

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N0715A270012 – Strojní inženýrství
Studijní obor: Průmyslové inženýrství a management

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Virtuální odladění pracoviště v Tecnomatix Process Simulate

Autor: Bc. Adam HAVEL
Vedoucí práce: Ing. Marek BUREŠ, Ph.D.

Akademický rok 2023/2024

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2023/2024

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Adam HAVEL**
Osobní číslo: **S22N0078P**
Studijní program: **N0715A270012 Průmyslové inženýrství a management**
Téma práce: **Virtuální odladění pracoviště v Tecnomatix Process Simulate**
Zadávací katedra: **Katedra průmyslového inženýrství a managementu**

Zásady pro vypracování

- Ergonomická optimalizace ve výrobě
- Motion capture a VR technologie
- Specifikace případové studie
- Analýza s využití virtuální reality a motion capture
- Zhodnocení technologií a přínosů
- Závěr

Rozsah diplomové práce: **50-70**
Rozsah grafických prací: **-**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. CHUNDELA, Lubor. Ergonomie. 3. vyd. Praha: ČVUT, 2013, 173 s. ISBN 978-80-01-05173-3.
2. SHORROCK, Steven, WILLIAMS, Claire. Human Factors and Ergonomics in Practice: Improving System Performance and Human Well-Being in the Real World. CRC Press, 2017, 456 s. ISBN 9781472439253.
3. SKŘEHOT, Petr A. Organizační faktor v prevenci rizik na pracovištích. Bezpečnost a hygiena práce. Wolters Kluwer ČR, 2017. č. 3, s. 14-22. ISSN 0006-0453.
4. FILO, Petr. Nové metody v ergonomii. Vyd. 1. Brno: Mendelova univerzita, 2013. 104 s. ISBN 978-80-7375-870-7
5. KROEMER-ELBERT, Katrin, KROEMER, Henrike, KROEMER-HOFFMAN, Anne. Ergonomics-How to design for ease and efficiency. 3 edition. Elsevier Science Publishing, 2018, 756 s. ISBN 978-0-128-13296-8.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Marek Bureš, Ph.D.**
Katedra průmyslového inženýrství a managementu

Datum zadání diplomové práce: **16. října 2023**
Termín odevzdání diplomové práce: **24. května 2024**

L.S.

Doc. Ing. Vladimír Duchek, 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 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 rád touto cestou vyjádřil své upřímné díky Ing. Marku Burešovi, PhD., za jeho cenné vedení, odborné rady a podporu během tvorby této diplomové práce. Jeho odborné znalosti a ochota naslouchat mi byly neocenitelnou oporou v průběhu celého diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Matěji Dvořákovi, za cenné technologické rady a konstruktivní zpětnou vazbu, která výrazně přispěla k vylepšení této práce. Autor této práce si nesmírně cení věnovaného času obou zmíněných osob.

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Havel	Jméno Adam	
STUDIJNÍ PROGRAM	N0715A270012 Průmyslové inženýrství a management		
VEDOUČÍ PRÁCE	Příjmení Ing. Bureš, Ph.D.	Jméno Marek	
PRACOVISŤE	ZČU - FST - KPV		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Virtuální odladění pracoviště v Tecnomatix Process Simulate		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KPV	ROK ODEVZD.	2024
---------	---------	---------	-----	-------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	78	TEXTOVÁ ČÁST	78	GRAFICKÁ ČÁST	0
--------	----	--------------	----	---------------	---

STRUČNÝ POPIS	Tato práce se zaměřuje na využití inovativních technologií, konkrétně virtuální reality a motion capture, k optimalizaci ergonomie pracovních prostředí. Hlavním cílem je porovnat efektivitu dvou metrik sledujících pohyb a ergonomii pracovních postupů, které jsou následně analyzovány v prostředí programu Process Simulate. Jedním z klíčových aspektů této práce je měření za pomoci metody RULA v Process Simulate, která umožní důkladnou analýzu a hodnocení ergonomických faktorů prostřednictvím virtuální reality a motion capture technologie. Tímto způsobem lze dosáhnout lepšího porozumění a optimalizace pracovních procesů s ohledem na zdraví a pohodlí pracovníků.
KLÍČOVÁ SLOVA	RULA, motion capture, virtuální realita, ergonomie, Process Simulate, HTC, Noitom, Meta.

SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

AUTHOR	Surname Havel	Name Adam
STUDY PROGRAMME	N0715A270012 Průmyslové inženýrství a management	
SUPERVISOR	Surname Ing. Bureš, Ph.D.	Name Marek
INSTITUTION	ZČU - FST - KPV	
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Virtual commissioning of the workplace in Tecnomatix Process Simulate	

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	KPV	SUBMITTED IN	2024
----------------	------------------------	-------------------	-----	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	78	TEXT PART	78	GRAPHICAL PART	0
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION	<p>This thesis focuses on the use of innovative technologies, specifically virtual reality and motion capture, to optimize the ergonomics of work environments. The main objective is comparison of the effectiveness of two metrics tracking motion and workflow ergonomics, which are then analyzed in a Process Simulate. One of the key aspects of this thesis is the measurement using the RULA method in Process Simulate, which will allow a thorough analysis and evaluation of ergonomic factors through virtual reality and motion capture technology. In this way, a better understanding and optimization of work processes can be achieved with respect to the health and comfort of workers.</p>
KEY WORDS	<p>RULA, motion capture, virtual reality, ergonomic, Process Simulate, HTC, Noitom, Meta.</p>

Obsah

Přehled použitých zkratk a pohybů	10
Seznam obrázků	11
Seznam tabulek	13
Úvod	15
1 Ergonomická optimalizace ve výrobě	16
1.1 Význam ergonomie při optimalizaci výroby	16
1.2 Virtuální ergonomie a digitální modely člověka	17
1.2.1 Tecnomatix Jack	17
1.2.2 Tecnomatix Process Simulate - Human	18
1.3 Ergonomické zásady pro projektování pracoviště	19
1.3.1 Antropometrie	20
1.3.2 Pracovní prostor	21
1.3.3 Ergonomie dle české legislativy	22
1.3.4 RULA	24
2 VR technologie a Motion capture	28
2.1 Noitom	29
2.2 Oculus Quest 2	30
2.3 HTC VIVE Pro a Tracker 3.0	31
3 Pracoviště	34
4 Napojení na Process Simulate	37
4.1 HTC VIVE Pro a Trackery 3.0	37
4.2 Noitom a Oculus Quest 2	40
5 Měření	49
5.1 Měření v Process Simulate	49
5.1.1 Poloha 1	49
5.1.2 Poloha 2	51
5.1.3 Poloha 3	54
5.2 Měření HTC	56
5.2.1 Poloha 1 HTC	56
5.2.2 Poloha 2 HTC	58
5.2.3 Poloha 3 HTC	61
5.3 Noitom a Oculus Quest 2	64
5.3.1 Poloha 1 Noitom	64
5.3.2 Poloha 2 Noitom	67

5.3.3	Poloha 3 Noitom.....	70
6	Analýza výsledků	73
	Závěr.....	76
	Citovaná literatura	77

Přehled použitých zkratk a pohybů

BOZP	Bezpečnost a ochrana zdraví při práci
Extenze	Napřímení
Flexe	Ohebnost
FST	Fakulta strojní
HTC	High Tech Computer
KPV	Katedra průmyslového inženýrství a managementu
Mo-cap	Motion capture – Snímání pohybu
NIOSH	National Institute of Occupational Safety and Health - Národní institut pro bezpečnost a ochranu zdraví
OWAS	Ovako working posture Assessment System - Hodnocení pracovního postoje
PN3	Perception Neuron 3
RULA	Rapid Upper Limb Assessment - Hodnocení pracovních poloh horních končetin
VR	Virtuální realita
ZČU	Západočeská univerzita v Plzni
3D	Trojrozměrný

Seznam obrázků

Obrázek 1-1: Jack a Jill v programu Tecnomatix Jack	18
Obrázek 1-2: Vytváření člověka v Process Simulate [4]	18
Obrázek 1-3: Pracovní zóny v Process Simulate [4].....	19
Obrázek 1-4: Rozměrové dispozice dvou různých pracovníků [6].....	21
Obrázek 1-5: Skóre a polohy pro výpočet RULA A [14]	25
Obrázek 1-6: Skóre a polohy pro výpočet RULA B [14]	26
Obrázek 2-1: Perception Neuron 3 Body Kit [18]	29
Obrázek 2-2: Oculus Quest 1 vs 2 [20]	30
Obrázek 2-3: Ovladač pro Oculus 1 a 2 [21]	30
Obrázek 2-4: HTC VIVE Pro [24]	32
Obrázek 2-5: HTC VIVE Tracker 3.0 [25]	33
Obrázek 3-1: Pracoviště	34
Obrázek 3-2: Nákresy.....	35
Obrázek 3-3: Přeprovádní box	36
Obrázek 3-4: Pracoviště v Process Simulate	36
Obrázek 4-1: Spárování ovladačů	37
Obrázek 4-2: Typy ovladačů	38
Obrázek 4-3: Zapínání virtuální reality	38
Obrázek 4-4: Propojení s postavou a teleport	39
Obrázek 4-5: Upevnění HTC Trackerů [27]	39
Obrázek 4-6: Skutečné upevnění HTC Trackerů	40
Obrázek 4-7: Upevnění senzorů Noitom [28]	41
Obrázek 4-8: A – póza	42
Obrázek 4-9: S - Póza.....	43
Obrázek 4-10: Broadcasting.....	44
Obrázek 4-11. Tracking Setup	44
Obrázek 4-12: Propojení Noitom	45
Obrázek 4-13: Skeleton.....	45
Obrázek 4-14: Záložka Human	46
Obrázek 4-15: Propojení skeletu a Jacka	47
Obrázek 4-16: Skutečná poloha snímačů Noitom.....	48
Obrázek 5-1: Měření poloha 1	49
Obrázek 5-2: Měření poloha 2	52
Obrázek 5-3: Měření poloha 3	54

Obrázek 5-4: Měření HTC poloha 1	56
Obrázek 5-5: Měření HTC poloha 2	58
Obrázek 5-6: Měření HTC poloha 3	61
Obrázek 5-7: Měření Noitom poloha 1	65
Obrázek 5-8: Měření Noitom poloha 2	67
Obrázek 5-9: Měření Noitom poloha 3	70
Obrázek 6-1: Polohy měřené HTC	73
Obrázek 6-2: Polohy měření Noitom	74

