bývají finančně náročná a je pak nutné zajistit jejich efektivní vytíženost a tím i rentabilitu.

Podle ekonomické náročnosti lze seřadit způsoby řešení ergonomie takto:

- Řešení na základě konstruktérské zkušenosti
 - Jednodušší stroje a nástroje konstruktér řeší dle citu a zkušeností
- Řešení pomocí jednoduchých metod
 - RULA, NIOSH, OCRA, OWAS
 - Tyto metody mohou být mírně modifikované pro konkrétní použití
- Ergonomie řešená dle požadavků zákazníka (provozovatele stroje)
 - Zákazník definuje v požadavcích ergonomické vlastnosti:
 - Pracovní výšku
 - Dosahy pracovníka
 - Materiály
 - Ovládání
- Optimalizace stávajících řešení
 - Na základě zkušenosti se vylepšují a optimalizují stávající řešení
 - Odstraňují se nedostatky
- Externí specialista
 - Pro složitější stroje a nástroje se návrh konzultuje s externím specialistou
 - Často se zároveň řeší bezpečnostní požadavky a analýza rizik
- Softwarové řešení
 - Pro složité činnosti se simuluje pracovní cyklus ve vhodném software

Tato práce si klade za cíl je vytvořit funkční softwarovou simulaci a ergonomickou analýzu řešenou tak, aby její implementace a použití bylo levné a bylo tedy možno provádět aspoň základní analýzu i v prostředí menších firem bez velkého finančního zázemí.

3 Software – výběr softwaru pro realizaci řešení

Pro výpočty ergonomických parametrů existuje několik profesionálních řešení. Tato řešení jsou většinou v rámci balíku CAM/CAM (respektive PLM) software jako volitelný modul a jejich cena bývá velmi vysoká. Většinou malých až středních firem se nevyplatí investovat do takto drahých řešení. Výhodou však bývá datová provázanost jednotlivých modulů a tím zjednodušení komunikace mezi jednotlivými odděleními v rámci firmy. Ergonomii tedy takové firmy řeší na základě zkušeností, co se osvědčilo a co ne a případně jen přeměřením a porovnáním s tabulkovými hodnotami.

3.1 Nabídka software

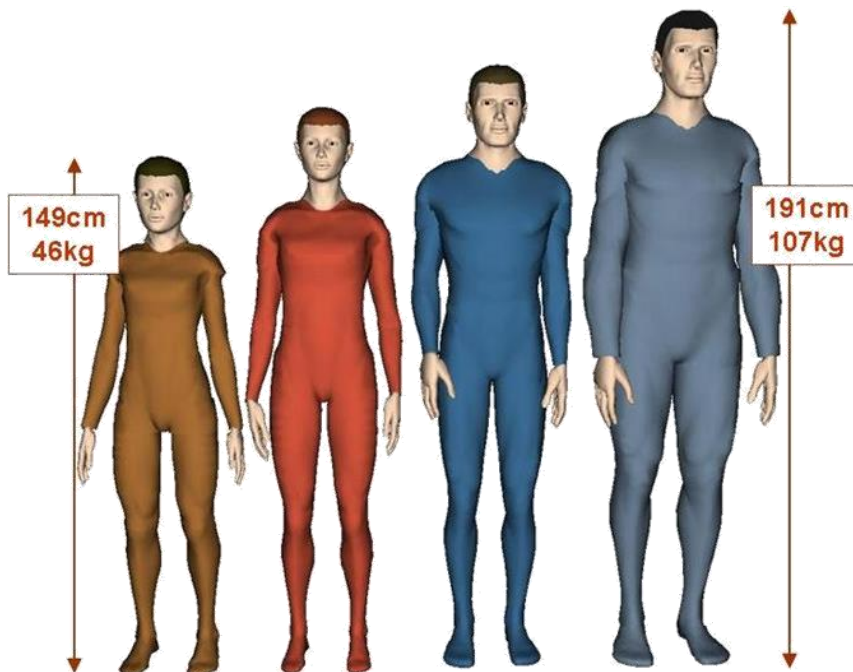
Tecnomatix Jack

Software od firmy Siemens pro řešení ergonomických úloh.

V rámci svého PLM balíku (Siemens PLM Software) dodává firma Siemens softwarové bloky pro digitální továrnu (Digital Factory). Pro řešení ergonomie je určen Tecnomatix Jack.

Tecnomatix Jack je real-time simulační software který mimo jiné umožňuje analyzovat ergonomické vlastnosti pracoviště. Toto pracoviště je možné převést přímo z CAD software (u firmy Siemens je to NX) nebo pomocí základních tvarů pracoviště namodelovat. Do tohoto pracoviště pak uživatel umístí model člověka s propracovanými biomechanickými vlastnostmi. Není bez zajímavosti, že vývoj probíhal za podpory NASA na pensylvánské univerzitě.

Simulační model člověka je podrobně namodelován, disponuje až 135 stupni volnosti [1]. Je parametrizován a je tedy možné měnit některé vlastnosti modelu – výšku, hmotnost, pohlaví.



3-1: Rozdílné parametry modelu

Parametry postav vycházejí ze statistických dat armády spojených států z roku 1988 (ANSUR 88 - Anthropometric Survey of U. S. Army). Je tedy možné vygenerovat postavu z požadovaného percentilu populace.

Pro simulace je v programu využit princip inverzní kinematiky. To znamená, že při pohybu jednou částí těla modelu software dopočítá pohyby navazujících segmentů. Pomocí této, pro simulaci virtuálních modelů standardně používané metody, se simulační proces stává logičtější a intuitivnější navíc je oproti simulaci (simulace každého dotčeného bodu zvlášť) i méně náročná na paměť [2]. Program zároveň počítá i případné kolize objektů.

Program obsahuje knihovnu základních poloh a umožňuje i manuální nastavení polohy. Je při tom možné využívat různé simulace chování, nebo vytvářet propojení objektů. Model tedy je možné propojit s výrobkem tak, aby jej rukou držel. Software dokonce nabízí několik variant uchopení. Výpočetní modul inverzní kinematiky se stará o to, aby i zbytek těla modelu pracovníka adekvátně reagoval na pohyb výrobku.

Při pohybech modelu je možné sledovat vybrané parametry a případně použít i doplňkové moduly pro aplikaci standardních i speciálních analýz. Tyto moduly obsahují analýzy RULA, NIOSH, OWAS, analýzy sil působících na páteř, analýzy zatížení pracovníka, časové analýzy, analýzy zorného pole a mnohé další.

Delmia V5 Human

Podobně jako firma Siemens i firma Dassault Systemes má ergonomický modul v rámci svého řešení PLM.

Princip funkce je velmi podobný jako u Tecnomatix Jack. Je přirozené, že pokud na základě podobných vstupů je požadavek na podobné výsledky a jsou dané stejné omezující podmínky, i způsob řešení je podobný. Odlišnosti jsou zejména v provázanosti systému. Delmia Human Builder je provázán s CAD systémem Catia.

Opět zde lze nadefinovat parametry postavy, výšku, hmotnost, požadovaný percentil, či jednotlivé rozměry částí těla. Modely také vycházejí ze statistických dat, používají však jiné antropomorfní databáze z různých kontinentů [3].

Jelikož se firma Dassault stále vyvíjí a zlepšuje své programy, i nabídka programů a řešení byla aktualizována. V současné době tedy ergonomické moduly jsou mírně jinak uskupené a změnilo se pojmenování modulů. Delmia je nyní verze V6 a ergonomické moduly se jmenují Ergonomist a Ergonomist specialist. Doplňuje je ještě Car Desig Ergonomist a Work Safety Engineer [4].

Unity 3D

Softwarové vývojové prostředí Unity 3D bylo vybráno pro svoji otevřenost a příznivou licenční politiku. Tento software je původně vyvinula společnost Unity Technologies jako prostředí pro vývoj vlastních počítačových her. Po nevelkém úspěchu jejich her hledali jiné možnosti financování a spatřili potenciál v svém vývojovém prostředí, které uvolnili k volnému použití za specifikovaných licenčních podmínek. Zpočátku bylo Unity 3D za poplatek 250 USD, později 200 USD a přibližně v roce 2009 byla základní verze uvolněna zdarma.

Stále možně zakoupit několik typů licencí za měsíční poplatek. Tyto licence navíc obsahují pokročilé vývojářské nástroje, jako podrobné analýzy výkonu jednotlivých výpočtových komponentů, či přístup ke všem zdrojovým kódům vyvíjené aplikace.

Autor práce nenalezl žádný podobný typ aplikace, který by prováděl real-time ergonomické hodnocení pracovních pozic. Unity 3D bylo sice primárně vyvinuto pro vývoj počítačových her, ale postupně přibýly i propracované výpočetní modely pro simulaci virtuálního světa, například simulace fyzikálních vlastností a zákonů.

Počítačové hry se totiž často snaží simulovat reálný (nebo i nereálný) svět včetně vzájemného působení různých prvků. Pro simulace je k dispozici možnost doplnění prvků programovými bloky a tím i téměř neomezené možnosti pro implementaci různých výpočetních modelů. Unity je tedy dobrou volbou pro různé simulace a tedy i simulaci ergonomických analýz.

Nevýhodou vývojového prostředí Unity 3D je nekompatibilita s průmyslovými standardy CAD/CAM systémů. Převod dat z 3D konstrukčních systémů není triviální a vyžaduje několik mezikroků. Je to způsobeno odlišnou filozofií používaných datových formátů – průmyslové programy jako např. Catia využívají přesné matematické modely (tzv. NURBS křivky). Tyto přesně definované modely je pak možné použít i v dalších krocích strojírenské výroby, jako jsou CNC stroje, průmyslové roboty a další [5]. Unity řeší spíše vizuální stránku a modely jsou optimalizované na rendering – tedy výpočet výsledného vizuálního vzhledu na obrazovce. Pro tyto výstupy je požadavek na zobrazení scény v reálném čase, a proto je nutná optimalizace modelů i výpočetních metod. Vyvíjená aplikace toto však pro základní funkčnost nepotřebuje.

Ostatní

Dále existuje několik poloprofesionálních programů pro jednotlivé analýzy, většinou jde však pouze o elektronizaci standardních formulářů pro jednotlivé analýzy, případně tabulky převedené do tabulkového procesoru s občasným využitím maker.

3.2 Parametry výběru software

Pro výběr software pro řešení ergonomických analýz hraje roli několik faktorů.

- Aplikovatelnost na řešení problému
- Cena
- Na jaké platformě firma pracuje (ná vaznost v rámci PLM)
- Zkušenosti uživatelů
- Požadovaná robustnost software

	Cena	Analýzy	Potřebná platforma
Tecnomatix Jack	Vysoká	Velký výběr	Siemens PLM
Delmia Human Builder	Vysoká	Velký výběr	Delmia PLM
Unity 3D	Zdarma	Dle programu	Žádná
Tabulky a makra pro Excel, poloprofesionální programy	Zdarma, nízká	Dle programu	Žádná, tabulkový procesor

4 Ergonomie – výběr vhodné analytické metody

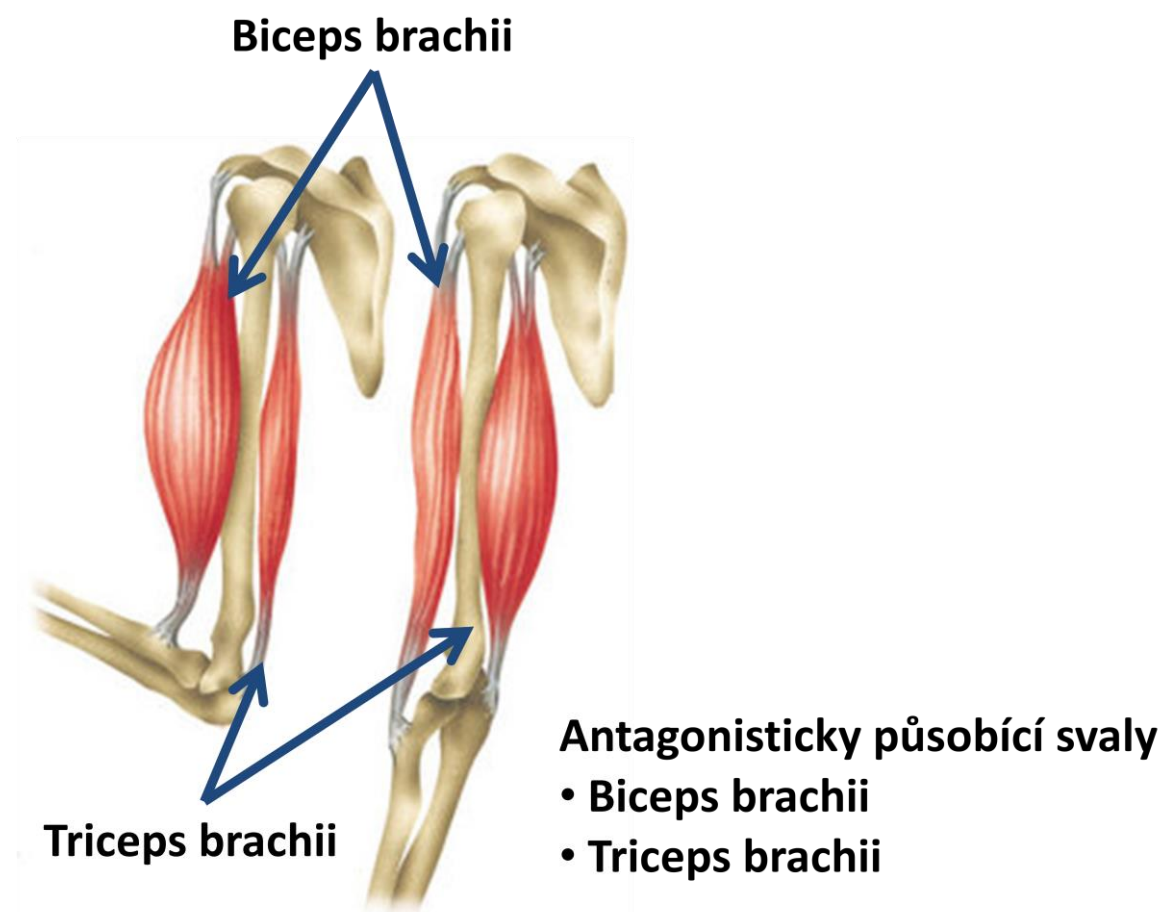
Jelikož ergonomické analýzy vycházejí z biologické stavby člověka, je vhodné definovat některé pojmy z anatomie.

Pro přehlednost je na začátku práce uveden slovníček některých anatomických pojmů. Jedná se zejména o pojmenování pohybů, které vychází z latinské terminologie.