Seznam tabulek

Tabulka 1-1: Výšky mužů a žen v České republice [7]	20
Tabulka 1-2: Pedipulační prostor [7]	22
Tabulka 1-3: Vyhodnocení RULA [14]	27
Tabulka 2-1: Parametry Oculus 2 vs 1 [22]	31
Tabulka 2-2: Celková cena první varianty	31
Tabulka 2-3: Parametry VIVE Pro [24]	32
Tabulka 2-4: Celková cena druhé varianty	33
Tabulka 5-1: Process Simulate poloha 1	50
Tabulka 5-2: Tabulka A poloha 1	50
Tabulka 5-3: Tabulka B poloha 1	51
Tabulka 5-4: Tabulka C poloha 1	51
Tabulka 5-5: Process Simulate poloha 2	52
Tabulka 5-6: Tabulka A poloha 2	53
Tabulka 5-7: Tabulka B poloha 2	53
Tabulka 5-8: Tabulka C poloha 2	53
Tabulka 5-9: Process Simulate poloha 3	54
Tabulka 5-10: Tabulka A poloha 3	55
Tabulka 5-11: Tabulka B poloha 3	55
Tabulka 5-12: Tabulka C poloha 3	55
Tabulka 5-13: HTC poloha 1	56
Tabulka 5-14: Tabulka A poloha 1 HTC	57
Tabulka 5-15: Tabulka B poloha 1 HTC	57
Tabulka 5-16: Tabulka C poloha 1 HTC	58
Tabulka 5-17: HTC poloha 2	59
Tabulka 5-18: Tabulka A poloha 2 HTC	60
Tabulka 5-19: Tabulka B poloha 2 HTC	60
Tabulka 5-20: Tabulka C poloha 2 HTC	61
Tabulka 5-21: HTC poloha 3	62
Tabulka 5-22: Tabulka A poloha 3 HTC	63
Tabulka 5-23: Tabulka B poloha 3 HTC	63
Tabulka 5-24: Tabulka C poloha 3 HTC	64
Tabulka 5-25: Noitom poloha 1	65
Tabulka 5-26: Tabulka A poloha 1 Noitom	66
Tabulka 5-27: Tabulka B poloha 1 Noitom	66

Tabulka 5-28: Tabulka C poloha 1 Noitom	67
Tabulka 5-29: Noitom poloha 2	68
Tabulka 5-30: Tabulka A poloha 2 Noitom	69
Tabulka 5-31: Tabulka B poloha 2 Noitom	69
Tabulka 5-32: Tabulka C poloha 2 Noitom	70
Tabulka 5-33: Noitom poloha 3	71
Tabulka 5-34: Tabulka A poloha 3 Noitom	71
Tabulka 5-35: Tabulka B poloha 3 Noitom	72
Tabulka 5-36: Tabulka C poloha 3 Noitom	72
Tabulka 6-1: Kategorie pracovních rizik	75

Úvod

V dnešní době, kdy se technologický pokrok nezadržitelně řítí vpřed, získává otázka efektivity a pohodlí pracovního prostředí stále větší význam. Ergonomie, která se mimo jiné zabývá designem pracovního prostředí s ohledem na lidské potřeby a pohodlí, se stává klíčovým faktorem v oblasti výroby. V tomto kontextu se uplatňuje koncept ergonomické optimalizace ve výrobě, který se zaměřuje na maximalizaci efektivity pracovních procesů a zároveň minimalizaci negativního vlivu na lidské zdraví.

S nástupem nových technologií se otevírají nové dimenze v oblasti ergonomie. Virtuální realita (VR) a motion capture technologie přináší revoluční přístup k ergonomickému designu. Tyto inovace nabízejí nejen možnost simulovat a optimalizovat pracovní prostředí ve virtuálním světě, ale také umožňují precizní sledování pohybu těla prostřednictvím motion capture obleků.

Ergonomická optimalizace ve výrobě je klíčovým faktorem pro zlepšení pracovních podmínek a snížení rizika vzniku pracovních úrazů. Virtuální realita umožňuje simulovat pracovní prostředí a umožňuje ergonomickou analýzu již při návrhu pracoviště. Motion capture oblek pak umožňuje přenášet data o pohybu pracovníka do virtuálního prostoru, kde lze provádět detailní analýzy jeho pohybu a pracovních pozic. Tyto technologie tak mohou pomoci při návrhu ergonomického pracoviště. Ergonomická optimalizace ve výrobě není pouze snahou o vytvoření prostoru přizpůsobeného lidským potřebám, ale i o minimalizaci rizika pracovních úrazů a zlepšení celkové pracovní výkonnosti. Průmyslová zařízení a pracovní stanice jsou navrhovány s ohledem na ergonomické principy, které maximalizují pohodlí, minimalizují namáhání těla a optimalizují tok práce. Optimálně navržené pracoviště přispívá ke zvýšení produktivity, ale také snižuje riziko vzniku dlouhodobých zdravotních problémů spojených s pracovním prostředím.

Přesné znalosti o antropometrických datech jsou nezbytné pro návrh sedadel, pracovních stolů, nástrojů a dalších prvků, které tvoří pracovní stanice. Integrace antropometrických údajů do virtuálních simulací ve spojení s VR technologiemi je možné vytvářet přizpůsobené pracovní prostředí s ohledem na individuální potřeby pracovníků. Virtuální realita a antropometrická data umožňují simulovat pracovní podmínky pro různě vysoké lidi, což výrazně zvyšuje univerzálnost a přístupnost pracovních prostředí. Pracovní stanice tak mohou být navrženy s ohledem na variabilitu lidských rozměrů, což snižuje riziko vadného držení těla během práce, nepříjemných postojů a zlepšuje celkovou ergonomii pracovního prostředí. Cílem této práce je využití výše uvedených technologií a principů pro virtuální odladění montážního pracoviště. 3D model navrhovaného pracoviště bude vytvořen v softwaru Tecnomatix Process Simulate a následně odladěn s využitím technologie virtuální reality a motion capture. Porovnány zde budou dvě varianty. První varianta bude headset od společnosti HTC a snímač pohybu Tracker 3.0, který je také od společnosti HTC. Druhou variantou bude Motion capture od společnosti Noitom a headset Oculus Quest 2 od společnosti Meta. Porovnávat se zde bude snadnost napojení na program Process Simulate, správnost naměřených hodnot za pomoci metody RULA a finanční stránka obou variant.

1 Ergonomická optimalizace ve výrobě

Ergonomická optimalizace ve výrobě hledá návrhy pracovního prostředí, pracovních postupů a pracovních nástrojů tak, aby byly co nejvíce přizpůsobeny potřebám a schopnostem pracovníků. Hlavním cílem ergonomické optimalizace ve výrobě je zlepšit pracovní podmínky, zvýšit produktivitu a snížit riziko pracovních úrazů a onemocnění spojených s prací. Zdraví pracovníků a jejich psychická pohoda napomáhají udržet dlouhodobou konkurenceschopnost podniku.

V dřívějších letech ergonomie nehrála takovou roli na pracovišti jako je tomu teď. Proto dříve převažoval mechanocentrický přístup, který pracoviště navrhuje bez limitů člověka. Dalo by se říci, že lidé se museli přizpůsobovat pracovišti. Nyní většina firem praktikuje takzvaný antropocentrický přístup, ten bere v úvahu schopnosti a dovednosti pracovníka. Lze tedy říci, že nyní se pracoviště přizpůsobuje zaměstnancům. Začátkem 19. století fyziolog Coulon řešil otázku únavy a rozložení přestávek, hledal optimální postoj a pohyby při práci. Studoval vliv pracovního prostředí na dělníka. Konec 19. století je považován za rozmach vědecké organizace práce v čele s F. W. Taylorem, ten je označován jako zakladatel vědeckého rozboru práce. V meziválečném období se začaly řešit pracovní podmínky jako jsou osvětlení, hluk, mikroklima atp. a organizace práce. Během druhé světové války na sjezdu Společnosti ekonomických věd v Londýně byl vytvořen vědní obor, který v sobě zahrnuje stávající poznatky a řeší celý komplex člověk – technika – pracovní prostředí. Tento obor byl nazván ergonomie, z řeckých slov ergon, které znamená práce a slova nomos znamenajícího zákon [1].

1.1 Význam ergonomie při optimalizaci výroby

Ergonomie je označována jako vědecká disciplína, která se snaží optimalizovat spolupráci mezi člověkem, prostředím a strojem. K tomu využívá teorii, poznatky, principy, data a metody. Dá se tedy říci, že ergonomie optimalizuje pohodu člověka a výkonnost systému [1].

Ergonomické nástroje a pracovní prostředí napomáhají snížit zdravotní problémy spojené se stresem a špatným držením těla. Správná ergonomie může snížit například bolest zad, krku, ramen nebo šíje. Díky snížení stresu a únavy mohou pracovníci pracovat efektivněji a bez brzkého snížení pracovního výkonu. Ergonomická optimalizace pracoviště dále napomáhá snížení pracovních úrazů jako jsou pády, nárazy a další typy nehod způsobené špatným uspořádáním pracovní plochy. Prevence pracovních úrazů a onemocnění snižuje náklady na léčbu a náhradu pracovních úrazů.

Ergonomie si klade za cíl vytvářet ideální pracovní prostředí v souladu s anatomickými a výkonnostními schopnostmi jednotlivce, s důrazem na efektivitu pracovních míst a prevenci zdravotních problémů spojených s prací. Tento úkol ergonomie splňuje úpravou pracovních míst a metod práce, sledující, aby nástroje a předměty co nejlépe vyhovovaly pohybovým a rozměrovým potřebám lidského těla. To umožňuje plné využití schopností, znalostí a dovedností pracovníka, což optimalizuje výsledný výkon. V mnoha společnostech, kde zaměstnanci tráví většinu času ve statických pozicích, je profesionální ergonomie využívána k prevenci pracovní neschopnosti. Ergonomie není pouze spojena s bezpečností a ochranou zdraví při práci (BOZP), ale posouvá ji směrem k individualizaci, nejedná retrospektivně. V rámci BOZP se identifikují nebezpečné faktory, hodnotí se rizika pracovních podmínek s cílem vytvořit bezpečné pracoviště pro pracovníky. Ergonomie přistupuje k tomuto úkolu obdobně, avšak s opačným zaměřením. Neomezuje se pouze na vytváření bezpečných pracovních podmínek, ale dimenzuje konkrétní prvky pracoviště a místa výkonu práce podle potřeb jednotlivce. BOZP a ergonomie sdílí základ, avšak kladou důraz na odlišné aspekty. Základní

vztah "pracovní podmínky – rizika práce," známý z BOZP, je doplněn o vztah "předměty – osoby." Zatímco BOZP se snaží vytvářet bezpečné pracovní podmínky v celém pracovišti, ergonomie se navíc snaží definovat optimální pracovní podmínky pro konkrétní pracovní místo a konkrétního pracovníka [2].