4.1 Anatomické minimum

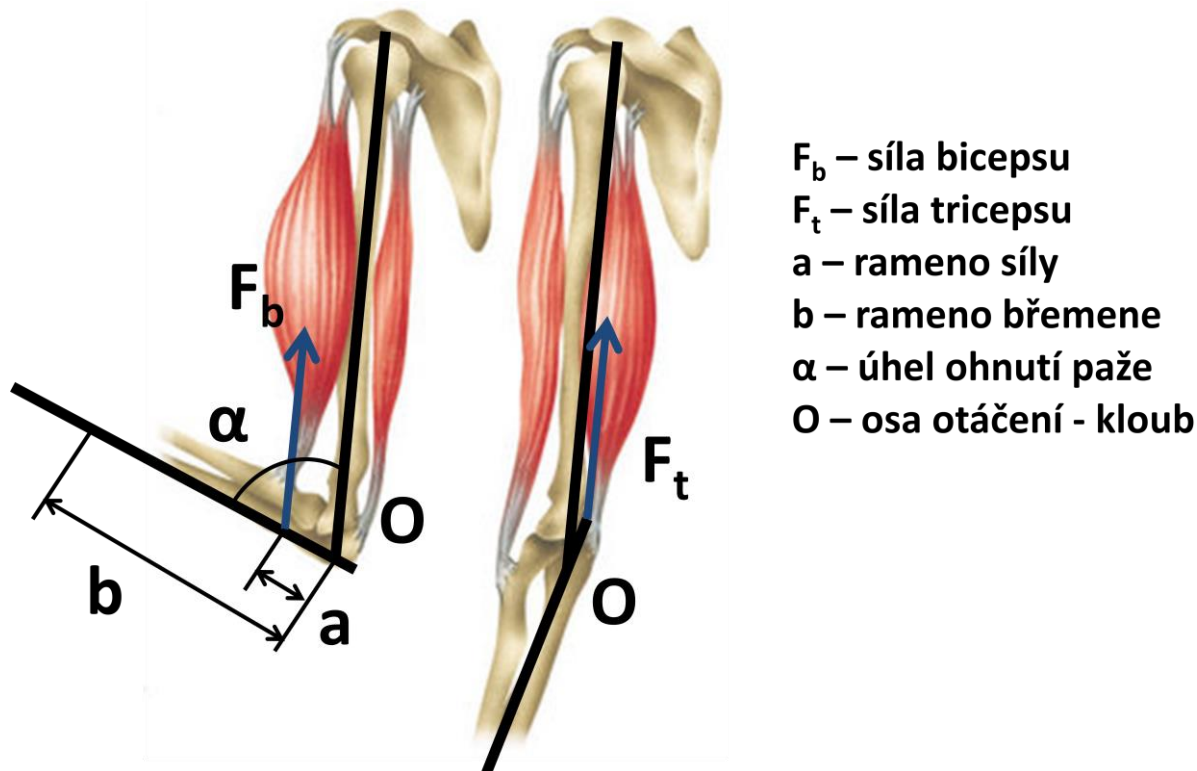
Kosti jsou tvrdé struktury tvořící vnitřní strukturu těla. Mají opornou a ochrannou funkci. Na kosti se upínají svaly a šlachy. Kostra je soubor kostí, které tvoří pasivní oporu těla. Kosti jsou navzájem pohyblivě spojeny pomocí kloubů. Některé kosti jsou spojeny výživovou tkání nebo chrupavkou a jsou pohyblivé jen málo nebo vůbec. Svaly jsou orgán, jenž se umí přeměňovat chemickou energii živin na kinetickou energii – umí se stahovat – kontrahovat. Tím umožňuje pohyb živých organismů. Svaly dohromady tvoří svalovou soustavu.

Dle funkce se svaly dělí na agonistické, které působí ve směru zamýšleného pohybu a svaly antagonistické, působící směrem opačným. Funkce antagonistů je dvojitá – brání extrémním pozicím (působí jako brzda) a zajišťují návrat do výchozí pozice. Příkladem může být na paži biceps brachii a triceps brachii.



4-1: Svaly paže - biceps brachii a triceps brachii [6], [7]

Z hlediska mechaniky je soustava svalů a kostí jednoduchý stroj – páka. Omezující podmínky jsou maximální rozsahy pohybů. Rozsah pohybů a maximální síly jsou u každého člověka jiné. Pro ergonomické výpočty však s velkou přesností stačí statisticky zjištěné hodnoty. Má však smysl rozlišovat v některých případech pohlaví a rasu. Tyto rozdíly plynou z různých průměrných hodnot výšek žen a mužů z různých etnických skupin.



4-2: Svaly s vyznačením působení sil¹ [6], [7]

Uvolněná, nepřetížená pozice kostí a svalů se nazývá fyziologická. Stejně se nazývají i přirozené pohyby v neextrémním rozsahu. V takovýchto polohách nedochází k nadbytečnému namáhání a přetěžování kloubů a úponů svalů. Krátkodobé přetížení svalů nebo kostí se projevuje bolestí, při dlouhodobém může dojít i k trvalým změnám. Tyto trvalé změny mohou být někdy požadované, například u vrcholového sportu, v pracovním procesu jsou ty pozice nežádoucí.

Poloha bez výrazného zapojení agonistů a antagonistů se nazývá neutrální poloha. Neutrální poloha bývá často považována za výchozí polohu a další pohyby se vztahují k této poloze.

¹ Z hlediska anatomie je vhodné upřesnit, že se jedná o výslednice skládání sil. Biceps brachii má ve skutečnosti dvě hlavy a je upnut na třech úponech. Výsledná síla je tedy výslednicí složení dvou sil. Triceps femoris má tři hlavy, čtyři úpony a výslednice je tedy složení tří sil.

4.2 Ergonomie

Pojem ergonomie pochází z řečtiny, je to složenina ze slov ergon (práce) a nomos (zákon). Je to komplexní vědní obor, který se zabývá vztahem člověk-stroj-prostředí z hlediska antropocentrického. Cílem tedy je vytvořit příznivé fyziologické a sociální podmínky pro efektivní lidskou činnost. Takovéto podmínky vedou ke zvýšené produktivitě a snižují riziko zdravotního poškození pracovníků.

Co je o ergonomie definuje mimo jiné i norma ČSN EN 614-1:2006+A1:2009

„Ergonomie se zabývá studiem vzájemných vztahů (interakcí) mezi lidmi a dalšími prvky systému. Ergonomie aplikuje teoretické poznatky, zásady, empirická data a metody pro navrhování zaměřené na optimalizaci pohody osob a celkovou výkonnost systému.“ [8]

Ergonomie se jako interdisciplinární obor dělí na tyto specializace:

- Fyzická ergonomie:
 - o Zkoumá pracovní podmínky a prostředí a jejich vliv na zdraví člověka.
 - o Problematika pracovních poloh a pozic
 - o Manipulace s břemeny
 - o Opakované činnosti
 - o Rozložení pracoviště
- Kognitivní ergonomie
 - o Zabývá se mentálními procesy – postřeh, vnímání, paměť, rozhodování
 - o Pracovní stres
 - o Psychologická zátěž
 - o Lidská odpovědnost
- Organizační ergonomie
 - o Soustředí se na optimalizaci sociálně-technických systémů, organizačních struktur a procesů
 - o Komunikace
 - o Týmová práce
 - o Kooperativní práce
 - o Management kvality

V této práci jsou brány v úvahu fyzické oblasti ergonomie, konkrétně pracovní pozice člověka při obsluze stroje.

4.3 Pracovní polohy

Pracovní pozice, tedy poloha, ve které je vykonávána práce, zásadním způsobem ovlivňuje zdraví a produktivitu pracovníka. Stejná práce prováděná v různých pozicích může být různě náročná, vliv má výška pracovní plochy, to zda pracovník stojí či sedí, případně pracuje v pokleku, v lehu nebo v jiné pozici.

Pro většinu činností je výhodnou polohou sed, neboť ulevuje dolním končetinám. Někdy je výhodnější stoj, kde je člověk schopen flexibilněji měnit polohu a dokáže vyvinout větší sílu. Stoj je však unavující a proto bývá doporučeno, pokud je to možné, pracovníkovi polohu doplnit sedem nebo umožnit alespoň polosed.

V ergonomii se dle české legislativy (ČSN EN 1005-4:2005, ČSN EN 1005-5:2007 a nařízení vlády č. 68/2010 Sb.) pracovní polohy dělí na [9]:

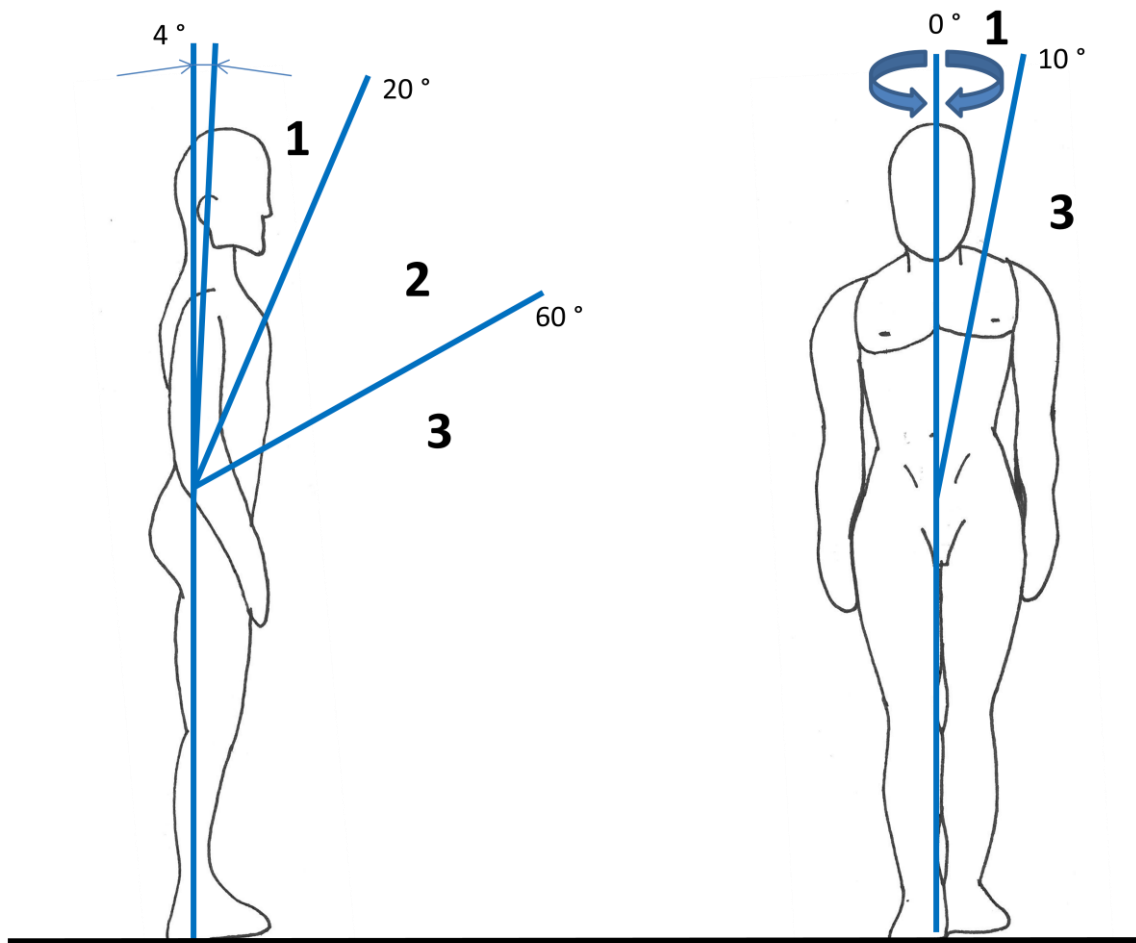
- Přijatelné
 - o Polohy vhodné pro vykonávání práce
 - o Nevyžadují žádné úpravy
- Podmíněně přijatelné
 - o Zvýšené riziko zdravotního poškození
 - o Vyžaduje mírné úpravy pracovního prostoru nebo polohy
 - o Během osmihodinové pracovní doby nesmí doba činnosti v podmíněně přijatelné poloze být souvisle delší než 1 – 8 minut, celkem maximálně 160 minut
- Nepřijatelné
 - o Velké riziko zdravotního poškození
 - o Nutné velké úpravy pracovního prostoru
 - o Během osmihodinové pracovní doby nesmí doba činnosti v podmíněně přijatelné poloze být souvisle delší než 1 – 8 minut, celkem maximálně 30 minut

Pro hodnocení ekonomičnosti polohy je hodnocena poloha trupu, hlavy a krku a končetin [10].

Každý člověk je mírně odlišný, níže uvedené úhly je tedy nutné brát jako statistický průměr. Pro přesnější hodnocení je vhodné si konkrétní polohu vyzkoušet, setrvat v ní po dobu několik předpokládaných cyklů a následně hodnotit i na základě subjektivního pocitu v dané poloze.

4.3.1 Trup

- Výchozí rovina je rovina svislá, rovnoběžná s rovinou ramen – středy ramenních a kyčelních kloubů.
- Neutrální poloha je od svislé roviny o cca 4 ° odchýlena – prochází sedmým krčním obratlem a horní
- Přijatelná poloha:
 - o 0 – 20 ° předklon/záklon
 - o 0 – 10 ° úklon nebo rotace
- Podmíněně přijatelná poloha:
 - o 20 – 60 ° předklon/záklon
- Nepřijatelná poloha:
 - o Více než 60 ° předklon/záklon
 - o Více než 10 ° úklon nebo rotace

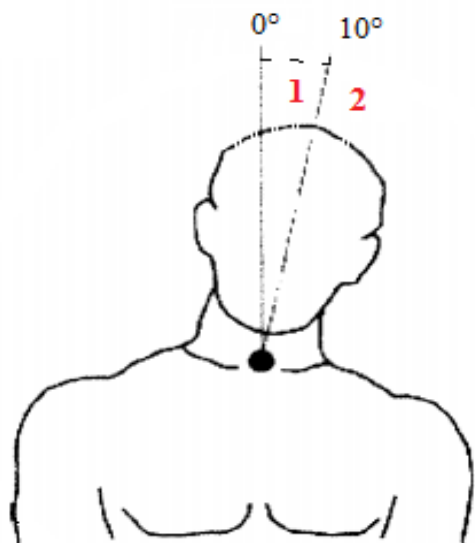


4-3: Pásma pracovních poloh - trup

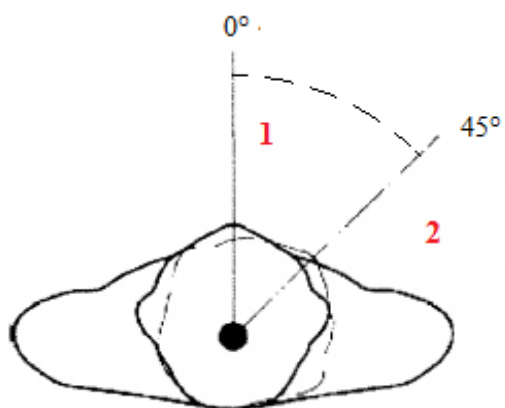
4.3.2 Krk a hlava

Polohu hlavy je možné hodnotit dvěma metodami.