1.2 Virtuální ergonomie a digitální modely člověka

Virtuální ergonomie pomocí počítače vytváří digitální model člověka, a to jak celého člověka, tak jen jeho částí. Díky této technologii se snadno nasimulují různé pracovní situace a snadno se vyhodnotí jejich výsledky v programech k tomu určených jako jsou například programy Tecnomatix Jack nebo Tecnomatix Process Simulate Human.

Správný a špatný model podle Kroemer Elbe et all. (2018) se posuzuje podle kritérií:

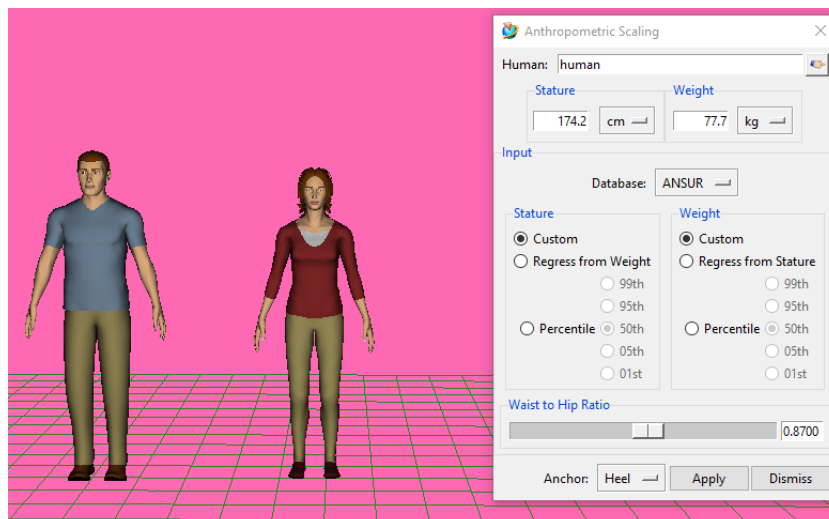
- Validita - jedná se shodu digitálního modelu se skutečností,
- Přínosnost - ukazuje schopnost modelu dosáhnout cílů pro které byl vyvinut,
- Spolehlivost - za spolehlivost se považuje opakovatelnost modelu se stejnými výsledky nebo minimálně podobnými. Za spolehlivost také můžeme považovat možnost aplikovat model na podobné prostředí,
- Komplexnost – jde o použitelnost modelů na různé druhy systémů,
- Snadné používání - model by měl být snadno použitelný, nikoliv však za cenu ztráty funkčnosti modelu.

Od druhé poloviny 90. let se SAE International, profesní sdružení odborníků z oblasti leteckého, automobilového a dopravního průmyslu, zaměřilo na modelování člověka. Jejich záměrem byla spolupráce jak programátorů, tak ergonomů k vyvinutí co nejlepšího ergonomického softwaru. Programátoři, kteří neznají principy ergonomie, nemohou vytvořit ergonomicky navržený software, který by odpovídal potřebám uživatelů. Na druhé straně ergonomové, kteří neumějí programovat, budou mít problém s vytvořením funkční ergonomické aplikace. Proto je spolupráce mezi těmito dvěma skupinami odborníků nezbytná pro dosažení optimálního výsledku [3].

1.2.1 Tecnomatix Jack

Tecnomatix Jack je program zabývající se analýzou simulace člověka a ergonomií. Tento program ve studentské verzi je zdarma dostupný pro studenty středních a vysokých škol. Studenti mají tedy jedinečnou možnost prozkoumat a využívat tento program zcela bezplatně. Software umožňuje uživatelům přidávat modely člověka do virtuálního prostředí. Model muže je zde nazván Jack a model ženského pohlaví Jill. Na obrázku 1-1 lze vidět Jacka a Jill s možnostmi nastavení jejich postavy. Vložené postavy se mohou v programu různě pochybovat, přenášet různé předměty nebo například přendávat předměty z místa A do místa B. V aplikaci Jack se dají vytvářet celé pracoviště i celá výroba. Program Jack umožňuje ergonomickou analýzu jako například:

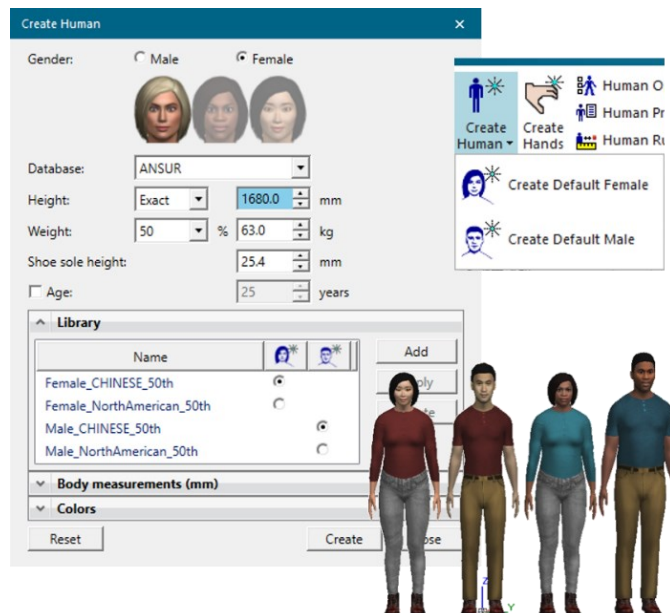
- RULA se zabývá hodnocením zatížení horních končetin,
- NIOSH analyzuje manipulaci s břemeny o hmotnosti 3 kg a výše do vzdálenosti 2 metrů,
- OWAS hodnotí pracovní postoje na základě polohy zad, rukou, nohou a míry zatížení,
- Snook & Ciriello analyzuje limity ruční manipulace.



Obrázek 1-1: Jack a Jill v programu Tecnomatix Jack

1.2.2 Tecnomatix Process Simulate - Human

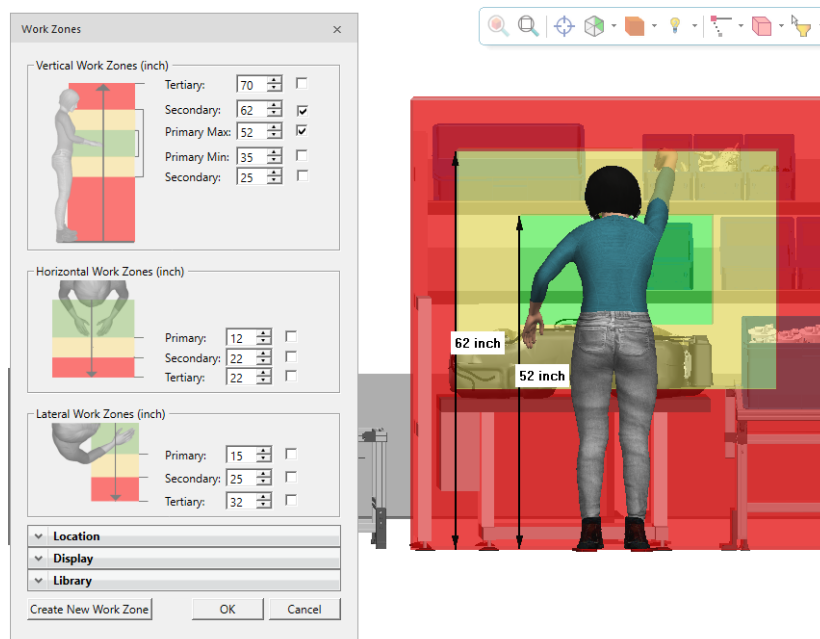
Process Simulate je další aplikace od firmy Tecnomatix. Process Simulate nabízí možnost řešit úlohy modelování a simulování. Aplikace obsahuje mnoho nástrojů, v této práci se budeme zabývat hlavně nástrojem Human a Virtual reality. S využitím Human lze odstranit rizika pro operátory díky analýze trasy, testům dosažitelnosti, analýze viditelnosti a hodnocení ergonomických aspektů. Nástroj Human je velmi podobný softwaru Jack, její technologie z této aplikace přímo vychází. Dalo by se říci, že se jedná o lepší, modernější a uživateli přívětivější verzi. Postavy se zde stejně jako v programu Jack jmenují Jack a Jill. Na obrázku 1-2 lze vidět více možností ve vytváření postav oproti programu Jack [4].



Obrázek 1-2: Vytváření člověka v Process Simulate [4]

Pracovní zóny umožňují zjistit, zda řešení pracovního místa splňuje ergonomické zásady. Díky barevnému spektru, které lze vidět na obr. 1-3, jde snadno vyhodnotit dosahy pracovníka. Zelená barva označuje optimální manipulační prostor, žlutá normální manipulační prostor a červená barva definuje maximální manipulační prostor. V zeleném spektru se umísťují předměty často používané. Ve žlutě zbarvené zóně se umísťují předměty méně využívané a

objekty těžší hmotnosti. Do poslední oblasti, tedy červené, se pokládají předměty velmi málo používané, přičemž tyto předměty by neměly být příliš těžké či složité na úchop [4].



Obrázek 1-3: Pracovní zóny v Process Simulate [4]

1.3 Ergonomické zásady pro projektování pracoviště

Dodržování ergonomických zásad je důležité pro pohodlí, produktivitu a zdraví člověka. Správné uspořádání pracoviště je důležité z hlediska dosažitelnosti nástrojů a přehlednosti, díky snadnému nalezení nástrojů se usnadňuje práce zaměstnancům a dále se snižuje čas plýtvání. Nástroje by měly být v dosažitelných vzdálenostech. Nejpoužívanější a těžší pomůcky jsou dávány blíže k pracovníkovi naopak málo často využívané nástroje jsou vzdáleny od zaměstnance tak, aby nepřekážely jeho pracovnímu výkonu.

Nedílnou součástí pracoviště je také osvětlení, které může být umělé, přirozené nebo kombinované. U osvětlení se musí dbát na minimalizaci odlesků a stínů. Podle průzkumů až 90% informací je vnímáno zrakem. Ideálním nastavením světla lze dosáhnout větší kvality, bezpečnosti, eventuálně psychické pohody. Přirozené osvětlení je sice zadarmo, ale jeho velkou nevýhodou je jeho kolísání intenzity a barvy, a to během roku i dne. Proto se na pracovištích využívá kombinace přírodního osvětlení a umělého. Bez pomoci umělého osvětlení by nebyla možnost na pracovišti trvale zajistit světelné podmínky potřebné pro pracovní činnosti. Při poklesu přírodního světla je vhodné zajistit automatické sepnutí umělého osvětlení. Barva osvětlení ovlivňuje výkon, bezpečnost a pracovní pohodlí. Podle výzkumů lidé dávají přednost žárovkám před zářivkami a výbojky. Pro měření přirozeného osvětlení se používají fotometry (luxmetry). Umělé osvětlení je určené normou. Obě osvětlení se měří zvlášť, přičemž umělé osvětlení se měří večer anebo v noci. Měření se provádí na více místech a následně se vypočítá průměr, který musí odpovídat normám pro průměrné osvětlení [1].

Optimální výška a poloha stolu, židle nebo monitoru v kombinaci s ergonomickými pomůckami, respektive nábytkem, podporuje správné držení těla. Optimální výška se nastavuje individuálně podle proporcí daného pracovníka tedy přesněji podle výšky zaměstnance. Židle by měla být v ideálním případě nastavitelná ve všech možných polohách jako je například nastavení opěrek hlavy, rukou či celková výška. Při práci v kanceláři s počítačem lze práci usnadnit nastavitelným monitorem, ergonomickou myší nebo například nastavitelným stolem.

Tyto zásady a ještě mnoho dalších napomáhají k pracovní pohodě a větší efektivitě zaměstnanců.

1.3.1 Antropometrie

Antropometrie je vědecký obor zabývající se měřením lidského těla a využíváním těchto informací. Pracoviště jsou navrhována podle antropometrických rozměrů zaměstnanců. Pracoviště se navrhuje, aby odpovídalo přidělenému pracovníku nebo pro výškové rozpětí 90% populace v rozmezí 5% do 95%. 5. percentil znamená, že pouze 5% populace má menší rozměry a naopak 95. percentil ukazuje, že pouze 5% populace je vyšší než zbytek populace. Pro zbytek populace, kteří se nevejdou do této škály se uplatňují zvláštní opatření. K měření se musí v realitě přičítat například boty, které zvyšují výšku daného pracovníka [5].

Nakonfigurovat pracoviště pro jednoho konkrétního zaměstnance není jednoduché i z toho důvodu, pokud firma praktikuje v podniku vícesměnné provozy. Proto se většinou pracoviště nastavuje pro takzvaně „průměrného“ zaměstnance, tedy aby odpovídalo 50. percentilu. Pro pracovníky jiných rozměrů slouží nastavitelné předměty a nábytek tak, aby se nemuseli k práci sklánět nebo naopak natahovat. Průměrný zaměstnanec má také průměrnou váhu a určenou další délku částí těla. Problém nastává ale v okamžiku, kdy přijde sice stejně vysoký jedinec, ovšem jeho další části těla už s velkou pravděpodobností nebudou splňovat průměrné proporce. V tabulce 1-1 lze vidět hodnoty pro Českou republiku. Průměrná výška britského muže je 174 cm, amerického 175,5 [6].

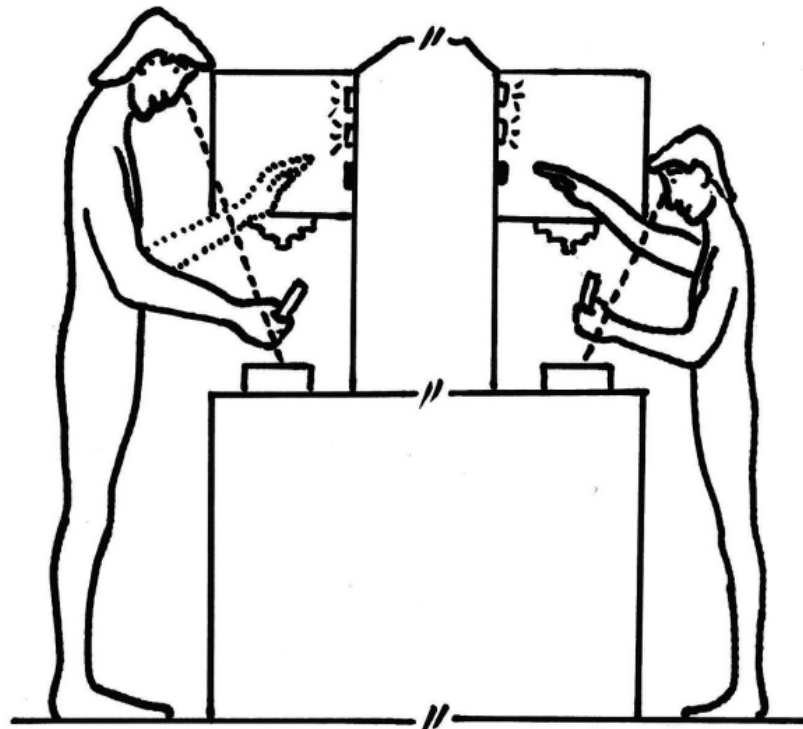
	5. percentil	50. percentil	95. percentil
Muži (cm)	170	181,2	194,5
Ženy (cm)	156,4	165,8	177,0
Váha muži (kg)	65,0	84,5	111,1
Váha ženy (kg)	52,0	65,5	90,1

Tabulka 1-1: Výšky mužů a žen v České republice [7]

Po definování prostorových požadavků následuje fáze návrhu, která zahrnuje vytvoření prototypu pracoviště. Inženýr by měl vytvořit maketu pracovního prostoru z cenově dostupných materiálů. V této fázi nemusejí být veškeré ovládací prvky a displeje, které budou součástí pracoviště, funkční. Různě velcí lidé by měli v maketě stát nebo sedět a simulovat pohyby spojené s pracovními činnostmi. Konstrukteři by měli posoudit, zda je možné činnosti provádět pohodlně, zda uživatelé dosáhnou na ovládací prvky nebo nástroje, a další aspekty. V případě, že jde o pracovní prostor s environmentálním modulem, například pro řidiče motorového vozidla, by měli konstrukteři zhodnotit, zda je možné rychle a pohodlně vstoupit a vystoupit, a zda je k dispozici dostatečně volný prostor pro hlavu. Různé části systému mají tendenci ovlivňovat jedna druhou. Po určení vhodného místa pro obsluhu vznikají další otázky: Lze ovládací a zobrazovací panely pohodlně umístit? Je nutné, aby obsluha sahala přes jeden ovládací prvek, aby mohla dosáhnout na jiný? Existuje pravděpodobnost náhodné aktivace některého z ovládacích prvků? Jsou displeje dostatečně velké vzhledem k pozorovací vzdálenosti? V případě, že se předpokládá pohyb systému v prostoru a čase, by bylo užitečné využít figuríny namísto skutečných osob k testování některých aspektů celistvosti systému [5].

Ergonomický design pracovišť představuje vytvoření pracovního prostředí, které podporuje zdraví, efektivitu a bezpečnost, minimalizuje únavu a tím zvyšuje produktivitu práce. Při navrhování pracovišť s ohledem na ekonomickou efektivitu obvykle nemůžeme zohlednit

pouze nejvyšší nebo nejnižší postavu pracovníka. Obrázek 1-4 zobrazuje problém dvou pracovníků extrémního vzrůstu. První pracovník, který je vyšší, má omezený výhled na pracovní místo a jeho postavení, protože zařízení blokuje jeho pohled, a navíc je samotné pracovní místo pro něj umístěno nízko. Naopak druhý pracovník, který je nižší, má sice dobrý výhled na pracovní prostor, ale pracovní místo je pro něj příliš vysoko na to, aby dosáhl k ovládacím spínačům a musí se výrazně natáhnout. Jasným řešením pro menšího pracovníka by mohlo být umístění podložky pro zvýšení postavení, což by vylepšilo jeho manipulační schopnosti v pracovním prostoru a umožnilo mu snadnější dosažení ovládacích prvků. Většího pracovníka je možné "zmenšit" poskytnutím nastavitelné židle, na které může sedět při práci. Pokud by oba pracovníci téhož typu používali jedno zařízení, nastavitelná židle by mohla efektivně řešit potřeby obou. Pro vysokého pracovníka by bylo ještě nutné zohlednit prostor pro nohy. Není možné, aby seděl u zařízení s roztaženými stehny, zatímco u nižšího pracovníka by bylo třeba uvažovat o podložení nohou. Je nepraktické, aby seděli nesprávně nebo nestabilně jako malé děti [6].



Obrázek 1-4: Rozměrové dispozice dvou různých pracovníků [6]

1.3.2 Pracovní prostor

Pracovní prostor lze rozdělit na zorný a pohybový prostor. Pohybový prostor je prostor ve kterém lze provádět pracovní aktivity. Pohybové prostory se dělí na manipulační a pedipulační. Manipulační prostor je určen k ruční manipulaci, zatímco pedipulační prostor slouží pro nožní manipulaci. Pracovní rovina, také zvaná manipulační, je rovina proložená místem, ke které lze vztáhnout nejčastěji vykonávané ruční pohyby a v které se provádí většina práce. Poloha se určuje pomocí svislé výšky od podlahy. Obecně lze říci, že pro téměř každý úkon je možné určit manipulační rovinu a pro každou činnost je dosažitelné určení její optimální výšky [1; 7].

Podle Chundelí (2015) se manipulační prostor dělí na:

- Optimální – dosah předloktí,
- Normální – dosah středu natažené paže,
- Funkční – dosah konce prstů natažené paže,

- Maximální – dosah prstů s mírným náklonem max. do 15 stupňů.

Optimální manipulační prostor je oblast, která je omezena dosahem našeho předloktí. V tomto prostoru provádíme časté pohyby s velkou přesností, rychlostí a silou, aniž bychom se unavovali. Je to místo, kam často umísťujeme předměty, které často používáme. Normální manipulační prostor je oblast, která je omezena dosahem středu naší dlaně, kdy máme paži nataženou. V tomto prostoru umísťujeme málo používané a těžší předměty. Práce s předměty a nástroji zde probíhá plynule, aniž by bylo nutné měnit základní pracovní polohu. Funkční manipulační prostor je oblast, která je omezena dosahem konce prstů natažené paže. Maximální manipulační prostor je oblast, která je omezena dosahem konečků prstů natažené paže s mírným náklonem těla do 15°. Do funkčních a maximálních manipulačních prostor umísťujeme předměty, které vyžadují zvýšenou pozornost z hlediska zdravotního poškození a bezpečnosti [7].