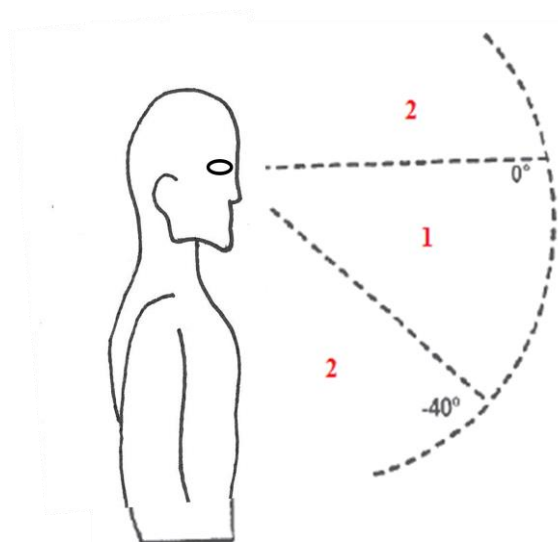
1. Úhel sklonu hlavy vzhledem k svislé ose.
 2. Úhel roviny očí k horizontální rovině.
- Příjemná poloha:
 - o 0 – 10 ° úklon hlavy
 - o 0 – 45 ° rotace hlavy
 - o 0 – 45 ° pohled vodorovně a pod rovinu očí
 - Nepříjemná pozice:
 - o Více než 10 ° úklon hlavy
 - o Více než 45 ° rotace hlavy
 - o Více než 45 ° pohled pod rovinu očí a více než 0 ° nad rovinu očí



4-4: Pracovní poloha hlavy a krku – otočení



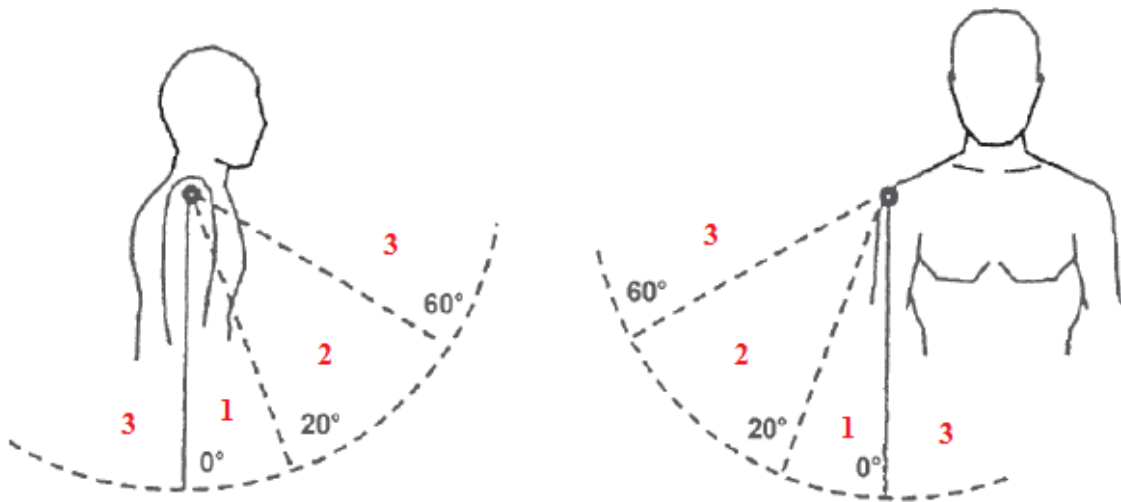
4-5: Pracovní poloha hlavy a krku – úklon



4-6: Pracovní poloha hlavy a krku – směr pohledu

4.3.3 Horní končetiny

- Neutrální poloha je rovnoběžná se svislou osou těla
- Hodnotí se úhel mezi spojnicí okraje loketního kloubu a klíční kostí a neutrální polohou
- Přijatelná poloha:
 - o 0 – 20 ° předpažení
 - o 0 – 20 ° upažení
- Podmíněně přijatelná poloha:
 - o 20 – 60 ° předpažení
 - o 20 – 60 ° upažení
- Nepřijatelná pozice:
 - o Více než 60 ° předpažení
 - o Více než 60 ° upažení



4-7: Pracovní polohy horních končetin [11]

4.4 Metody ergonomie

V ergonomii existuje celá řada metod pro stanovení míry zátěže na pracovníka, respektive na jednotlivé části lidského těla. Cílem této práce je implementace vybrané metody do počítačového programu Unity 3D, proto zde nejsou vyjmenovány všechny metody. Jde spíše o porovnání vybraných metod z hlediska možností, jak metodu naprogramovat.

Pro stanovení vhodnosti implementace do Unity je v této fázi brán zřetel jen na samotnou metodu. Z programátorského hlediska je problematika řešena v kapitolách o implementaci příslušné metody. V této kapitole se předpokládá vhodně vytvořená scéna v Unity 3D, kde je figura pracovníka. Tato figura se může pohybovat dle pohybových schémat člověka a je možné na ní provádět výpočty.

4.4.1 RULA

RULA (Rapid Upper Limb Assessment – Rychlé hodnocení horních končetin) je metodou, která se zabývá hodnocením postojů a pozicí horní poloviny těla, zejména horních končetin. Zaměřuje se především na biomechanické a polohové zatížení těchto oblastí.

Hodnocení se zapisuje do pracovních listů, tzv. RULA Scoreboard (Příloha A). Hodnotí se jednotlivé parametry dle metodického postupu a výsledně je spočítáno skóre polohy. Hodnota tohoto skóre určuje následný postup.

RULA Employee Assessment Worksheet

Task Name: _____ Date: _____

A. Arm and Wrist Analysis

Step 1: Locate Upper Arm Position:

Step 1a: Adjust...
If shoulder is raised: +1
If upper arm is abducted: +1
If arm is supported or person is leaning: -1

Step 2: Locate Lower Arm Position:

Step 2a: Adjust...
If either arm is working across midline or out to side of body: Add +1

Step 3: Locate Wrist Position:

Step 3a: Adjust...
If wrist is bent from midline: Add +1

Step 4: Wrist Twist:

Step 5: Look-up Posture Score in Table A:
Using values from steps 1-4 above, locate score in Table A

Step 6: Add Muscle Use Score
If posture mainly static (i.e. held >10 minutes), Or if action repeated occurs 4X per minute: +1

Step 7: Add Force/Load Score
If load < 4.4 lbs. (intermittent): +0
If load 4.4 to 22 lbs. (intermittent): +1
If load 4.4 to 22 lbs. (static or repeated): +2
If more than 22 lbs. or repeated or shocks: +3

Step 8: Find Row in Table C
Add values from steps 5-7 to obtain Wrist and Arm Score. Find row in Table C.

Scores

Table A		Wrist Score						
		1	2	3	4			
Upper Arm	Lower Arm	Wrist Twist	Wrist Twist	Wrist Twist	Wrist Twist			
	1	1	2	2	2	3	3	3
	2	2	2	2	2	3	3	3
	3	2	3	3	3	3	4	4
	4	1	2	3	3	3	4	4
	5	2	3	3	3	3	4	4
Wrist / Arm Score	1	1	2	3	4	5	6	
	2	2	3	4	5	6	7	
	3	3	4	5	6	7	8	
	4	4	5	6	7	8	9	
	5	5	6	7	8	9	9	
	6	6	7	7	7	8	9	

Table C		Neck, Trunk, Leg Score						
		1	2	3	4	5	6	7+
Neck	1	1	2	3	4	5	5	
	2	2	2	3	4	4	5	
	3	3	3	3	4	4	5	
	4	3	3	3	4	5	6	
	5	4	4	4	5	6	7	
	6	4	4	5	6	6	7	
Trunk	1	7	7	7	7	8	8	
	2	8	8	8	8	8	9	
	3	9	9	9	9	9	9	
	4	9	9	9	9	9	9	
	5	9	9	9	9	9	9	
	6	9	9	9	9	9	9	

Scoring: (final score from Table C)
1-2 = acceptable posture
3-4 = further investigation, change may be needed
5-6 = further investigation, change soon
7 = investigate and implement change

B. Neck, Trunk and Leg Analysis

Step 9: Locate Neck Position:

Step 9a: Adjust...
If neck is twisted: +1
If neck is side bending: +1

Step 10: Locate Trunk Position:

Step 10a: Adjust...
If trunk is twisted: +1
If trunk is side bending: +1

Step 11: Legs:
If legs and feet are supported: +1
If not: +2

Neck Posture Score	Table B: Trunk Posture Score					
	1	2	3	4	5	6
1	1	3	3	3	4	5
2	2	3	3	4	5	5
3	3	3	3	4	5	5
4	5	5	5	6	7	7
5	7	7	7	7	8	8
6	8	8	8	8	8	9

Step 12: Look-up Posture Score in Table B:
Using values from steps 9-11 above, locate score in Table B

Step 13: Add Muscle Use Score
If posture mainly static (i.e. held >10 minutes), Or if action repeated occurs 4X per minute: +1

Step 14: Add Force/Load Score
If load < 4.4 lbs. (intermittent): +0
If load 4.4 to 22 lbs. (intermittent): +1
If load 4.4 to 22 lbs. (static or repeated): +2
If more than 22 lbs. or repeated or shocks: +3

Step 15: Find Column in Table C
Add values from steps 12-14 to obtain Neck, Trunk and Leg Score. Find Column in Table C.

4-8: Pracovní list pro analýzu RULA [12]

Pro hodnocení RULA je určena tabulka skóre a doporučení [13]:

Kategorie	RULA skóre	Vyhodnocení
1.	1-2	Žádné riziko, není potřeba žádná úprava
2.	3-4	Malé riziko, mohou být nutné změny
3.	5-6	Střední riziko, je nutná další analýza a brzké změny
4.	7	Velmi vysoké riziko, nutné okamžité změny

Výhody metody:

- Jednoduchost
- Rychlost
- Nízké náklady na realizaci
- Dobrá metodika analýzy
- Dostatek použitelných pracovních listů s metodikou a vyhodnocením skóre

Rapid Upper Limb Assessment (RULA)

Date: _____ Task: _____
Company: _____ Supervisor: _____
Dept: _____ Evaluator: _____

Upper Arm Posture Scores

LEFT RIGHT

Lower Arm Posture Scores

LEFT RIGHT

Wrist Posture Scores

LEFT RIGHT

Wrist Twist Posture Scores

LEFT RIGHT

Neck Posture Scores

Trunk Posture Scores

Leg Posture Scores

1 Well-supported & evenly balanced
2 NOT well-supported & evenly balanced

MUSCLE USE SCORES TABLE

Score	Verbal Anchor / Description
0	• all muscle use not described below
1	• postures that are mainly static (held for longer than one minute) • repetitive use (action is repeated more than 4 times per minute)

FORCE SCORES TABLE

Score	Verbal Anchor / Description
0	• weights or forces ≤ 4.4 lbs (2 kg) and held intermittently
1	• weights or forces 4.4 to 22 lbs (2 to 10 kg) and held intermittently
2	• weights or forces 4.4 to 22 lbs (2 to 10 kg) and held statically • weights or forces 4.4 to 22 lbs (2 to 10 kg) and repetitive • weight or forces ≥ 22 lbs (10 kg) and held intermittently
3	• weights or forces ≥ 22 lbs (10 kg) and held statically • weights or forces ≥ 22 lbs (10 kg) and repetitive • shock or force with rapid build up

SCORE A + MUSCLE + FORCE = SCORE C

SCORE B + MUSCLE + FORCE = SCORE D

SCORE C + SCORE D = GRAND SCORE

NOTES

Grand Score

- Score = 1-2: Posture acceptable if not maintained or repeated for long periods
- Score = 3-4: Further investigation is needed, and changes may be required
- Score = 5-6: Investigation and changes are required soon
- Score = 7: Investigation and changes are required immediately

Reference: McAtamney, L., and Corlett, N. (1993). RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders. *Applied Ergonomics*, 24, (2), 91-99.
Question? The Ergonomics Center of North Carolina
3701 Neil Street, Raleigh, NC 27607 1-800-ON-4-ERGO
www.TheErgonomicsCenter.com

© 07/2007 The Ergonomics Center of North Carolina

4-9: Jiný pracovní list pro RULA analýzu [14]

Pracovní postup:

- Analýza pracovního cyklu a výběr rizikových pozic pracovníka
- Výběr částí těla pro hodnocení – levá ruka, pravá ruka, obě
- Bodové ohodnocení jednotlivých pohybů podle velikosti úhlu svíraného s neutrální pozicí
- Vyplnění do pracovního listu
- Výpočet celkového skóre
- Identifikace potřebných změn na pracovišti
- Změny na pracovišti
- Validace

Nevýhody:

- Nezohledňuje dolní končetiny
- Málo zohledňuje trup a krk

Implementace do Unity:

- Analýza pracovního postupu není nutná – výpočet probíhá kontinuálně, stačí zastavit průběh výpočtu
- Dle vypočítaných úhlů na softwarové kostře zjistit bodové ohodnocení
- Signalizovat vyhodnocení
- Hodnocení pro všechny části těla bude zároveň signalizováno barevným označením částí těla
- Metoda vhodná pro implementaci

4.4.2 NIOSH

National Occupation Safety and Health, což v překladu znamená Národní institut pracovní bezpečnosti a zdraví je metoda zaměřená na analýzu zvedání a přenosu břemen. Tato metoda je evropským standardem pro hodnocení ergonomie manipulace s břemeny nad 5 kilogramů hmotnosti s dobou manipulace maximálně 8 hodin.

Pro provedení analýzy je nutné splnit okrajové podmínky:

- Plynulé zvedání, nikoli zvedání trhem
- Břemeno je zvedáno souměrně oběma končetinami
- Není omezen postoj – je volnost pohybu
- Jsou dobré podmínky pro přenos síly – madla/držadla, pevná podlaha
- Příznivé okolní podmínky

Metodu nelze použít v následujících případech:

- Zvedání / pokládání vsedě nebo v kleku
- Zvedání / pokládání nestabilních objektů
- Zvedání / pokládání za současného přenášení, tlačení nebo tažení
- Zvedání / pokládání pomocí pomůcek (lopata)
- Zvedání / pokládání s rychlostí větší než 75cm / sec
- Zvedání / pokládání v nepříznivém prostředí (teplota mimo 19-26°C, relativní vlhkost mimo 35-50%)

Implementace do Unity:

- Limity software na výpočet fyzikálních vlastností, tedy i hmotnosti.
- Nutnost simulovat chování různě hmotných objektů.
- Metoda používá řadu parametrů nezjistitelných výpočtem
- Metoda nevhodná pro implementaci do Unity

4.4.3 OCRA

OCRA neboli Occupational Repetitive Actions je definována v ČSN EN 1005-5. Jedná se o metodu pro analýzu vlivu opakovaných činností na zdravotní stav jedince. Jejím cílem je určení indexu času, po který může pracovník v dané poloze pracovat bez rizika zdravotního onemocnění horních končetin. Je tedy zřejmé, že metoda se aplikuje na pracovníky, kteří při práci opakovaně používají své horní končetiny [15].

I při této metodě se používají pracovní listy – checklisty. OCRA index se určuje jako poměr celkového počtu činností vykonávaných za směnu k počtu činností uvedených v normě. Hodnota toho indexu pak vyjadřuje úroveň rizika zdravotního poškození.

OCRA checklist analyzuje rizikové faktory ovlivňující výkon pracovní činnosti. V checklistu je každý faktor popsán a dle skutečnosti popsán zvlášť pro každou horní končetinu.

Rizikové faktory jsou tyto [15]:

- Frekvence
- Síla
- Nepřirozená poloha
- Nedostatek času pro rekonvalescenci
- Dodatečné faktory:
 - o Neadekvátní rukavice pro práci
 - o Práce vyvolávající zpětný otřes
 - o Chlad a mráz
 - o Úkoly vyžadující velkou přesnost

4.4.4 Analýza dle ČSN

Ergonomická analýza se dle české legislativy (ČSN EN 1005-4:2005, ČSN EN 1005-5:2007 a nařízení vlády č. 68/2010 Sb.) je zpracovaná na začátku této kapitoly. Pracovní polohy se zde dělí na [9]:

- Přijatelné
- Podmíněně přijatelné
- Nepřijatelné

V této analýze je důležitým faktorem čas, po který pracovník zaujímá pozici ve vyhodnocené kategorii. Tyto časy se v jednotlivých kategoriích sčítají a následně je proveden výpočet, který ověří, zda součet časů v dané kategorii nepřekračuje normou udanou hodnotu. Toto bývá realizováno prostřednictvím videozáznamu jednoho pracovního, který je postupně analyzován po jednotlivých časových úsecích. Je hodnoceno, která část těla pracovníka je v jaké kategorii hodnocení ve kterém časovém okamžiku. Toto je zaznamenáno a následně je z délky pracovníku cyklu a celkové délky času v dané kategorii vypočítán poměrný čas, jaký by daná kategorie zabírala, pokud by stejný pracovní cyklus byl opakován po celý čas směny.

Při stávajícím způsobu zpracování této analýzy je hlavní nevýhodou značná pracnost a časová náročnost analýzy. Je nutné pořídit videozáznam pracovního cyklu a ten následně snímek po snímku analyzovat a následně přepočítat hodnocený čas do času směny.

Implementace do Unity:

- Analýza pracovního postupu není nutná – výpočet probíhá kontinuálně, stačí zastavit průběh výpočtu
- Dle vypočítaných úhlů na softwarové kostře spouštět měření času pro příslušnou kategorii přijatelnosti
- Zobrazovat stav měření času – součet času a poměrový přepočítání na délku směny
- Hodnocení pro všechny části těla bude zároveň signalizováno barevným označením částí těla
- Metoda vhodná pro implementaci

4.5 Výběr ergonomické metody

	Oblast analýzy	Vhodnost pro programové řešení
RULA	Horní část trupu, horní končetiny, hlava	Velmi vhodná metoda
ČSN	Horní část trupu, horní končetiny, hlava	Velmi vhodná metoda
NIOSHI	Celé tělo, včetně psychologických aspektů	Nevhodné body: obtíže s implementací fyzikálních působení sil od břemene, obtížná realizace psychologických aspektů
OCRA	Horní končetiny, opakovaná činnost	Vhodná metoda, programová řešení by mohla vycházet z analýzy RULA, potíže s dodatečnými faktory

Pro implementaci do softwarového prostředí Unity byla zvolena analýza RULA a metoda dle ČSN. Z programátorského hlediska jsou výpočtové modely použité pro výpočet u obou analýz podobné. Z porovnání požadavků na naprogramování ergonomických metod měly analýzy RULA i ČSN zejména tyto přednosti:

- Jednoduchost
- Jasná metodika
- Neopakovaná činnost
- Není nutnost implementace fyzikálních vlastností dalších prvků (břemene)
- Potenciál řešení být základem pro programování dalších analýz

5 Analýza programového řešení

Programové řešení je realizováno v programovacím jazyce C#. Struktura programu a použité programovací postupy byly zvoleny s důrazem na přehlednost programu. Nebyly použity žádné speciální metody pro optimalizaci rychlosti. Aplikace je dostatečně rychlá i na méně výkonných strojích.

Ergonomická analýza je prováděna podle dvou metod. První metoda je RULA, která, na základě změřených úhlů horních končetin, umožňuje, porovnáním s tabulkami, spočítat výslednou hodnotu – tzv. RULA skóre. To vyjadřuje ergonomickou vhodnost měřené pozice.

Druhá metoda výpočtu vychází z české legislativy a opět vychází z naměřených úhlů jednotlivých částí lidského těla. Jednotlivé části pak klasifikuje podle stupně ergonomické vhodnosti na polohy přijatelné, podmíněně přijatelné a nepřijatelné. Tato metoda je v tomto projektu je zkráceně označována jako metoda ČSN.

Podrobný popis obou metod je v kapitolách 6 a 7. Tyto kapitoly se zabývají implementací obou metod do prostředí Unity 3D. Výpis programu je přiložen jako Příloha B.

5.1 Plán pracovního postupu

Nejprve byla navržena hrubá struktura aplikace, návrh grafické uživatelského rozhraní a způsoby výpočtu jednotlivých analýz.

Současně byl vytvořen časový harmonogram činností. Tento harmonogram pomohl udržet sled prací na projektu a dodržet časové termíny.

Postup prací byl určen takto:

1. Zpracovat návrh uživatelského rozhraní (GUI) bez modelu pracovníka.
2. Naprogramovat funkčnost GUI.
3. Naprogramovat metodu RULA.
4. Naprogramovat metodu ČSN.
5. Vytvořit návrh GUI s pracovníkem.
6. Propojit výpočtovou část se vstupem ze zařízení MS Kinect.

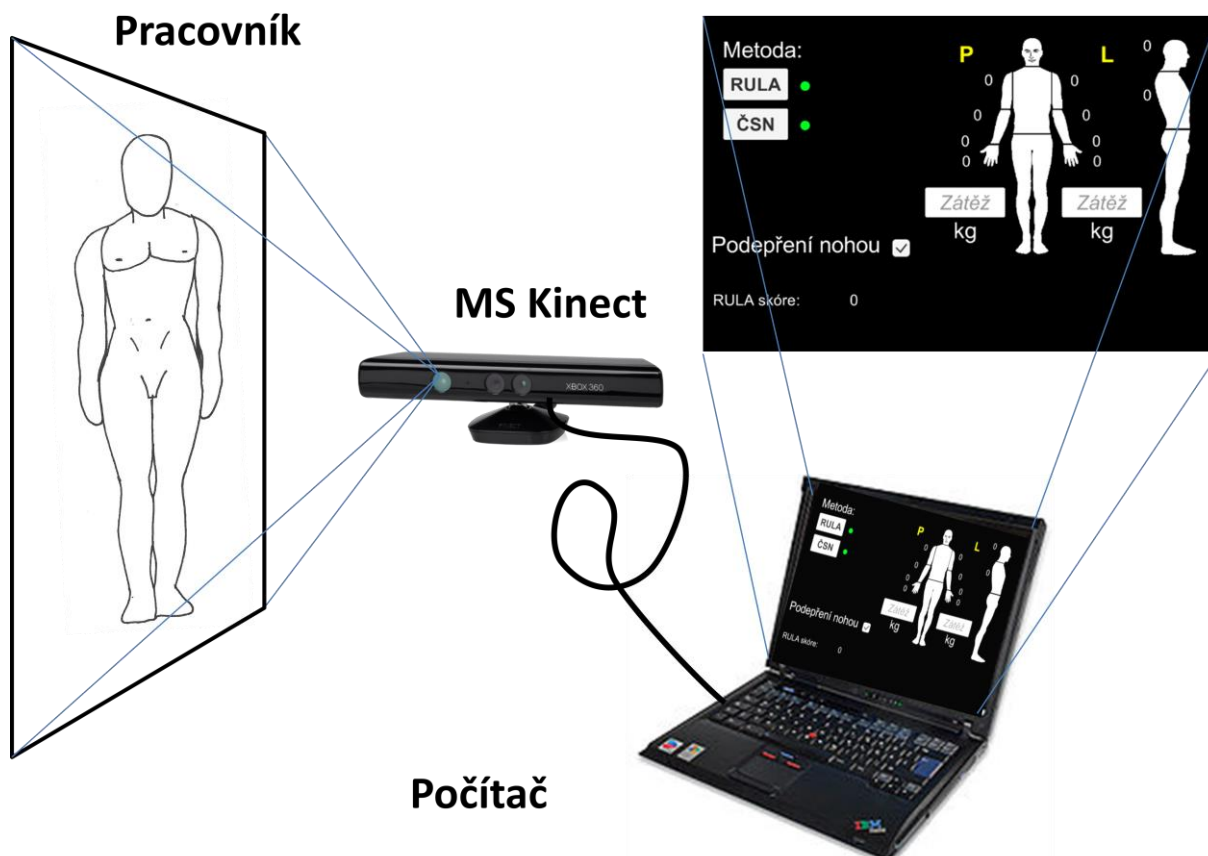
5.2 Návrh struktury programu

Program se skládá z několika částí. Z hlediska Unity 3D se jedná jen o jednu scénu, na které je zobrazen model pracovníka, ovládací prvky, vstupní formuláře a zobrazení výsledků analýzy. V rámci postupu prací na projektu vzniklo několik pracovních verzí aplikace, ve kterých byl kladen důraz na vytvoření funkčního bloku. Ostatní funkční části v těchto pracovních verzích byly potlačeny.

V první verzi aplikace nezobrazovala pohyblivý model pracovníka, zobrazen byl pouze náhled pozice. Model pracovníka je v první fázi v samostatné scéně a propojení je realizováno až v pozdější fázi po odladění funkčnosti jednotlivých částí programu.

Nejnáročnější fáze projektu – propojení se vstupním zařízením MS Kinect bylo provedeno v závěru projektu. Poslední fází projektu je odladění uživatelského rozhraní dle požadavků zadavatele.

Návrh aplikace byl rozdělen do několika bloků, které tvořily pracovní verze aplikace. Postupně byly tyto části spojovány, revidovány a vylepšovány na základě získaných zkušeností.



5-1: Schéma funkce aplikace

5.3 Uživatelské vstupy

Program od uživatele vyžaduje zadání několika údajů, které není program sám schopen zjistit.

- Volba metody analýzy – RULA nebo ČSN.
- Zatížení levé a pravé ruky břemenem.
- Informace, zda jsou nohy pevně podepřené.
- U analýzy dle ČSN je nutné ještě ovládat časové stopky – START, STOP, RESET.
- Snímaná pozice člověka pomocí zařízení MS Kinect.

V další verzi aplikace může být přidán hlasový vstup pro ovládání měření času ve variantě analýzy dle české legislativy a pro zastavení v konkrétní pozici ve variantě analýzy dle české legislativy.

5.4 Výstupy programu

Výsledkem RULA analýzy je jedno číslo definující ergonomické hodnocení pracovní polohy. U analýzy dle české legislativy je výsledkem jeden ze stavů – přijatelná poloha, podmíněně přijatelná poloha a nepřijatelná poloha – a délka časového úseku, po kterou byl daný stav dosažen. Tento čas je následně zobrazen.

Zároveň je spočítán čas, po jak dlouhou by trval daný časový úsek, pokud by měřená činnost probíhala po celou pracovní směnu. Například pokud v úseku o délce 1 minuta bude 45 sekund stav přijatelný a 15 sekund stav podmíněně přijatelný, znamená to, že při délce směny 8 hodin by stav přijatelný trval 6 hodin a stav podmíněně přijatelný 2 hodiny.

Tyto údaje jsou však pro uživatele příliš stručné a zobrazením jen těchto dat by příliš nepomáhalo podrobnější analýze pracovních poloh. Proto je na výstupu programu více údajů.

- Zobrazení voleb uživatele.
- Zobrazení výsledku analýzy.
- Zobrazení figury s rozdělením na segmenty a barevným odlišením stavu.
 - o Paže
 - o Předloktí
 - o Zápěstí
 - o Hlava
 - o Trup
- U varianty RULA
 - o Zobrazení výsledku analýzy pro jednotlivé části.
- U varianty ČSN zobrazení času:
 - o Celkový čas.
 - o Čas setrvání v přijatelné poloze.
 - o Čas setrvání v podmíněně přijatelné poloze.
 - o Čas setrvání v nepřijatelné poloze
- U všech časů je navíc poměrný přepočítaný čas na předpokládaný čas za celou směnu.

5.5 Programové bloky aplikace

Struktura programu je rozdělena na hlavní blok, který podle uživatelských vstupů volá další podprogramy. Výpis programu je v příloze.

Unity 3D používá, mimo jiné, dvě vyhrazené metody: Start () a Update (). Příkazy uvedené v metodě Start () proběhnou jedenkrát při spuštění aplikace. V této aplikaci se při spuštění provede inicializace zařízení MS Kinect a proběhne deklarace proměnných.

Metoda Update () je volána stále dokola, dokud není aplikace ukončena. V této aplikaci je v této části volána většina výpočtových podprogramů. V této části jsou volány výpočtové a zobrazovací části programu. Na začátku každého cyklu je také načtena pozice pracovníka ze zařízení MS Kinect.

Metoda Update ()

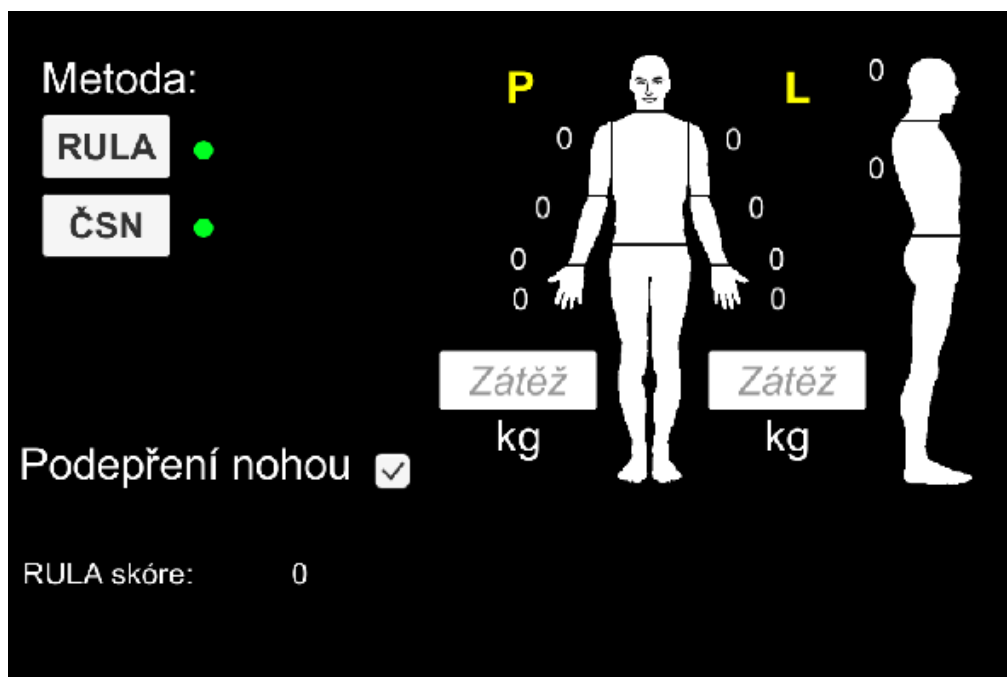
```
void Update () {
    // získání aktuálních úhlů z Kinectu
    getJointOrientations ();
    // vykreslení GUI
    DrawGUI ();

    // podle zvolené metody
    if (usedMethod == "RULA") {
        if (!isRULAFreezed) {
            JointAnglesRULA ();
            CountrULA ();
        }
        DrawScoreRULA ();
    }
    if (usedMethod == "CSN") {
        JointAnglesCSN ();
        CountCSN ();
        DrawScoreCSN ();
    }
}
```

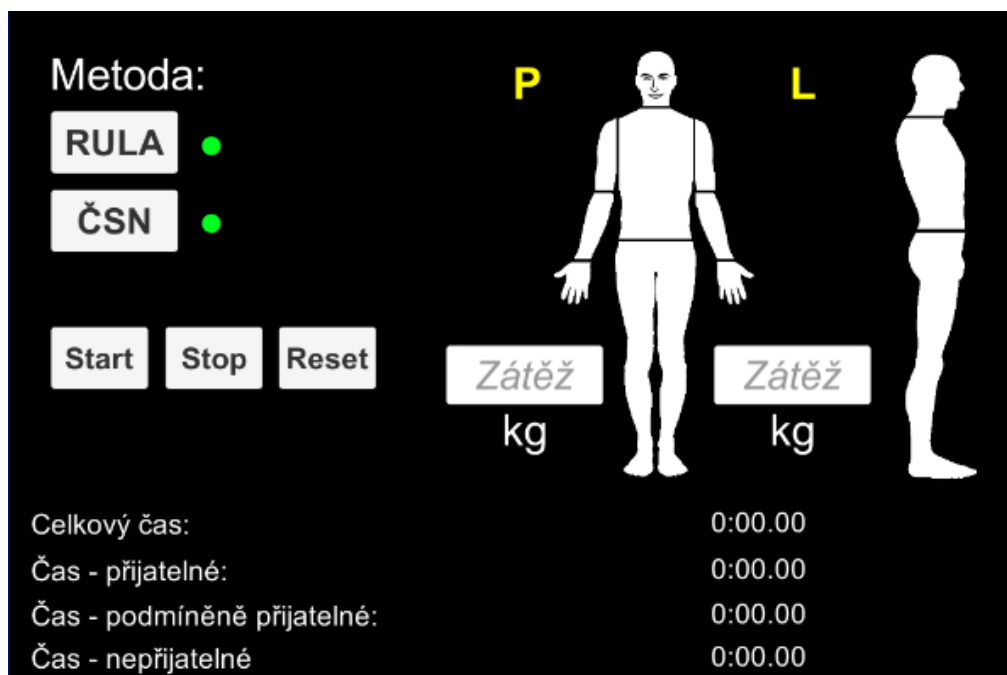
Ostatní části programu jsou také metody složené do funkčních celků.