Pedipulační prostor při práci vsedě by měl být dostatečně prostorný, aby umožňoval volný pohyb dolních končetin. To zahrnuje správnou výšku, šířku a hloubku tohoto prostoru. U mnoha řad strojů a pracovišť je tento prostor řešen nesprávně. Z tohoto důvodu jsou často zaměstnanci nuceni zaujmout v sedě nepohodlnou a nevhodnou pozici jako jsou například roztažené nohy, nohy bokem atp. Tyto nevhodné pracovní polohy mohou za statické zatížení těla a páteře. V tabulce níže (Tabulka 1-2) lze nalézt minimální a optimální hodnoty pro jednotlivé rozměry, které by měly být vhodné pro osoby s výškou až 181 centimetrů [1; 7].

Pedipulační prostor	Muži i ženy (cm)
Minimální výška nad podlahou	60
Optimální výška nad podlahou	65-75
Minimální šířka	50
Optimální šířka	100
Minimální hloubka (od hrany stolu)	50
Optimální hloubka	70

Tabulka 1-2: Pedipulační prostor [7]

Přes 80% informací vnímáme pomocí zraku. Zorný prostor závisí na 3 hlavních podmínkách jimiž jsou zorná vzdálenost, osa pohledu a zorné pole. Zorná vzdálenost je prostor mezi detailem, který pozorujeme a okem pozorovatele. Optimální vzdálenost pro pozorování závisí na rozměru kritického detailu, který potřebujeme rozpoznat, a na kvalitě našeho zraku. Kritický detail představuje nejmenší rozměr, který musíme přesně rozpoznat, abychom mohli správně interpretovat čtenou informaci. Osa pohledu představuje polopřímku, která vychází z oka v přirozené poloze hlavy a oční bulvy. Tvoří s horizontální linií úhel, který se nazývá α . Tento úhel se mění v závislosti na pozici krční páteře, a proto je odlišný při stání a vsedě. Z pohledu fyziologie je zorné pole oblast, kterou můžeme pozorovat, aniž bychom museli pohybovat očima. Z pohledu ergonomie definujeme zorné pole jako oblast, ve které lze provádět náročné zrakové práce [1].

1.3.3 Ergonomie dle české legislativy

Ergonomie regulovaná českou legislativou zahrnuje vyhlášky, nařízení vlády a zákony. Mezi hlavní patří:

- Vyhláška č. 432/2003 Sb. - stanovuje podmínky pro zařazování prací do kategorií,
- Nařízení vlády č. 361/2007 Sb. - stanovuje podmínky ochrany zdraví při práci,
- Nařízení vlády č. 272/2011 Sb. - o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací,

- Zákon č. 309/2006 Sb. - zákon o zajištění dalších podmínek bezpečnosti a ochrany zdraví při práci,
- Zákon č. 258/2000 Sb. - o ochraně veřejného zdraví.

Vyhláška č. 432/2003 Sb. stanovuje podmínky pro kategorizaci prací, stanoví limitní hodnoty ukazatelů biologických expozičních testů, specifikuje podmínky pro odběr biologického materiálu pro biologické expoziční testy a stanoví požadavky na hlášení prací, které zahrnují azbest a biologické činitele. Tato vyhláška implementuje směrnice Evropské unie a stanovuje kritéria, faktory a limity pro kategorizaci prací, limitní hodnoty ukazatelů biologických expozičních testů, podmínky odběru biologického materiálu pro biologické expoziční testy a náležitosti hlášení prací s azbestem a biologickými činiteli. Směřuje k pracím, které mohou ovlivnit zdraví zaměstnanců. Příloha č. 1 upravuje kritéria, faktory a limity pro kategorizaci prací, což vyjadřuje celkové zhodnocení zátěže podle klíčových faktorů z hlediska zdraví a kvality pracovních podmínek. Kategorizace prací se provádí s ohledem na faktory rozhodující v dané směně. Jako rozhodující faktory se považují ty, které mohou v souladu s aktuálním vědeckým poznáním ovlivňovat nebo ovlivňují zdraví v dané práci. Příloha č. 2 stanoví limitní hodnoty biologických expozičních testů a podmínky pro odběr biologického materiálu k provedení těchto testů. Vyhláška č. 432/2003 Sb. byla vydána Ministerstvem zdravotnictví a je platná od 1. ledna 2004 [8].

Nařízení vlády ze dne 12. prosince 2007 stanovuje podmínky pro ochranu zdraví během pracovní činnosti. Toto nařízení vychází z ustanovení § 21 písm. a) zákona č. 309/2006 Sb., který reguluje další požadavky na bezpečnost a ochranu zdraví při práci v pracovněprávních vztazích, a také týkající se zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při činnostech nebo poskytování služeb mimo pracovněprávní vztahy (tzv. zákon o zajištění dalších podmínek bezpečnosti a ochrany zdraví při práci). Cílem tohoto nařízení je též implementovat ustanovení zákona č. 262/2006 Sb., zákoník práce, v aktuálním znění [9].

Nařízení vlády č. 272/2011 Sb. ze dne 24.8.2011 nařizuje: „*podle § 108 odst. 3 zákona č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů, k provedení § 30, 32 a § 34 odst. 1 tohoto zákona, ve znění pozdějších předpisů, a podle § 21 písm. a) zákona č. 309/2006 Sb., kterým se upravují další požadavky bezpečnosti a ochrany zdraví při práci v pracovněprávních vztazích a o zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při činnosti nebo poskytování služeb mimo pracovněprávní vztahy (zákon o zajištění dalších podmínek bezpečnosti a ochrany zdraví při práci), k provedení § 7 odst. 7 tohoto zákona.*“ Toto nařízení začleňuje příslušné normy Evropské unie týkající se hygienických limitů hluku a vibrací na pracovištích, metod měření a hodnocení těchto hluků a vibrací, a stanovuje minimální opatření k ochraně zdraví zaměstnanců. Dále specifikuje hygienické limity pro hluk v chráněných venkovních prostorech, chráněných venkovních prostorech staveb a chráněných vnitřních prostorech staveb, a rovněž hygienické limity pro vibrace v chráněných vnitřních prostorech staveb. Nařízení též stanovuje postupy pro měření a hodnocení hluku a vibrací během denní a noční doby [10].

Zákon č. 309/2006 Sb. určuje další normy pro zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při práci v rámci pracovněprávních vztahů, a také pro zabezpečení bezpečnosti a ochrany zdraví při činnostech nebo poskytování služeb mimo rámec pracovněprávních vztahů. Tento zákon se zabývá stanovením dodatečných podmínek pro zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při pracovních činnostech a současně pokrývá i oblast služeb mimo běžné pracovní vztahy [11].

Zákon č. 258/2000 Sb. vycházející z příslušných norem Evropské unie, reguluje několik klíčových oblastí v souladu s přímými evropskými předpisy. Stanovuje práva a povinnosti fyzických i právnických osob v oblasti ochrany a podpory veřejného zdraví. Tím se zavazuje k implementaci opatření sloužících zajištění zdraví občanů a podpoře veřejného zdraví na úrovni

odpovídající evropským standardům. Rovněž definuje systém orgánů odpovědných za ochranu veřejného zdraví, specifikuje jejich pravomoci a působnost, a tím zajistí efektivní správu a dohled nad opatřeními na podporu zdraví veřejnosti. Určuje úkoly dalších orgánů veřejné správy v oblasti ochrany a podpory veřejného zdraví a rovněž se věnuje hodnocení a snižování hluku s ohledem na dlouhodobé průměrné hodnoty hlukové zátěže v životním prostředí. Tímto přispívá k udržitelnému rozvoji a ochraně kvality života [12].

1.3.4 RULA

RULA představuje metodu pro hodnocení rizika poškození horních končetin, avšak její aplikační rozsah zahrnuje nejen posuzování poloh horních končetin (paže, předloktí, zápěstí), ale též poloh krku, trupu a nohou. Každá část těla je charakterizována v tzv. základní poloze (flexe, extenze) s cílem stanovit tzv. základní skóre. Kromě toho jsou prezentovány popisy poloh pro získání doplňkových bodů, označovaných jako proměnné skóre, a maximální možné dosažené skóre pro každou část těla. Hodnocení zahrnuje také skóre silové zátěže, které reflektuje sílu a zátěž spojenou s prací, a skóre pro svaly, které zohledňuje především vliv statických poloh při práci. Celkové hodnocení je pak výsledkem odečítání hodnot celkového skóre, které zahrnuje všechny parametry uspořádané do tří tabulek – A, B a C. Na obrázku 1-5 a 1-6 jsou vidět polohy těla i tabulky, normálně se jedná o jeden papír, který zde kvůli čitelnosti byl rozdělen na dvě části. Skóre pro polohu horní končetiny (zápěstí, paže, předloktí) je uvedeno v tabulce A, zatímco skóre pro postavení krku, trupu a nohou je prezentováno v tabulce B. Skóre C je definováno jako součet skóre z tabulky A, skóre svalové, skóre silové a odečet zátěže. Na podobném principu je vytvořeno skóre D, které kombinuje skóre z tabulky B, skóre svalové, skóre silové a odečítá se zátěž. Celkové skóre je poté vypočítáno jako součet skóre C a skóre D, tím vznikne tabulka C [13].

RULA Employee Assessment Worksheet

Task Name:

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

Step 2: Locate Lower Arm Position:

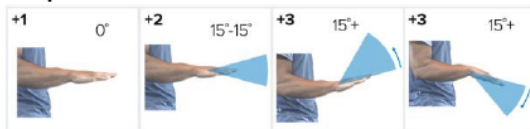


Lower Arm Score

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

Wrist Twist Score

Wrist Score

Step 5: Look-up Posture Score in Table A:

Using values from steps 1-4 above, locate score in Table A

Posture Score A

Step 6: Add Muscle Use Score

If posture mainly static (i.e. held > 1 minute),

Or if action repeated occurs 4X per minute: +1

Muscle Use Score

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

Force / Load Score

Step 8: Find Row in Table C

Add values from steps 5-7 to obtain

Wrist and Arm Score. Find row in Table C.

Wrist & Arm Score

Scores

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

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

RULA Score

Obrázek 1-5: Skóre a polohy pro výpočet RULA A [14]

Task Name:

Date:

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

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

RULA Score

B. Neck, Trunk and Leg Analysis

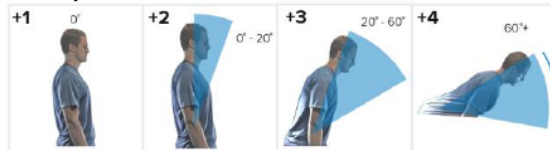
Step 9: Locate Neck Position:



Neck Score

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

Step 10: Locate Trunk Position:



Trunk Score

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

Leg Score

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

Step 12: Look-up Posture Score in Table B:

Using values from steps 9-11 above, locate score in Table B

Posture B Score

Step 13: Add Muscle Use Score

If posture mainly static (i.e. held >1 minute), Or if action repeated occurs 4X per minute: +1

Muscle Use Score

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

Force / Load Score

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.