6 Uživatelské prostředí

Uživatelské prostředí zajišťuje interakci s uživatelem. První návrh grafického rozhraní (GUI) obsahoval postavu člověka zepředu a z boku, ovládací prvky a zobrazení výsledků analýzy. Tato verze neobsahovala pohyblivý model pracovníka. Rozhraní bylo určeno pro otestování funkčnosti výpočetní části programu v bloku výpočtů ergonomických hodnocení.



6-1: Grafické rozhraní - Metoda RULA – pracovní verze



6-2: Grafické rozhraní - Metoda ČSN – pracovní verze

Návrh obsahuje všechny grafické prvky, pro které byly naprogramovány příslušné obslužné programové bloky, a byla ověřena jejich funkčnost.

V této části projektu byly navrženy a otestovány způsoby zobrazení hodnot, obarvení segmentů zobrazené postavy a způsoby zadání vstupních dat. Také bylo provedeno otestování zařízení MS Kinect a přenos nasnímaných dat do prostředí Unity 3D a jejich propojení s modelem pracovníka.

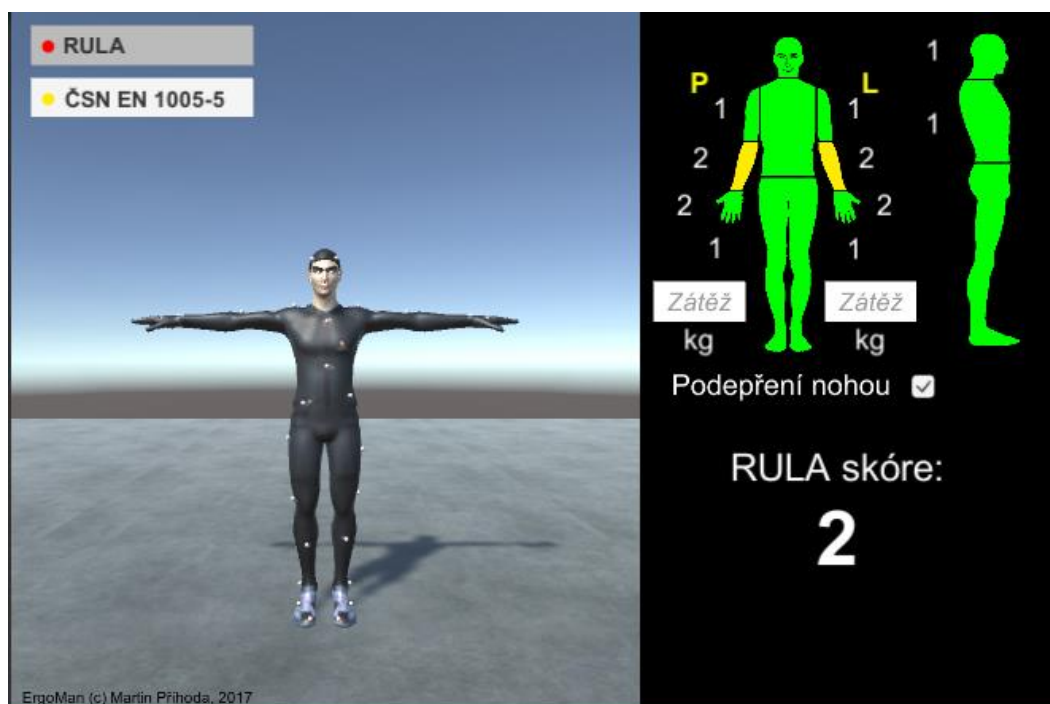
Po odladění funkčnosti výpočtové části programu a ověření funkcí pro zobrazení výsledků proběhl návrh nového vzhledu uživatelského prostředí. V tomto novém návrhu jsou přeuspořádány ovládací a zobrazovací prvky tak, aby byl prostor pro zobrazení 3D modelu pracovníka. Model je v reálném čase ovládán pomocí zařízení MS Kinect.

Výchozí obrazovka je rozdělena na dvě části. Větší část vlevo zabírá 3D model pracovníka ovládaného pomocí vstupního zařízení. Vpravo se nachází obrys lidské postavy v pozici zepředu a z boku. Postavy jsou rozděleny na segmenty. Tyto segmenty jsou vybarvovány na základě výsledku analýzy.

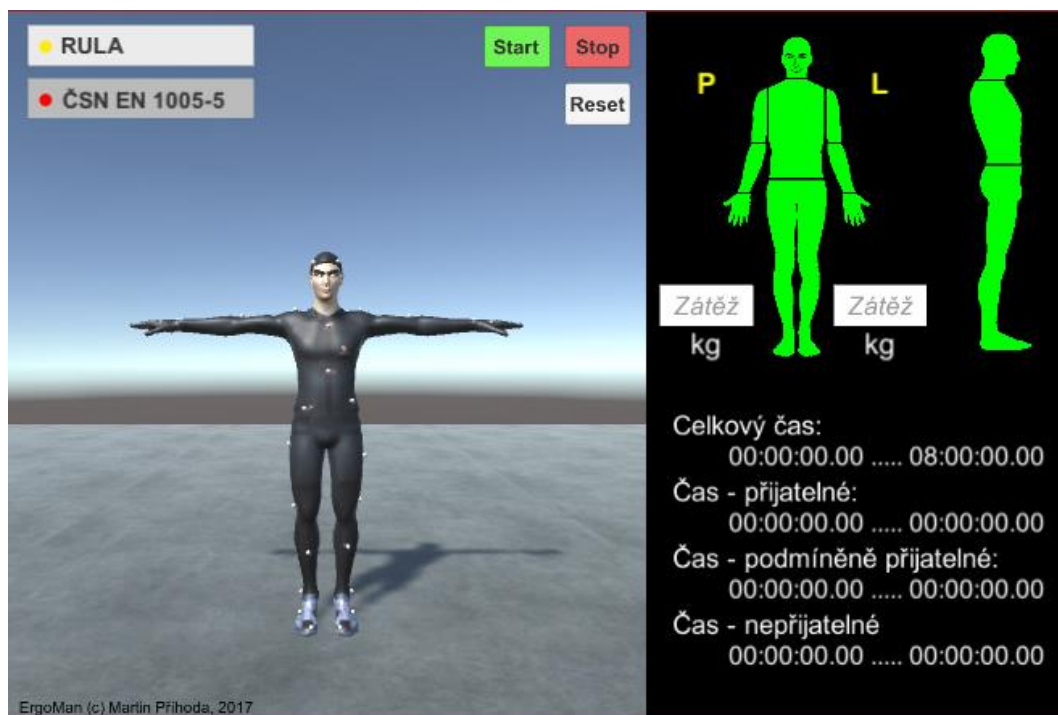
Barevné rozdělení vychází z barevného schématu hodnocení RULA:

Barva	RULA skóre	ČSN EN 1005-5
Zelená	1-2	Přijatelná poloha
Žlutá	3-4	---
Oranžová	5-6	Podmíněně přijatelná poloha
Červená	7	Nepřijatelná poloha

Vzhled uživatelského rozhraní se mírně liší podle zvolené metody. Přepínač aktuálně zvolené metody je vlevo nahoře. Na výběr je „RULA“ a „ČSN EN 1005-5“.



6-3: Grafické rozhraní - Metoda RULA



6-4: Grafické rozhraní - Metoda ČSN

7 Implementace RULA analýzy

Metoda RULA není ukotvena v právním rámci harmonizovaných norem a byla tedy implementována tak, že výpočet probíhá stejně, jako na RULA scorecard. Jednotlivé kroky analýzy jsou řešeny jako samostatné programové bloky, které ukládají výsledek analýzy pro jednotlivé části těla do pole scoreRULA_Left[] a scoreRULA_right[]. Index pole je shodný jako krok doporučeného postupu – scoreRULA_Left[2] odpovídá výsledku analýzy v kroku 2 pro levou ruku.

ERGONOMICS PLUS **RULA Employee Assessment Worksheet** Task Name: _____ Date: _____

A. Arm and Wrist Analysis

Step 1: Locate Upper Arm Position:

Step 1a: Adjust...
If shoulder is raised: +1
If upper arm is abducted: +1
If arm is supported or person is leaning: -1

Step 2: Locate Lower Arm Position:

Step 2a: Adjust...
If either arm is working across midline or out to side of body: Add +1

Step 3: Locate Wrist Position:

Step 3a: Adjust...
If wrist is bent from midline: Add +1

Step 4: Wrist Twist:

If wrist is twisted in mid-range: +1
If wrist is at or near end of range: +2

Step 5: Look-up Posture Score in Table A:
Using values from steps 1-4 above, locate score in Table A

Step 6: Add Muscle Use Score
If posture mainly static (i.e. held >10 minutes),
Or if action repeated occurs 4X per minute: +1

Step 7: Add Force/Load Score
If load < .44 lbs. (intermittent): +0
If load 4.4 to 22 lbs. (intermittent): +1
If load 4.4 to 22 lbs. (static or repeated): +2
If more than 22 lbs. or repeated or shocks: +3

Step 8: Find Row in Table C
Add values from steps 5-7 to obtain Wrist and Arm Score. Find row in Table C.

Table A

Upper Arm	Lower Arm	Wrist Score					
		1	2	3	4		
1	1	1	2	1	2	1	2
	2	2	2	2	2	3	3
	3	2	3	3	3	3	4
2	1	2	3	3	3	4	4
	2	3	3	3	3	4	4
	3	3	4	4	4	4	5
3	1	3	3	4	4	4	5
	2	3	4	4	4	4	5
	3	4	4	4	4	4	5
4	1	4	4	4	4	5	5
	2	4	4	4	4	5	5
	3	4	4	4	5	5	6
5	1	5	5	5	5	6	6
	2	5	6	6	6	6	7
	3	6	6	6	7	7	7
6	1	7	7	7	7	8	8
	2	8	8	8	8	9	9
	3	9	9	9	9	9	9

Table C

Wrist / Arm Score	Neck, Trunk, Leg Score						
	1	2	3	4	5	6	7+
1	1	2	3	3	4	5	5
2	2	2	3	4	4	5	5
3	3	3	3	4	4	5	6
4	4	3	3	4	5	6	6
5	4	4	4	5	6	7	7
6	4	4	5	6	6	7	7
7	5	5	6	6	7	7	7
8+	5	5	6	7	7	7	7

Scoring: (final score from Table C)
1-2 = acceptable posture
3-4 = further investigation, change may be needed
5-6 = further investigation, change soon
7 = investigate and implement change

B. Neck, Trunk and Leg Analysis

Step 9: Locate Neck Position:

Step 9a: Adjust...
If neck is twisted: +1
If neck is side bending: +1

Step 10: Locate Trunk Position:

Step 10a: Adjust...
If trunk is twisted: +1
If trunk is side bending: +1

Step 11: Legs:
If legs and feet are supported: +1
If not: +2

Table B: Trunk Posture Score

Neck Posture Score	Table B: Trunk Posture Score					
	1	2	3	4	5	6
1	1	2	2	3	4	5
2	2	2	3	4	5	5
3	3	3	3	4	5	6
4	5	5	5	6	6	7
5	7	7	7	8	8	8
6	8	8	8	8	8	9

Step 12: Look-up Posture Score in Table B:
Using values from steps 9-11 above, locate score in Table B

Step 13: Add Muscle Use Score
If posture mainly static (i.e. held >10 minutes),
Or if action repeated occurs 4X per minute: +1

Step 14: Add Force/Load Score
If load < .44 lbs. (intermittent): +0
If load 4.4 to 22 lbs. (intermittent): +1
If load 4.4 to 22 lbs. (static or repeated): +2
If more than 22 lbs. or repeated or shocks: +3

Step 15: Find Column in Table C
Add values from steps 12-14 to obtain Neck, Trunk and Leg Score. Find Column in Table C.

7-1: Pracovní list pro analýzu RULA [12]

Program při výpočtu následuje doporučený postup a v reálném čase hodnotí ergonomickou vhodnost pozice pro jednotlivé části těla pracovníka. Zároveň počítá a zobrazuje i celkové skóre aktuální polohy.

Analýza RULA je určena na hodnocení konkrétní polohy, nikoliv pro hodnocení sledu pohybů. Aplikace však provádí neustálé měření a analýzu. Proto je v aplikaci tlačítko STOP, které zastaví aktuální polohu a analýza zůstává zastavena až do stlačení tlačítka START. Při zastavení je proměnná s výsledky analýzy zkopírována do záložní proměnné a ta je zobrazována do doby, než je opět spuštěno kontinuální měření. Během zastavení je v rohu rozsvícen červený nápis „STOP“.

Pro hodnocení RULA je určena tabulka skóre a doporučení [13]:

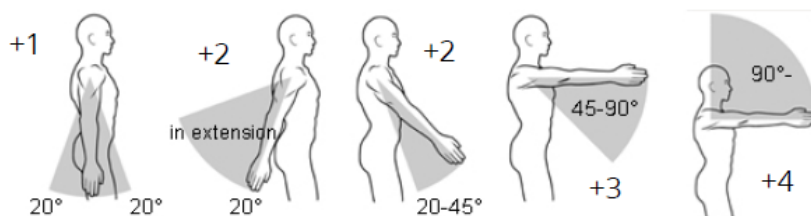
Kategorie	RULA skóre	Vyhodnocení
1.	1-2	Žádné riziko, není potřeba žádná úprava
2.	3-4	Malé riziko, mohou být nutné změny
3.	5-6	Střední riziko, je nutná další analýza a brzké změny
4.	7	Velmi vysoké riziko, nutné okamžité změny

Ukázka kódu pro výpočet – 1. krok, levá končetina, horní část:

```
void Step1L () {
    scoreRULA_Left[1] = 0;
    if (upperArmAngle_Left >= -20f && upperArmAngle_Left <= 20f) {
        scoreRULA_Left[1] = 1;
    }
    if (upperArmAngle_Left < -20f) {
        scoreRULA_Left[1] = 2;
    }
    if (upperArmAngle_Left > 20f && upperArmAngle_Left <= 45f) {
        scoreRULA_Left[1] = 2;
    }
    if (upperArmAngle_Left > 45f && upperArmAngle_Left <= 90f) {
        scoreRULA_Left[1] = 3;
    }
    if (upperArmAngle_Left > 90f) {
        scoreRULA_Left[1] = 4;
    }
    if (shoulderRaised_Left > 0) {
        scoreRULA_Left[1]++;
    }
    if (upperArmAbduction_Left > 0) {
        scoreRULA_Left[1]++;
    }
}
```

A. Arm and Wrist Analysis

Step 1: Locate Upper Arm Position:



Step 1a: Adjust...

If shoulder is raised: +1

If upper arm is abducted: +1

If arm is supported or person is leaning: -1

Upper Arm Score

7-2: Výpočet 1. kroku RULA analýzy

Další kroky jsou řešeny analogicky. Odlišné jsou kroky 5, 12 a 15, které využívají tabulku hodnot. Tabulky jsou uloženy jako pole a je v nich vyhledáváno pomocí indexů. Tyto indexy jsou získány v předchozích krocích.

```
void Step5L () {
    tableAScoreLeft = tableA_RULA [(scoreRULA_Left[3] - 1) * 2 +
    scoreRULA_Left[4] - 1, (scoreRULA_Left[1] - 1) * 3
    + scoreRULA_Left[2] - 1 ];
    scoreRULA_Left[5] = tableAScoreLeft;
}
```

Scores

Table A		Wrist Score							
		1		2		3		4	
Upper Arm	Lower Arm	Wrist		Wrist		Wrist		Wrist	
		Twist		Twist		Twist		Twist	
		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	7	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

7-3: Tabulka A - 5. krok RULA analýzy

8 Implementace analýzy dle české legislativy

Analýza vycházející z následujících norem.

- ČSN EN 1005-4:2005 - Bezpečnost strojních zařízení - Fyzická výkonnost člověka - Část 4: Hodnocení pracovních poloh a pohybů
- ČSN EN 1005-5:2007 - Bezpečnost strojních zařízení - Fyzická výkonnost člověka - Část 5: Posuzování rizika velmi často opakované ruční manipulace
- Nařízení vlády č. 68/2010 Sb.

Tři možné stupně hodnocení pracovní polohy a pohybů [16], [10]:

- **příjatelné** – Zdravotní riziko je považované za nízké nebo zanedbatelné pro téměř všechny zdravé dospělé osoby. Není potřeba žádná úprava.
- **podmíněně přijatelné** – Existuje zvýšené zdravotní riziko pro celou skupinu pracovníků nebo její část. Riziko, spolu se souvisejícími rizikovými faktory, se musí analyzovat a co nejdříve snížit, nebo není-li to možné, musí se přijmout jiná vhodná opatření, například zajistit přijatelnost použití strojního zařízení odpovídajícími provozními pokyny.
- **nepříjatelné** – Zdravotní riziko je nepříjatelné pro jakoukoliv skupinu pracovníků. Je nutná rekonstrukce návrhu vedoucí ke zlepšení pracovního prostoru.

Hygienické limity pro podmíněně přijatelné a nepříjatelné polohy jsou:

- Poloha v **nepříjatelné pracovní poloze - 30 minut** v osmihodinové průměrné směně.
- Doba trvání jednotlivých nepříjatelných pracovních poloh nesmí být delší než 1 až 8 minut v závislosti na typu pracovní polohy.
- Poloha v **podmíněně přijatelné pracovní poloze - 160 minut** v osmihodinové průměrné směně.

Doba trvání jednotlivých podmíněně přijatelných pracovních poloh pak nesmí být delší než 1 až 8 minut v závislosti na typu pracovní polohy.

Programové řešení této metody bylo podobné implantaci metody RULA. Opět je nutné porovnávat úhly ohnutí horních končetin s limitními hodnotami. Navíc bylo nutné doplnit aplikaci o měření času, včetně ovládacích prvků a grafického výstupu.

8.1 Měření času

Na rozdíl od metody RULA zde však záleží na době, po kterou je pracovník v nevyhovující pozici. Proto jsou v metodě zavedené čtyři měřiče času – celkový čas, čas v přijatelné poloze, čas v podmíněně přijatelné poloze a v nepříjatelné poloze.

Celkový čas určuje dobu jednoho pracovního cyklu. Pracovník se připraví do počáteční pozice a obsluha aplikace spustí kliknutím měření času. Po ukončení pracovního cyklu obsluha měření času zastaví. Program analyzuje polohy pracovníka a počítá ergonomické hodnocení. Pokud se nějaká část těla pracovníka dostane do podmíněně přijatelné nebo nepříjatelné pozice, automaticky probíhá spouštění odpovídajících měřičů času. Po opuštění ergonomicky nevyhovující pozice je měření dané kategorie přerušeno.

Naměřené časy jsou zároveň přepočítávány na časy poměrné. Ty reprezentují čas, jak dlouho by daný stav trval, pokud by stejná činnost probíhala celou osmihodinovou pracovní dobu.

Z celkového času měření je počítán poměr celkového času měření k času směny. Tímto poměrem jsou pak jednotlivé časy násobeny.

Matematicky vyjádřen má výpočet tvar:

$$\text{čas}_{\text{poměrný}} = \text{čas}_{\text{naměřený}} * \frac{\text{čas}_{\text{směna}}}{\text{čas}_{\text{cyklu}}}$$

Kód v C# vypadá takto:

```
scale = workshift / (totalTime + 1); // +1 proti dělení nulou v prvním cyklu
acceptableTimeScaled = acceptableTime * scale;
conditionallyTimeScaled = conditionallyTime * scale;
notAcceptableTimeScaled = notAcceptableTime * scale;
```

8.2 Opakované překročení limitu

Další důležitou částí tohoto programového bloku je výpočet opakovaného překročení limitních úhlů. V normě je uvedena podmínka, že polohy mohou být hodnoceny jako podmíněně přijatelné pouze tehdy, pokud četnost jejich opakování je menší nebo rovna než 2/min.

To je programově vyřešeno následujícím způsobem:

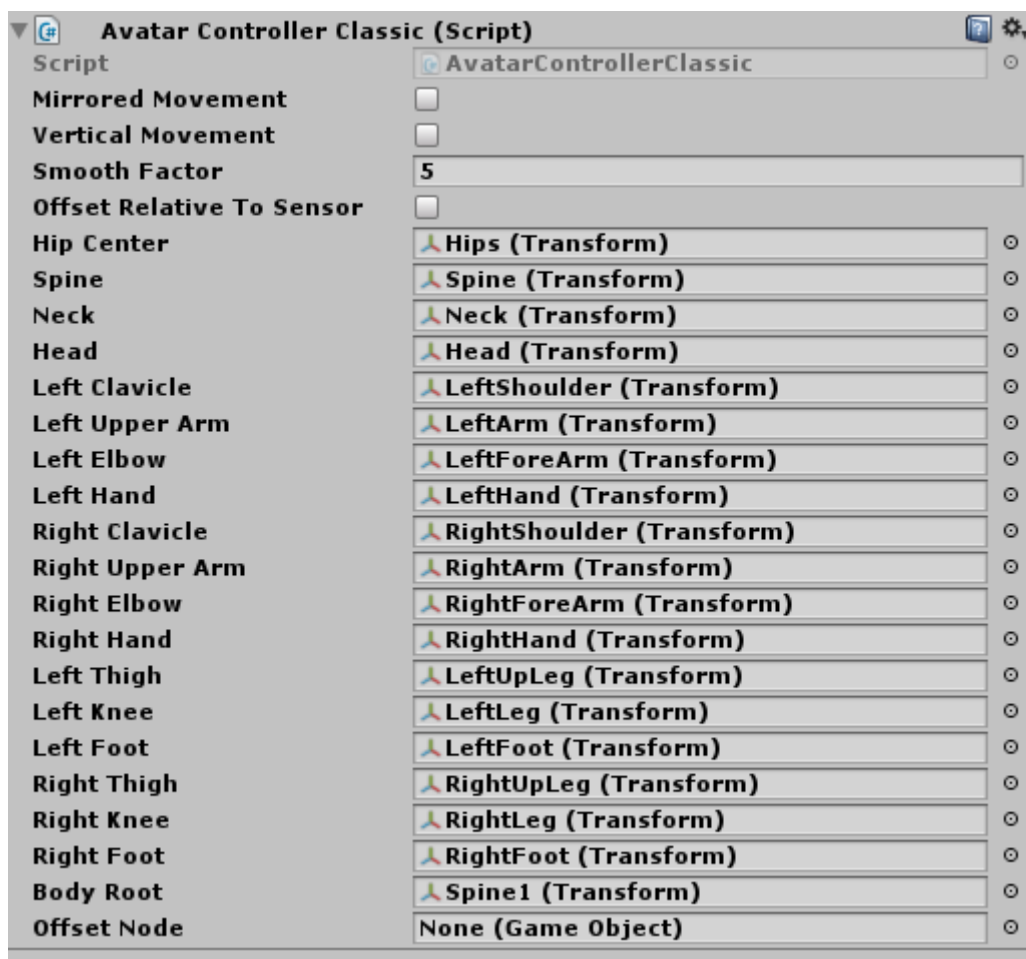
```
if (Mathf.Abs (neck) <= 10f) {
    acceptability_Left[5] = "Acc";
    NeckLeave = true;
}
else {
    neckTimer = Time.time;
}
if (Mathf.Abs(neck) > 10f && NeckFirst) {
    if (Time.time - neckTimer < timeLimit && NeckLeave) {
        acceptability_Left[5] = "NotAcc";
    }
    else {
        acceptability_Left[5] = "Cond";
    }
    resetNeckLimit = true;
}
if (Mathf.Abs (neck) > 10f && !NeckFirst) {
    neckTimer = Time.time;
    acceptability_Left[5] = "Cond";
    NeckFirst = true;
    NeckLeave = false;
}
if (resetNeckLimit && (Time.time - neckTimer > 10)) {
    NeckFirst = false;
    resetNeckLimit = false;
}
acceptability_Right[5] = acceptability_Left[5];
```

9 Propojení se snímacím zařízením MS Kinect

Meritem této práce je spojení ergonomických analýz se vstupním zařízením MS Kinect. Pro použití zařízení MS Kinect je nutné nainstalovat ovladače zařízení. V tomto projektu byly použity ovladače SDK od firmy Microsoft a asset pro Unity 3D od firmy RF Solutions – Kinect with MS SDK. V tomto assetu jsou scripty pro ovládání funkcí Kinectu a pro propojení ovladače s modelem.

9.1 Instalace ovladače MS Kinect

Pro použití tohoto assetu je nutné nejprve nainstalovat ovladače MS Kinect SDK. Jejich poslední verze je k dispozici na webových stránkách firmy Microsoft. Z assetu stačí pro funkci jen složka se skripty. Script KinectManage.cs musí být navázán na hlavní kameru scény a script AvatarControllerClassic.cs nebo AvatarController.cs musí být přiřazen ovládanému modelu. Rozdíl je v tom, že AvatarController.cz se pokusí sám rozeznat jednotlivé klouby modelu, zatímco u scriptu AvatarControllerClassic.cs musí jednotlivé ovládané klouby přiřadit programátor.



9-1: Přiřazení kloubů pro script

9.2 Zjištění úhlů jednotlivých kloubů.

Po přiřazení kloubů je možné pomocí metod zjistit pozici jednotlivých kloubů a jejich lokální i globální úhly. Úhly jsou uloženy proměnné typu Quaternion, ze kterého je možné metodou eulerAngles získat vektor se třemi hodnotami úhlů v jednotlivých osách x, y, z. Tyto úhly však není možné jednoduše použít, neboť úhel v hodnotách eulerAxis je prostorově neurčitý a v některých případech může docházet k problémům.

Pro zjištění úhlu horní části horní končetiny byl použit blok programu vytvořený ing. Jiřím Polcarem PhDr. Pro výpočet předpažení a abdukce paže používá pomocné roviny.

Další úhly jsou řešeny pomocí vektorů dvou sousedních kloubů. Úhly vektorů jsou načítány z postavy. Úhly zápěstí jsou v této verzi zanedbány, snímání pozice není dostatečně přesné pro vyhovující výpočty. Zřejmě bude vhodné použít přesnější senzor, případně optimalizovat světelné podmínky, pro přesnější snímání.

Kód pro načtení orientací kloubů z Kinectu

```
void getJointOrientations() {
    // get the joints orientations
    KinectManager manager = KinectManager.Instance;
    if (manager && manager.IsInitialized()) {
        if (manager.IsUserDetected()) {
            uint userId = manager.GetPlayer1ID();

            // orientace
            if (manager.IsJointTracked(userId, (int)head)) {
                headOrientation = manager.GetJointLocalOrientation(userId,
(int)head, flip).eulerAngles;
            }
            if (manager.IsJointTracked(userId, (int)spine)) {
                spineOrientationUp = manager.GetJointLocalOrientation(userId,
(int)spine, flip).eulerAngles;
            }
            if (manager.IsJointTracked(userId, (int)shoulderLeft)) {
                shoulderLeftOrientation = manager.GetJointLocalOrientation(userId,
(int)shoulderLeft, flip).eulerAngles;
                shoulderLeftPosition = manager.GetJointPosition(userId,
(int)shoulderLeft);
            }
            if (manager.IsJointTracked(userId, (int)shoulderRight)) {
                shoulderRightOrientation =
manager.GetJointLocalOrientation(userId, (int)shoulderRight, flip).eulerAngles;
                shoulderRightPosition = manager.GetJointPosition(userId,
(int)shoulderRight);
            }
            if (manager.IsJointTracked(userId, (int)elbowLeft)) {
                elbowLeftOrientation = manager.GetJointLocalOrientation(userId,
(int)elbowLeft, flip).eulerAngles;
            }
            if (manager.IsJointTracked(userId, (int)shoulderRight)) {
                elbowRightOrientation = manager.GetJointLocalOrientation(userId,
(int)elbowRight, flip).eulerAngles;
            }
            if (manager.IsJointTracked(userId, (int)wristLeft)) {
                wristLeftOrientation = manager.GetJointLocalOrientation(userId,
(int)wristLeft, flip).eulerAngles;
            }
        }
    }
}
```

```
        }
        if (manager.IsJointTracked(userId, (int)wristRight)) {
            wristRightOrientation = manager.GetJointLocalOrientation(userId,
(int)wristRight, flip).eulerAngles;
        }
        if (manager.IsJointTracked(userId, (int)handLeft)) {
            handLeftOrientation = manager.GetJointLocalOrientation(userId,
(int)handLeft, flip).eulerAngles;
        }
        if (manager.IsJointTracked(userId, (int)handRight)) {
            handRightOrientation = manager.GetJointLocalOrientation(userId,
(int)handRight, flip).eulerAngles;
        }
    }
}
}
```

10 Závěr

Podařilo se splnit cíle práce, tedy vytvořit funkční aplikaci, která na základě snímání pracovníka pomocí zařízení MS Kinect hodnotí jeho ergonomickou pozici dle požadované metodiky. Aplikace je rychlým a levným řešením pro firmy, které nemají ergonomické analýzy jako svůj hlavní obor podnikání, přesto však občas potřebují ověřit, zda nějaká pracovní činnost vyhovuje ergonomickým požadavkům.