Neck, Trunk, Leg Score

Obrázek 1-6: Skóre a polohy pro výpočet RULA B [14]

Hodnotitel by měl připravit hodnocení prostřednictvím rozhovoru s pracovníkem a sledováním jeho pohybů a držení těla během pracovních cyklů. Výběr hodnocených pozic by měl vycházet z identifikovaných obtížných úkolů, které jsou zjištěny během rozhovoru a počátečního pozorování. Dále by měl zahrnovat pozice, ve kterých je udržováno držení těla po delší dobu, a pozice, kde dochází k nejvyššímu fyzickému zatížení. RULA lze rychle aplikovat, což umožňuje hodnocení více pozic a úkolů v rámci pracovního cyklu bez značného úsilí a vynaloženého času. Při použití RULA je vždy hodnocena pouze jedna strana, buď pravá nebo levá. Po provedení rozhovoru a pozorování pracovníka může hodnotitel rozhodnout, zda by měla být hodnocena pouze jedna ruka, nebo zda je třeba provést hodnocení obou stran.

Výsledkem hodnotícího nástroje RULA je konečné RULA skóre, což je jediný ukazatel, který vyjadřuje úroveň rizika vzniku muskuloskeletálních poruch při hodnoceném pracovním úkolu. Minimální hodnota RULA skóre je 1, zatímco maximální hodnota dosahuje 7. V tabulce níže jsou prezentovány úrovně RULA popisující rizika spojená s muskuloskeletálními poruchami a odpovídající hraniční hodnoty [14].

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

Tabulka 1-3: Vyhodnocení RULA [14]

2 VR technologie a Motion capture

Virtuální realita, zkráceně VR, dává příležitost zažít zážitky, které by byly jinak v reálném světě nedostupné. Tyto činnosti mohou být v reálném světě omezeny časem, místem, penězi, nebezpečím. Díky virtuální realitě je však možné tato omezení odstranit. Lze tedy z pohodlí domova navštívit exotické země, projet se ve Ferrari, vylézt na skály či mluvit s lidmi, kteří již nežijí. Toto všechno a mnohem více umožňuje virtuální svět s virtuální realitou. Virtuální realita má široké uplatnění, od zábavy a her přes vzdělání a školení až po simulační aplikace v různých odvětvích. Hlavní komponentou virtuální reality jsou headsety nebo brýle, které umožňují zcela se ponořit do virtuálního prostoru. Tyto brýle či headsety obvykle obsahují display, který zobrazuje virtuální svět, a senzory, které sledují pohyb uživatele a přenášejí ho do virtuálního prostoru. Pokud uživatel zvolí VR headset, může vidět a manipulovat s virtuálním prostředím [15].

Virtuální technologie jsou nyní využívány ve školství, medicíně, firmách nebo hrách. V této moderní době se ve školství začínají dělat velké změny. Děti jsou připravovány na moderní technologie již na základních školách. Oproti minulosti, kdy školáci při hodinách informatiky získávali znalosti maximálně programů Word, Excel či PowerPoint, se jim nyní dostává možnosti porozumět programování, vytisknout si předměty na 3D tisku a vyzkoušet si formou hry různé předměty ve virtuální realitě. Na středních a vysokých školách nebudou mít v budoucnosti studenti problém těmto technologiím porozumět. V medicíně se může virtuální realita využívat k léčení závislostí, depresí a dalších různých nemocí. Lidé, kteří ochrnuli, či se zotavují po úrazu končetin se mohou ve VR opět pohybovat, a to napomáhá jejich psychice a zdraví. Firmy hojně využívají tuto technologii ke školení svých zaměstnanců, jelikož ve virtuálním prostředí nemůže zaměstnanec nic poškodit. V herním průmyslu se v poslední době rozrostlo využívání VR headsetů. Ty hráčům dávají možnost plně se ponořit do herního prožitku, díky realistickému zážitku.

Motion capture, také známý jako mo-cap, je technologie, která slouží k zachytávání pohybů lidí nebo předmětů. Tento pohyb je pečlivě zaznamenán pomocí speciálního zařízení, a následně jsou tato data přenesena do počítačového programu. Tento program umožňuje vytvořit pohyby, které vypadají velmi realisticky a přirozeně. Zachyceny jsou pouze pohyby nikoli skutečná podoba, proto jsou následně data přeměněna na 3D modely, které pak provádějí akce které byly zachyceny. Snímání pohybu lze využít v mnoha odvětvích. Mezi ně patří:

- Filmové odvětví – často používá pro vytváření realistických CGI postav, monster a akčních scén, což přispívá k vizuální kvalitě a autenticitě filmů,
- Videoherní odvětví – napomáhá herním vývojářům vytvářet velkou knihovnu pohybů do svých her a aplikací,
- Vojenství – V kombinaci s virtuální realitou (VR) může snímání pohybu zlepšit trénink,
- Ergonomii – snadno umožňuje posoudit zatížení zaměstnanců a posoudit různé dosahy na pracovišti,
- Zdravotnictví – používá k diagnostice zranění a pomáhá při rehabilitaci [16].

Pro první experiment v této práci je zvolena kombinace headsetu VIVE Pro od společnosti HTC, společně s VIVE Trackery. Tato volba se vyznačuje výrazně nižšími náklady ve srovnání s alternativním řešením, které zahrnuje brýle od společnosti Meta, konkrétně Oculus Quest 2, a spolupracuje s mo-capem od společnosti Noitom. V první variantě je nutné použít minimálně 6 trackerů, což umožňuje programu Process Simulate automaticky identifikovat, že se jedná o efektivní náhradu plnohodnotného Motion Capture obleku.

2.1 Noitom

Společnost Noitom, celým názvem Noitom Limited byla založena v roce 2012. Ve spolupráci se specializovaným týmem vizionářských inženýrů a vědců se snaží změnit vzorec snímání pohybů. Jejich výzkum se zaměřuje na snímání lidského těla, jeho pohybů a vztah s prostředím. Svůj název nemá společnost jen tak. Noitom je totiž pozpátku motion, tedy v překladu pohyb. Firma tím chce naznačit svoji oddanost snímání pohybu. Společnost Noitom se zavázala k tomu, že promění sledování pohybu v univerzální technologii. Díky své schopnosti vytvářet inovativní, cenově dostupné produkty, má potenciál přinést sledování pohybu nejen do světa filmu, her a animace, ale také rozšířit svou univerzální technologii do oblastí vzdělávání, medicíny a vědy. Mezinárodní tým vývojářů, programátorů a inženýrů ve společnosti Noitom se dokáže ponořit do komplexního světa sensorových technologií a vytvářet systémy, které dokáží zachytit potřebnou úroveň detailu a pohybů těla pro projekty různých rozsahů, od těch velkých až po ty menší. Noitom rovněž rozšiřuje svůj vliv na oblast vzdělávání, což umožňuje studentům a akademickým institucím z celého světa snadněji přístup k jejich technologii [17].

Perception Neuron 3 (PN3) je nejmenší mo-cap na trhu. Firma Noitom, celým názvem Noitom International Inc, nabízí ke svému Motion capture snímání, bezplatný přístup do softwaru Axis Studio. Posláním firmy je mo-cap pro všechny. Proto je PN3 cenově dostupný a malý. Snadno s ním pořídíte i data na cestách s pouzdem EVA. Na obrázku 2-1, lze vidět Perception Neuron 3 Body Kit, který se prodává za 90 301 Kč. V kufříku se nachází 18 senzorů pro snímání pohybu, nástavce, do kterých se vkládají senzory, USB flash disk pro přenos dat, nabíjecí stanici, pásky pro umístění senzorů na tělo a pár rukavic [18].



Includes:



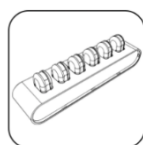
(18) PN3 Sensors



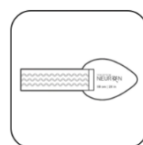
(18) PN3 Sensor Socket Attachments



(1) USB-C Transceiver



(3) Charging Docks



(1) Set of Base Body Straps



(1) Pair of Medium Base Gloves

Obrázek 2-1: Perception Neuron 3 Body Kit [18]

2.2 Oculus Quest 2

Oculus Quest 2 je druhá generace headsetu od společnosti Meta, dříve Facebook, který se na český trh dostal v srpnu roku 2021 a nyní se dají pořídit již od 8 569 Kč. Nyní se na českém trhu nachází i jeho novější verze Quest 3. Ten je na našem trhu dostupný od října roku 2023. Oproti první generaci Meta vsadila na cenu na úkor exkluzivity. Veškeré nadbytečné věci Oculus u druhé generace vyrobil z nepříliš drahých materiálů, například hrubě texturovanou látku nahradil obyčejný plast. Tím firma docílila softwarově a hardwarově lepší verze za podobnou cenu první generace. Velké zhoršení je však v nastavitelnosti čoček. Zatímco u první generace bylo posuvné kolečko zespoda headsetu, u druhé generace se přímo posouvá čočkami uvnitř brýlí. Toto řešení je velmi špatné. Na obrázku 2-2 jsou v levé části vidět Oculus Quest 1 v černé barvě a v pravé části Oculus Quest 2 v bílé barvě. V tabulce 2-1 lze porovnat parametry obou headsetů [19].



Obrázek 2-2: Oculus Quest 1 vs 2 [20]

Ovladače Quest 2 jsou ergonomičtější než původní Quest. Mají pohodlnější úchop, mírně širší rozestupy mezi hlavními tlačítky, opěrné místo pro palec a větší držadla. Tlačítka jsou snadněji použitelná a nový kryt baterie je pevnější a méně pravděpodobně sklouzne. Tyto změny jsou jemné ale pozitivní. Původní ovladače Quest byly také dobré, ale nové jsou zřetelným vylepšením. Na obrázku 2-3 lze vidět rozdíl mezi ovladači [21].