Přínos aplikace by mohl být při využití analýzy dle české legislativy. Analýza dle požadavků těchto norem je velice pracná a časově náročná. Autor práce nenalezl žádný program, který by tuto problematiku řešil. Žádný softwarový balík od velkých firem (Siemens, Delmia) tuto analýzu nezahrnuje.

10.1 Ekonomické hodnocení projektu.

V rámci porovnání nákladů na jednotlivé analýzy bylo osloveno sedm firem z oboru ergonomické analýzy. Přestože bylo zadání poměrně jednoduché a požadavek byl na prostý odhad ceny a časové náročnosti, neodpověděla ani jedna firma. Seznam oslovených firem společně s textem e-mailu je přiložen, jako Příloha C. Jde o velice úzký segment specifického oboru, kde nefiguruje příliš velký počet firem. Ekonomické porovnání tedy zatím bohužel nemohlo být provedeno.

Za odhad cen pro jednotlivé analýzy autor děkuje Ing. Markovi Burešovi, Ph.D. ze ZČU.

Cenová náročnost ergonomické analýzy (RULA, NIOSH, ČSN 1005-4) pro jedno běžné pracoviště:

Analýza v aplikaci Tecnomatix Jack – běžné pracoviště

Časová náročnost: cca 25 hodin

- 2 hodiny sběr dat
- 6-8 hodin tvorba (Catia, NX) a příprava modelu pracoviště (Tecnomatix Jack)
- 3 hodiny analýzy v Tecnomatix Jack
- 10 hodin sepsání zprávy

Cena: 25-30 000 Kč

Analýza modelového pracoviště – pouze analýzy poloh a výsledná zpráva

Časová náročnost: 6 hodin

Cena: cca 10 000 Kč

Analýza pomocí vyvinuté aplikace

Časová náročnost: dle doby trvání pracovního cyklu – cca 1 hodina

- 30 minut příprava pracoviště
- doba pracovního cyklu – nejlépe vícenásobné měření
- 30 minut měření

Cena: dle hodinové sazby pracovníků (2x) – cca 1 500 Kč

V hodnocení je uvažována cena, kterou by zaplatil koncový zákazník, kdyby si objednal požadovanou analýzu.

Pro hodnocení nákladů na provedení těchto analýz by bylo nutné uvažovat i vstupní náklady na licence k software. To je u tohoto typu software a tohoto segmentu trhu značně rozdílné a ceny licencí jsou individuální (podle počtu licencí, množství komponentů a další parametry) a podléhají obchodnímu tajemství.

Vstupní náklady lze těžko vyjádřit i u vyvíjené aplikace – bylo by nutné vyjasnit, pod jakou licenci by bylo možné aplikaci vůbec uvolnit. Licence zdarma pro vývoj aplikací v Unity 3D sice umožňuje studentům vyvíjet aplikace, ale pro školní použití by zřejmě již bylo nutné pořídit vyšší licenci. Licence zdarma je totiž limitována u firem ziskem 100.000 USD ročně a u vzdělávacích a neziskových organizací je limitem stejná hodnota ročního rozpočtu. Náklady na hardware jsou pak velmi nízké, zařízení MS Kinect stojí ve verzi pro PC něco mále přes 2000 Kč.

Pro profesionální použití by určitě stálo za zvážení zvýšit vstupní investici a aplikaci modifikovat pro použití s novější verzí zařízení MS Kinect – verzi One. Tato novější verze má výrazně lepší rozlišovací schopnost, zejména co se týče hloubkové osy. Cena je přibližně 5500 Kč + 1200 Kč redukce pro připojení k PC. Také by vznikly další náklady na balíčky kódů pro Unity 3D. Cena těchto balíčků je cca 25 USD. Tyto náklady jsou velice nízké s ohledem na výrazně vyšší přesnost výsledné aplikace.

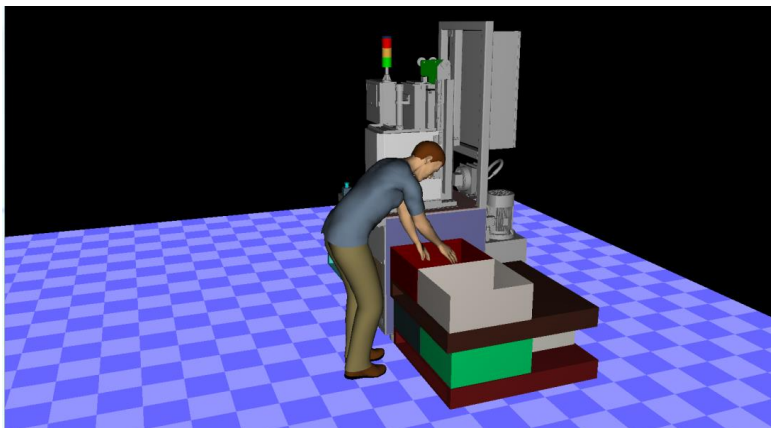
Předpokládanými zákazníky pro prodej této aplikace by mohly být menší konstrukční kanceláře, pracovníci zabývající se pracovní ergonomií v rámci výrobních podniků a také specializovaná pracoviště, která se zabývají ergonomickým hodnocením.

10.2 Porovnání výstupů z jiných aplikací

Pro posouzení užitné hodnoty aplikace bylo provedeno porovnání s výstupy konkurenčních řešení. Z nabídky profesionálních software pro řešení RULA byl zvolen komponent Tecnomatix Jack od firmy Siemens.

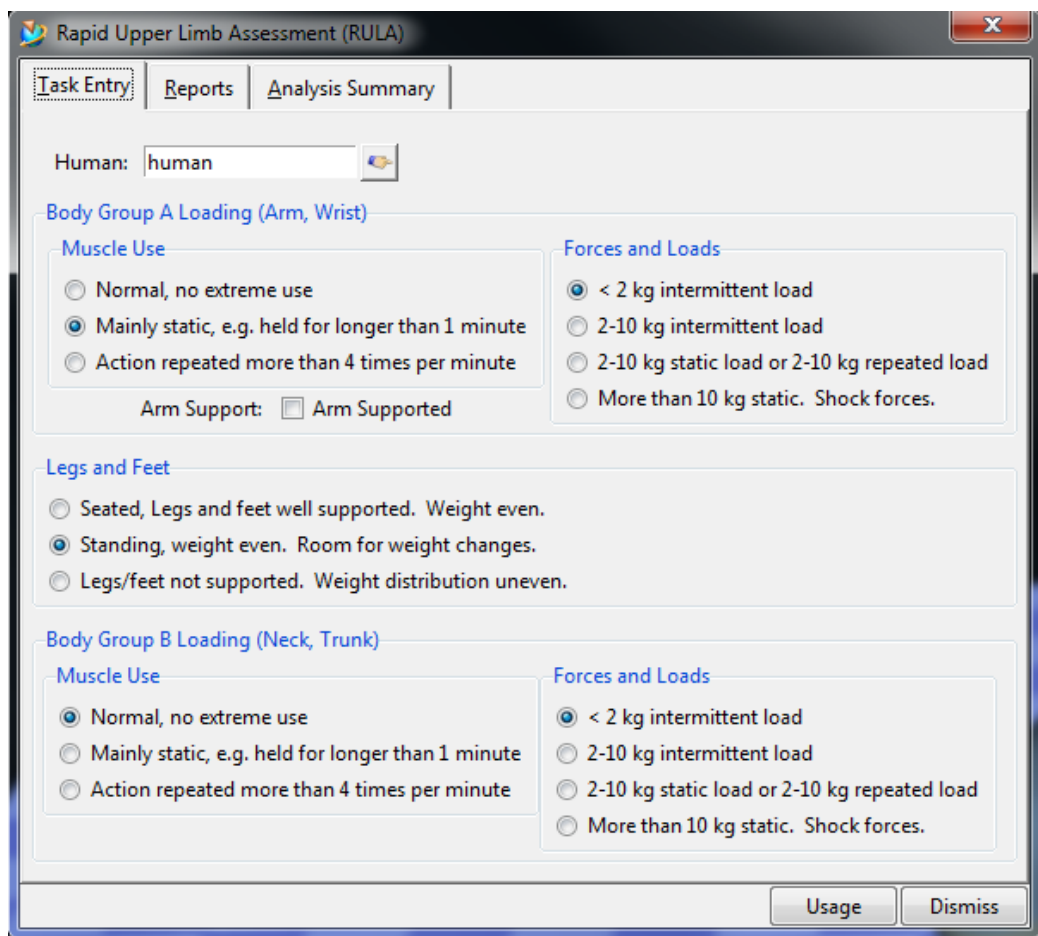
RULA – Tecnomatix Jack

Tento komponent je součástí celého balíku CAD/PLM řešení od této firmy. Umožňuje nedesignovat či neimportovat stroje v CAD a následně modelovému pracovníkovi nadefinovat polohy a pohyby. Tyto se volí ze základních typů pohybů – krok, předklon, uchopení, otočení. Všechny pohyby mají dostatek upřesňujících nastavení, takže je možné nakonfigurovat dostatečně přesně snad jakýkoli sled pracovních pozic.



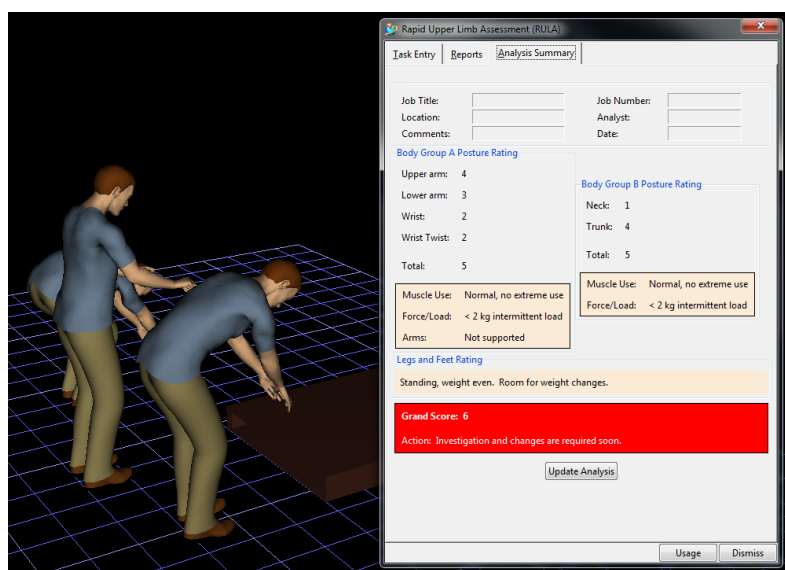
10-1: Pracoviště v Tecnomatix Jack

I v tomto software je nutné některé vstupní údaje zadat ručně – například hmotnost zátěže, zda se jedná o statickou pozici a zda jsou nohy pevně podepřeny.



10-2: Nastavení RULA v Tecnomatix Jack

Po zadání vstupních údajů pro požadovanou polohu je možné spustit analýzu. Výsledkem je okno s hodnocením dle vybrané analýzy. Hodnocení je zobrazeno pro jednotlivé části těla a na konci je zobrazeno celkové RULA skóre.



10-3: Tecnomatix Jack - pozice pracovníka a RULA skóre

The screenshot shows the 'Analysis Summary' tab of the RULA software. It contains the following information:

- Task Entry:** Job Title, Location, Comments, Job Number, Analyst, Date.
- Body Group A Posture Rating:** Upper arm: 2, Lower arm: 3, Wrist: 2, Wrist Twist: 2, Total: 5.
- Body Group B Posture Rating:** Neck: 3, Trunk: 1, Total: 3.
- Muscle Use:** Mainly static, e.g. held for longer than 1 minute.
- Force/Load:** < 2 kg intermittent load.
- Arms:** Not supported.
- Legs and Feet Rating:** Standing, weight even. Room for weight changes.
- Grand Score:** 4 (highlighted in yellow).
- Action:** Further investigation needed. Changes may be required.

Buttons at the bottom include 'Update Analysis', 'Usage', and 'Dismiss'.

10-4: Výsledek RULA v Tecnomatix Jack

Výsledek analýzy je velmi podobný výstupu z vytvořené aplikace. Tecnomatix Jack má pochopitelně výhody v komplexnosti řešení a provázanosti s dalšími komponenty softwarového balíku. Také nabízí více metod ergonomické analýzy. Neobsahuje však vstup ze zařízení MS Kinect a neumožňuje analýzu dle české legislativy. Nevýhodou je také vysoká cena.

Analýzy dle české legislativy

Tato analýza je ručně velmi pracná. Je nutné pořídit videozáznam pracovního cyklu a pomocí zpomaleného přehrávání a přehrávání po jednotlivých snímcích analyzovat, jak je daná pozice ergonomicky výhodná. Každá část těla je zaznamenávána do tabulky a pomocí časových značek na záznamu je určena doba setrvání v dané kategorii ergonomického hodnocení.

Tyto výpočty dobře řeší vyvinutá aplikace – analýza pozice pracovníka probíhá v reálném čase a také je automaticky spouštěno měření času pro jednotlivé kategorie.

čas(s)		1	2	3	4	5	6	7	8
TRUP	předklon/záklon	1	1	1	3	3	3	3	3
	úklon	2	2	2	1	1	1	1	1
	otáčení	2	1	2	2	1	1	1	1
HLAVA KRK	ohnutí šije	1	2	2	1	1	1	1	1
	otočení šije	1	2	2	2	1	1	1	1
PAŽE(L)	předpažení	3,6	3	2,4	3	3	3	3	3
	upažení	2,8	3	1,3	1	1	1	1	1
PAŽE(P)	předpažení	2	2	2	3	3	3	3	3
	upažení	1	1	1	1	1	1	1	1
LOKET(L)	flexe/extenze	1,4	1	1	1	1	1	1	1
LOKET(P)	flexe/extenze	1	1	1	1	1	1	1	1
ZÁPĚSTÍ(L)	dorsální flexe	1	1	3	3	3	1	1	1
	palmární flexe	1	1	1	1	1	1	1	1
	radiální deviace	1	1	1	1	1	1	1	1
	ulnární deviace	1	1	1	1	1	1	1	1
ZÁPĚSTÍ(P)	dorsální flexe	1	2,4	3	3	3	1	1	1
	palmární flexe	1	1	1	1	1	1	1	1
	radiální deviace	1	1	1	1	1	1	1	1
	ulnární deviace	1	3	1	1	1	1	1	1

10-5: Tabulka pro ergonomické hodnocení dle ČSN [17]