Obrázek 2-3: Ovladač pro Oculus 1 a 2 [21]

Category	Oculus Quest 2	Oculus Quest
Processor	Snapdragon XR2	Snapdragon 835
RAM	6GB	4GB
Display refresh rate	120Hz	72Hz
Pixels per eye	1,832x1,920	1,440x1,600
Hand controls	Two Touch Controllers	Two Touch Controllers
Storage	128GB or 256GB	64GB or 128GB
Oculus Guardian tracking	Yes	Yes
microSD slot	No	No
USB-C storage support	Yes	Yes
Wi-Fi support	Wi-Fi 5 and 6	Wi-Fi 5
Weight	503g	571g
Color	White	Black

Tabulka 2-1: Parametry Oculus 2 vs 1 [22]

Tabulka níže, tabulka 2-2, zobrazuje celkovou cenu první varianty, ve které je zahrnuta cena Perception Neuron 3 a Oculus Quest 2. Jejich celková cena je 98 870 Kč.

Název	Cena (Kč)
Perception Neuron 3 Body Kit	90 301
Oculus Quest 2	8 569
Celkem	98 870

Tabulka 2-2: Celková cena první varianty

2.3 HTC VIVE Pro a Tracker 3.0

Headset VIVE Pro od společnosti HTC se do prodeje v České republice dostal na přelomu roku 2022 a její cenovka se tehdy pohybovala okolo 25 000 Kč. Po vydání druhé generace, tedy VIVE Pro 2, přestala firma oficiálně prodávat starší headset VIVE Pro. Tato práce se dále bude zabývat první generací z důvodu pozdějšího využití v propojení na Process Simulate. Na jedno oko dodává rozlišení 1440 x 1600 pixelů. Používání headsetu je velice jednoduché. Jedním šroubem lze připevnit brýle tak, aby pevně seděly na hlavě. S ohledem na požadavky je možné přesně upravit ohnisko čoček a vzdálenost od očí. Tato možnost nastavení vzdálenosti je zejména užitečná pro lidi nosící brýle. Lidé nosící brýle tak nemusí kvůli zábavě při hraní investovat do drahých kontaktních čoček. Často slyšíme, že by HTC mělo inovovat design ovladačů, ale při srovnání s Valve Index a Oculus Rift S bylo zjištěno, že staré ovladače od VIVE sedí nejlépe. Navzdory tomu by nějaký upgrade mohl být vhodný, ideálně něco mezi Indexem a VIVE. Výběr je však na výrobcích. Můžete také použít ovladače od Indexu s VIVE, jsou vzájemně kompatibilní. Při pobytu ve virtuální realitě stačí stisknout stejné tlačítko, které slouží k zapnutí ovladačů a otevře se rozšířené nastavení. To poskytuje uživatelům možnost přizpůsobit si různá nastavení pro pohodlí. Procházením virtuálního menu můžete jednoduše nastavit hlasitost externích reproduktorů, aby nepřehlušovala sluchátka nebo naopak umožnit

ostatním slyšet vaši hru. Sluchátka mají překvapivě kvalitní zvuk a lze je vyměnit pomocí šroubováku, ačkoliv to obvykle není nezbytné. Možnost bezdrátového připojení nebo připojení přes USB-C je k dispozici a lze také použít redukci na Jack 3,5mm. I když je k dispozici možnost vyzkoušet si virtuální realitu na veřejně přístupných místech před zakoupením vlastního zařízení, existuje i nevýhoda spojená s hardwarovými nároky. Využívání dvou malých displejů s vysokým rozlišením (1440 x 1600 px každý) může být časově náročné a vyžadovat vysoký výkon pro zajištění ostrého a plynulého obrazu ve hrách. Na obrázku 2-4 je možné si prohlédnout VIVE Pro a v tabulce 2-3 jsou uvedeny klíčové parametry [23].



Obrázek 2-4: HTC VIVE Pro [24]

Typ:	Virtuální realita na počítač
Displej:	Dual AMOLED 3.5" diagonal
Rozlišení na jedno oko:	1440 x 1600 pixelů
Obnovovací frekvence:	90 Hz
Zorné pole:	FOV 98 stupňů
Připojení:	Kabel / bezdrátově
Hmotnost:	550g
Rozteč čoček (IPD):	61 až 72 mm

Tabulka 2-3: Parametry VIVE Pro [24]

Aby byl zážitek z virtuální reality skutečně úchvatný, je nezbytné integrovat různé funkce, které spolupracují harmonicky. Kromě VR headsetu a příslušného softwaru je nezbytné mít také adekvátní vybavení pro sledování pohybů a jejich převod do formy, kterou virtuální realitní program dokáže interpretovat. V tomto ohledu může být řešením HTC VIVE Tracker 3.0, jeden se prodává za 3 390 Kč. Tracker 3,0 obsahuje mnoho zajímavých vylepšení oproti původnímu sledovači pohybu představenému v roce 2017, nová verze slibuje vynikající výdrž baterie, lehký design a zlepšenou přenosnost. HTC VIVE Tracker 3,0, s pokročilou technologií v jádru,

dokáže precizně zachytit pohyby celého těla, což zajišťuje nejen výjimečnou realističnost, ale také zlepšuje texturu ve virtuálním prostoru. HTC VIVE Tracker 3.0 je kompatibilní s různými produkty, včetně řad VIVE Pro a Cosmos, umožňuje bezproblémové bezdrátové propojení mezi nástroji virtuální reality a příslušným softwarem. Navíc je možné k tomuto trackeru připojit i DSLR fotoaparát, což otevírá nové možnosti pro tvorbu zážitků. Jako významné zdokonalení předchozích verzí VIVE Tracker přináší verze 3.0 řadu inovativních funkcí, včetně sledování obličeje, což umožní vývojářům lépe využívat nuance výrazu obličeje při vytváření virtuálních prostředí. Sledování obličejových výrazů může do digitálního prostředí vnést lidský výraz, zatímco sledování celého těla zajistí, že pohyby lidí budou stejně přirozené jako v reálném světě. Tento nástroj bude zejména cenný pro vedoucí pracovníky, kteří chtějí vytvářet poutavé školicí příležitosti pro své týmy, nebo pro vývojáře zaměřující se na tvorbu virtuálních realitních zážitků. Herní společnosti rovněž nalézají mnoho příležitostí využití sledovací technologie od HTC k vytváření konkurenčních virtuálních světů. Na obrázku 2-5 lze vidět právě zmiňovaný Tracker 3.0 od společnosti HTC a následně v tabulce 2-4 lze vidět cenu headsetu a sledovačů pohybu, přičemž k sledování pohybů pomocí HTC je zapotřebí minimálně 6 Trackerů 3.0 [25].



Obrázek 2-5: HTC VIVE Tracker 3.0 [25]

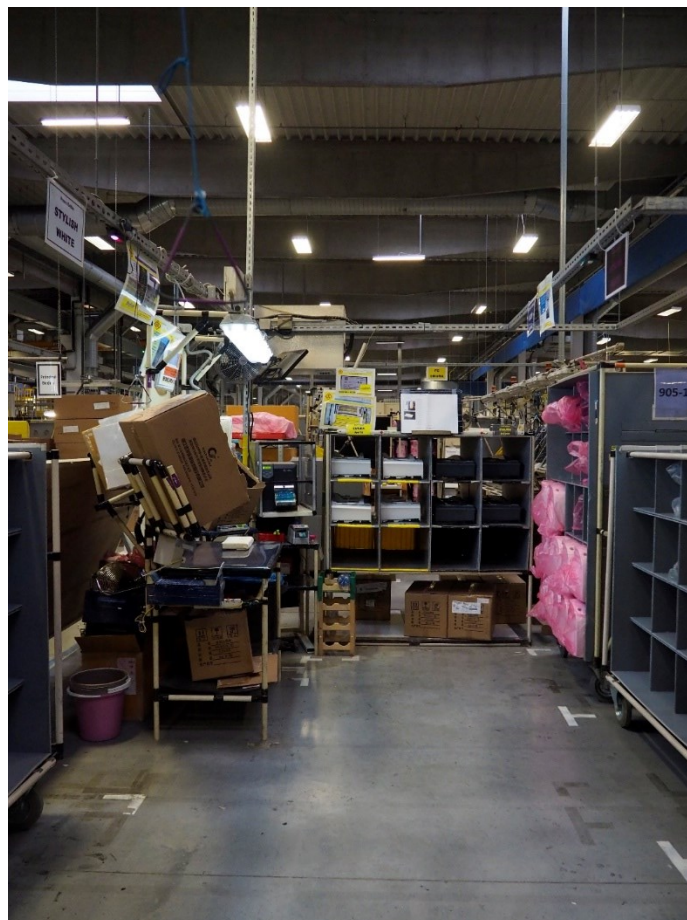
Název	Cena (Kč)
HTC VIVE Pro	25 000
HTC VIVE Tracker 3.0	3 390 (6 kusů: 20 340)
Celkem	45 340

Tabulka 2-4: Celková cena druhé varianty

3 Pracoviště

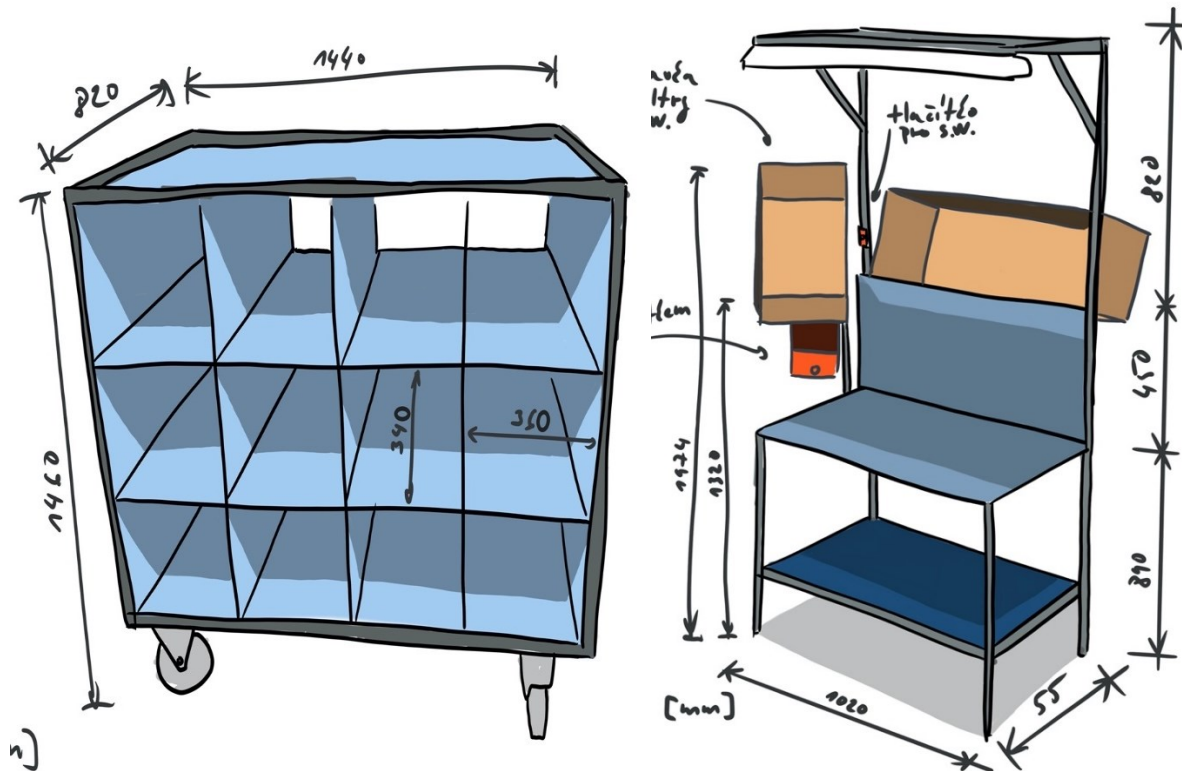
Jako pracoviště byl zvolen pracovní prostor ve firmě Daikin Industries Limited. Značka Daikin je mezi výrobci klimatizačních jednotek považována za jednu z nejprestižnějších. Její historie sahá až do roku 1924, kdy byla společnost založena v japonském městě Ósaka panem Akirem Yamadou. V roce 1973 pak bylo v belgickém Oostende zřízeno hlavní evropské sídlo DENV, které se specializuje na výrobu klimatizačních jednotek pro komerční a průmyslové využití. Toto místo slouží jako centrála a sklad, kam jsou přepravovány klimatizační jednotky vyrobené v plzeňské továrně DICz. Výrobní zařízení společnosti Daikin v Plzni, které se specializuje na výrobu klimatizačních jednotek pro domácnosti, bylo založeno v roce 2003. Skutečná výroba zde začala hned rok poté, tedy v roce 2004. Továrna v Plzni je úzce propojena s mateřskými společnostmi, a to jak japonskou firmou Daikin Industries Ltd., tak belgickou evropskou centrální pobočkou společnosti, jak finančně, tak technicky. Továrny společnosti Daikin se nyní nacházejí skoro po celém světě. Česká republika, a konkrétně město Plzeň, byly vybrány pro umístění výrobního závodu z důvodu své výhodné polohy poblíž hranic s Německem, efektivního propojení s dálniční sítí sloužící pro zásobování jižní Evropy, a rovněž díky dostupnosti kvalifikované pracovní síly v regionu. Zásadní roli sehrály i technické fakulty Západočeské univerzity, které poskytují potřebné know-how a potenciální mladé perspektivní zaměstnance pro tuto technickou oblast [26].

Na obrázku číslo 3-1 je představeno konkrétní pracoviště, které bude integrováno do programu Process Simulate. Toto pracoviště podstoupí následnou analýzu pomocí metody RULA.



Obrázek 3-1: Pracoviště

Na obrázku 3-2 je zobrazen náčrt přepravního boxu a pracovního stolu. Přepravní box má rozměry 1440mm na délku, 1460mm na výšku a 820mm na šířku. Jeho vnitřní box má rozměr 360x340mm. V pravé části nacházející se pracovní stůl je celkově vysoký 2160mm. Jeho délka je 1020mm a šířka je 55mm. Pracovní plocha se nachází 890mm vysoko. V levé bedně, která je 1320mm vzdálená od země se nachází filtry. V červené krabici hned pod nyní zmiňovanou krabicí se nachází nalepovací kódy. V krabici více vpravo se nachází další pomocný materiál, který ovšem není tak často využíván.



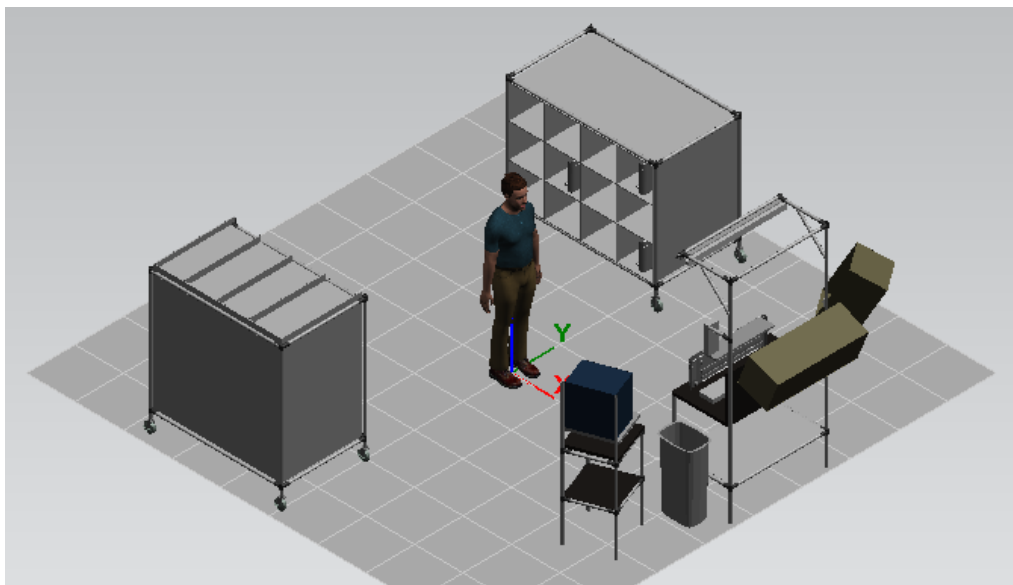
Obrázek 3-2: Náčrty

Pracovní postup zaměstnance na pracovišti zmíněném v této práci je následující. Pracovník přijde k přepravnímu vozíku, vyjme z něj a z fóliového obalu jednu krytku na klimatizaci, zatáhne za lanko, které je zavěšeno ze stropu, tím zaznamená vyndání jedné krytky a následně krytku postaví na pracovní stůl. Nyní musí zaměstnanec nalepit na krytku energetický štítek, ten se vytiskne po stisknutí tlačítka. Po energetickém štítku následuje vložení dvou filtrů do vnitřku klimatizace. Posledním krokem je nalepení kódu, který slouží k další manipulaci a historii krytky. Pak už jen stačí přemístit krytku do přepravního boxu, který se na rozdíl od prvního nachází na druhé straně pracoviště. Přepravní box je zobrazen na obrázku 3-3.



Obrázek 3-3: Převážný box

Na obrázku 3-4 lze vidět pracoviště ve virtuálním prostředí v Process Simulate. Oproti skutečnému pracovišti je zde pozmeněna pozice pracovního stolu. Důvodem této změny je zmenšení nutnosti pohybu ve skutečném prostředí.



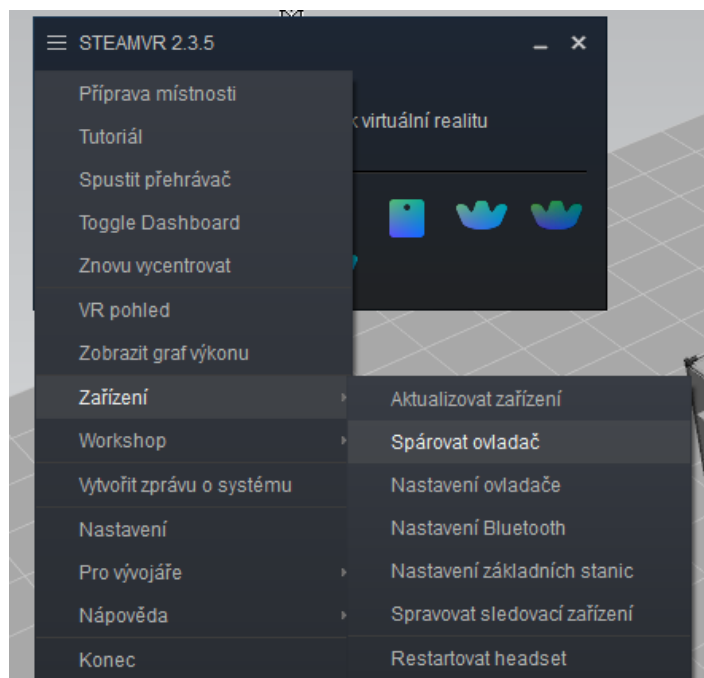
Obrázek 3-4: Pracoviště v Process Simulate

4 Napojení na Process Simulate

Napojení na Process Simulate, verze 2307, probíhalo v budově ZČU v místnosti UL 309. Tato místnost se nachází na fakultě strojní, a to konkrétně ve 3. patře této budovy. Jako první byla napojena na systém kombinace od společnosti HTC. Jak již bylo zmíněno jednalo se o brýle HTC VIVE Pro a Trackery 3.0. Trackery 3.0, které se připevňují na různé části těla a zajišťují sledování pohybů v reálném čase. Jako druhá varianta se napojila na Process Simulate kombinace brýlí Oculus Quest 2 a motion capture oblek od společnosti Noitom. Cílem práce je napojení obou variant na Process Simulate, následně porovnat hodnoty měření, finanční stránku variant a snadnost napojení. Sekundárním cílem je zkusit obě varianty najednou.

4.1 HTC VIVE Pro a Trackery 3.0

Před samostatným párováním HTC VIVE Pro a Trackerů 3.0 s Programem Process Simulate je nezbytné spárovat Trackery 3.0 s aplikací Steam VR. Toto propojení zobrazuje obrázek 4-1. V nastavení se klikne na Zařízení a následně na Spárovat ovladač.



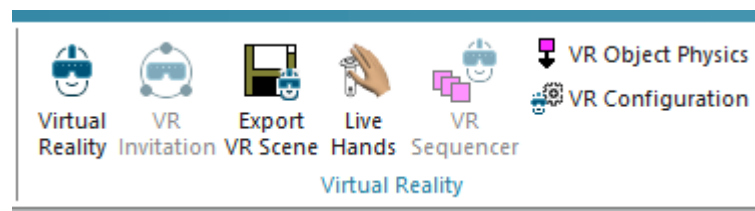
Obrázek 4-1: Spárování ovladačů

Dalším krokem je vybrat typ ovladače, který chceme spárovat. V našem případě volíme sledovací zařízení HTC VIVE. Další možnosti ovladačů jsou vidět na obrázku 4-2. Snímače pohybu blikají při párování zeleně a po párování svítí zeleně po celou dobu.