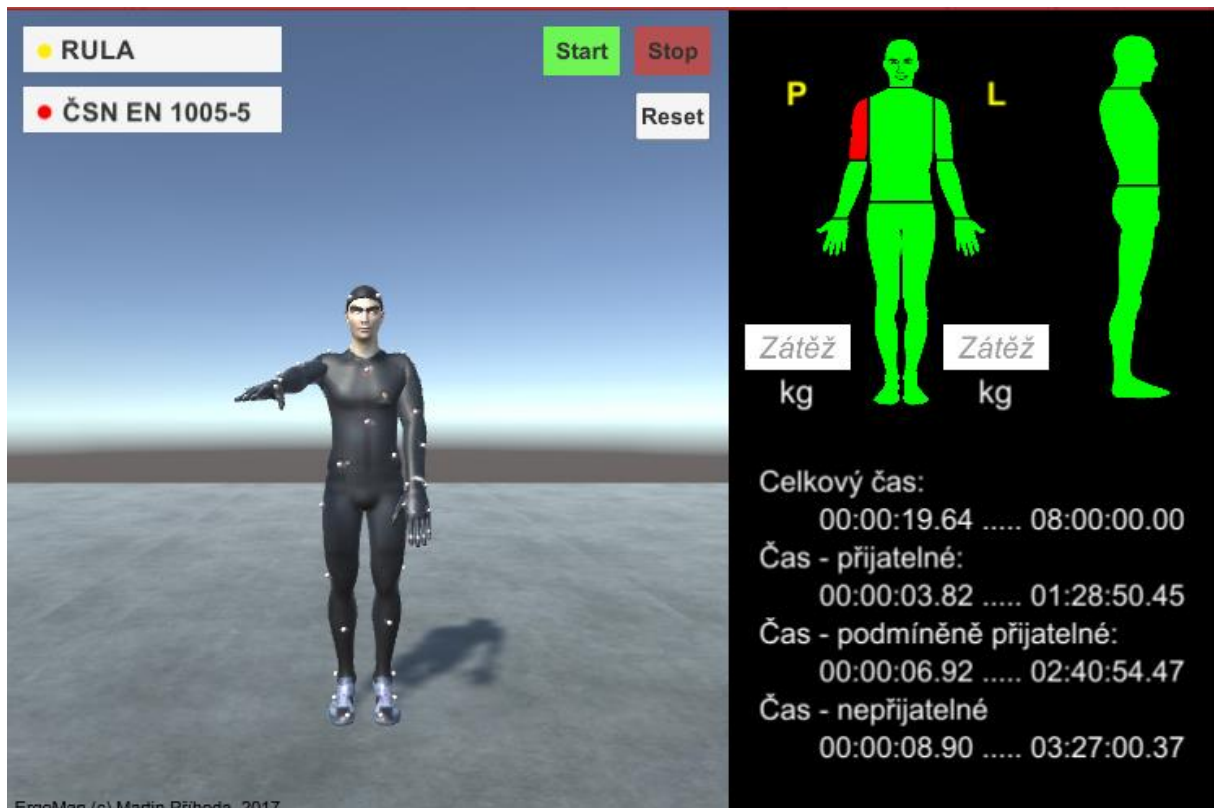
		1. řada = 71 s		2. řada = 57 s		3. řada = 51 s		4. řada = 64 s		5. řada = 52 s		6. řada = 58 s		7. řada = 52 s		8. řada = 54 s									
TRUP	předklon/záklon	33	4	34	16	7	34	13	5	33	3	12	49	0	6	46		8	50		5	47	0	5	49
	úklon	33		38	33		24	34		17	33		31	33		19	33		25	33		19	33		21
	otáčení	24		47	34		23	26		25	24		40	22		30	22		36	22		30	22		32
HLAVA KRK	ohnutí šije	22		49	22		35	22		29	22		42	22		30	22		36	22		30	22		32
	otočení šije	51		20	32		25	31		20	40		24	31		21	35		23	37		15	39		15
PAŽE(L)	předpažení	53	16	2	30	22	5	27	18	6	25	26	13	22	16	14	22	18	18	23	14	15	22	18	14
	upažení	22	1	48	22		35	22		29	22		42	22		30	22		36	22		30	22		32
PAŽE(P)	předpažení	32	37	2	8	44	5	5	42	4	3	47	14		38	14		40	18	1	36	15	1	38	15
	upažení		1	70	0	1	56	0	51	0	64		52		58		58		52		52		2	52	
LOKET(L)	flexe/extenze			71	0	57	0	51	0	64		64		52		58		58		52		52		54	
LOKET(P)	flexe/extenze			71	0	57	0	51	0	64		64		52		58		58		52		52		54	
ZÁPĚSTÍ(L)	dorsální flexe	35		36	23		34	21		30	20		44	12		40	21		37	21		31	21		33
	palmární flexe			71	0	57	0	51		64		64		52		58		58		52		52		54	
	radiální deviace			71	0	57	0	51		64		64		52		58		58		52		52		54	
	ulnární deviace			71	0	57	0	51		64		64		52		58		58		52		52		54	
ZÁPĚSTÍ(P)	dorsální flexe	46		25	35		22	34		17	31		33	23		29	32		26	32		20	32		22
	palmární flexe			71	0	57	0	51		64		64		52		58		58		52		52		54	
	radiální deviace			71	0	57	0	51		64		64		52		58		58		52		52		54	
	ulnární deviace	12		59	11		46	11		40	11		53	11		41	11		47	11		41	11		43

10-6: Tabulka s časovým hodnocením pozic [17]

		Svěšení 1 balíku						Svěšení za směnu					
		s	podíl času v %	s	podíl času v %	s	podíl času v %	s	min	s	min		
HLAVA KRK	ohnutí šije	65	14,16%	52	11,33%	342	74,51%	516,75	8,6125	413,4	6,89		
	otočení šije	265	57,73%			194	42,27%	2106,75	35,1125				
TRUP	předklon/záklon	196	42,70%			263	57,30%	1558,2	25,97				
	úklon	176	38,34%			283	61,66%	1399,2	23,32				
	otáčení	296	64,49%			163	35,51%	2353,2	39,22				
PAŽE(L)	předpažení	223	48,69%	148	32,31%	87	19,00%	1772,85	29,5475	1176,6	19,61		
	upažení	176	38,34%	1	0,22%	282	61,44%	1399,2	23,32	7,95	0,1325		
PAŽE(P)	předpažení	50	10,89%	322	70,15%	87	18,95%	397,5	6,625	2559,9	42,665		
	upažení			4	0,87%	455	99,13%			31,8	0,53		
LOKET(L)	flexe/extenze					459	100,00%						
LOKET(P)	flexe/extenze					459	100,00%						
ZÁPĚSTÍ(L)	dorsální flexe	174	37,91%			285	62,09%	1383,3	23,055				
	palmární flexe					459	100,00%						
	radiální deviace					459	100,00%						
	ulnární deviace					459	100,00%						
ZÁPĚSTÍ(P)	dorsální flexe	265	57,73%			194	42,27%	2106,75	35,1125				
	palmární flexe					459	100,00%						
	radiální deviace					459	100,00%						
	ulnární deviace	89	19,39%			370	80,61%	707,55	11,7925				

10-7: Tabulka s hodnocením dle ČSN [17]

Vyvinutá aplikace rovnou zobrazuje všechny časy – jak součet časů v jednotlivých kategoriích, tak i jejich přepočtení na poměrný čas, tedy kolik času by daná kategorie zabírala, pokud by se měřený pracovní cyklus opakoval po celou dobu pracovní směny.



10-8: Zobrazení časů

11 Seznam obrázků

3-1: Rozdílné parametry modelu.....	9
4-1: Svaly paže - biceps brachii a triceps brachii [6], [7]	12
4-2: Svaly s vyznačením působení sil [6], [7].....	13
4-3: Pásma pracovních poloh - trup	16
4-4: Pracovní poloha hlavy a krku – otočení.....	17
4-5: Pracovní poloha hlavy a krku – úklon	17
4-6: Pracovní poloha hlavy a krku – směr pohledu.....	17
4-7: Pracovní polohy horních končetin [11]	18
4-8: Pracovní list pro analýzu RULA [12]	19
4-9: Jiný pracovní list pro RULA analýzu [14].....	20
5-1: Schéma funkce aplikace.....	25
6-1: Grafické rozhraní - Metoda RULA – pracovní verze	28
6-2: Grafické rozhraní - Metoda ČSN – pracovní verze	28
6-3: Grafické rozhraní - Metoda RULA.....	29
6-4: Grafické rozhraní - Metoda ČSN.....	30
7-1: Pracovní list pro analýzu RULA [12]	31
7-2: Výpočet 1. kroku RULA analýzy	32
7-3: Tabulka A - 5. krok RULA analýzy	33
9-1: Přirazení kloubů pro script.....	36
10-1: Pracoviště v Tecnomatix Jack.....	40
10-2: Nastavení RULA v Tecnomatix Jack	41
10-3: Tecnomatix Jack - pozice pracovníka a RULA skóre	41
10-4: Výsledek RULA v Tecnomatix Jack	42
10-5: Tabulka pro ergonomické hodnocení dle ČSN [17]	43
10-6: Tabulka s časovým hodnocením pozic [17]	43
10-7: Tabulka s hodnocením dle ČSN [17].....	43
10-8: Zobrazení časů	44

12 Bibliografie

- [1] , Technomatix Jack. Digital Factory ZČU. [Online] [Citace: 05. 12 2016.] <http://digipod.zcu.cz/index.php/cs/oblasti-nasazeni/ergonomie/jack>.
- [2] Görner, Tomáš, a další., Virtuální realita : úvodní úroveň, e-book. Plzeň : ZČU, 2012. ISBN 978-80-87539-07.
- [3] , Delmia V5 Human. Digital Factory ZČU. [Online] [Citace: 05. 12 2016.] <http://digipod.zcu.cz/index.php/cs/oblasti-nasazeni/ergonomie/human>.
- [4] Delmia - Ergonomics. Dassault Systemes 3D Software Company. [Online] Dassault Systemes. [Citace: 05. 12 2016.] <http://www.3ds.com/products-services/delmia/disciplines/ergonomics/>.
- [5] Příhoda, Martin., BAKALÁŘSKÁ PRÁCE: Implementace Motion Capture v softwaru Unity. Plzeň : ZČU, 2015.
- [6] Darling, David., DavidDarling.info. Biceps. [Online] [Citace: 20. 11 2016.] <http://www.daviddarling.info/encyclopedia/B/biceps.html>.
- [7] , Základy sportovní kineziologie. Fakulta sportovních studií. [Online] Masarykova Univerzita. [Citace: 28. 11 2016.] http://is.muni.cz/do/1451/e-learning/kineziologie/elportal/pages/zakladni_slozky.html.
- [8] ČSN EN 614-1:2006+A1:2009 Bezpečnost strojních zařízení - Ergonomické zásady navrhování - Část 1: Terminologie a všeobecné zásady.
- [9] CHUNDELA, Lubor., Ergonomie. 3. vyd. Praha : České vysoké učení technické, 2013. ISBN 978-80-01-05173-3.
- [10] , ČSN EN 1005- 4:2005+A1:2008 Bezpečnost strojních zařízení - Fyzická výkonnost člověka - Část 4: Hodnocení pracovních poloh a pohybů ve vztahu ke strojnímu zařízení.
- [11] Marek, Jakub a Skřehot, Petr., Základy aplikované ergonomie. Vyd. 1. Praha : VÚBP, 2009. ISBN 978-80-86973-58-6.
- [12] , "A Step-by-Step Guide to the RULA Assessment Tool." Ergonomics Plus. [Online] 2016. [Citace: 30. 11 2016.] ergo-plus.com/wp-content/uploads/RULA.pdf.
- [13] A Step-by-Step Guide to the RULA Assessment Tool. Ergonomics Plus. [Online] Ergonomics Plus Inc, 06. 11 2016. [Citace: 30. 11 2016.] <http://ergo-plus.com/rula-assessment-tool-guide/>.
- [14] "Rapid Upper Limb Assessment (RULA)." <http://www.theergonomicscenter.com>. [Online] <http://www.theergonomicscenter.com/graphics/ErgoAnalysis%20Software/RULA.pdf>.
- [15] Bc. Sedláková, Hana., DIPLOMOVÁ PRÁCE: Zlepšování pracovišť ve výrobě. Plzeň : ZČU, 2016.
- [16] Ing. Bureš Ph.D, Marek., Optimální pracovní polohy. [Prezentace PowerPoint] Plzeň : ZČU, 2010. Optimální pracovní polohy.
- [17] Rybářová, Zuzana a Třísková, Dana., Semestrální práce z předmětu PEE. 2016.

- [18] Hořejší, P., Görner, T., Kurkin, O., VYZTYMDP : Virtuální realita: základní úroveň, e-book, ISBN 978-80-87539-07, ZČU 2012
- [19] Blackman S.: Beginning 3D Game Development with Unity 4, ISBN 9781430248996, Apress 2013
- [20] Linowes, J.: Unity Virtual Reality Projects, ISBN 978-1783988556, Packt Publishing 2015
- [21] Lavieri, E.: Getting Started with Unity 5, ISBN 9781784395636, Packt Publishing 2015

Přílohy

Příloha A – RULA Scorecard

Příloha B – Kód programu

Příloha C – E-mail s požadavkem na cenovou nabídku

Oslovené firmy:

servis@getacentrum.cz

eva.pysova@zuova.cz

marek.netusil@axiomtech.cz, petr.kulhanek@axiomtech.cz

autoklastr@autoklastr.cz

info@innov8.sk

ergowork@ergowork.cz

Text zprávy:

Vážení,

ve své diplomové práci na ZČU řeším problematiku ergonomických analýz pracovních poloh a v závěru práce bych rád provedl i ekonomické hodnocení.

Mohl bych poprosit o pomoc s cenovým odhadem ergonomických analýz?

Kolik by přibližně stálo vypracování jednotlivých analýz pro běžného zákazníka a jak dlouho vypracování analýzy trvá?

Pomohl by mi i odkaz či nasměrování na někoho, kdo se tím zabývá.

Jedná se mi o porovnání nákladů na:

1. analýzu RULA
2. analýzu dle ČSN EN 1005-4:2005 - Bezpečnost strojních zařízení - Fyzická výkonnost člověka - Část 4: Hodnocení pracovních poloh a pohybů
ČSN EN 1005-5:2007 - Bezpečnost strojních zařízení - Fyzická výkonnost člověka - Část 5: Posuzování rizika velmi opakované
Nařízení vlády č. 68/2010 Sb.
3. analýzu simulací Tecnomatix Jack/Delmia apod.
4. jiný typ ergonomické analýzy (motion capture, ...)

V práci nejsem vázán konkrétním pracovním cyklem.

Pro stanovení cenové nabídky navrhuji tyto parametry:

- pracoviště v ČR
- obsluha jednoúčelového automatu na prostřih dílů pro automotive
- ruční zakládání i odebrání dílu (zakládací výška 1030 mm na podlahou)
- spuštění cyklu dvouručním ovládním (tlačítka 900 mm nad podlahou)
- pracovní cyklus 30 s z toho 10 s čas stroje (obsluha drží tlačítka dvouručního ovládním)
- hmotnost dílu 2 kg
- pro simulaci je k dispozici jen CAD model stroje ve formátu Catia

Pokud je nutné doplnit další parametry, rád doplním.

Jde mi jen o přibližnou cenu za analýzu pracovních poloh pracovníka.

Studuji ZČU/FST kombinovanou formou, kromě studia pracuji ve firmě, která takováto zařízení skutečně vyrábí.

Zákazníci občas mají požadavek na ergonomické analýzy, proto by cenová nabídka pro mě byla zajímavá i z profesního hlediska.

Předem děkuji za pomoc, s pozdravem

Martin Příhoda

Pracovní cyklus:

1. Pracovník se shýbne do krabice po pravé ruce pro díl
2. Pracovník založí díl do stroje (kontroluje pozici)
3. Pracovník zmáčkne tlačítka dvouručního ovládání + drží je
4. Stroj provede upnutí dílu
5. Stroj provede prostřih dílu
6. Stroj uvolní díl
7. Pracovník pouští tlačítka dvouručního ovládání
8. Pracovník odebere díl
9. Pracovník díl odkládá vlevo na stůl

Příklad stroje:

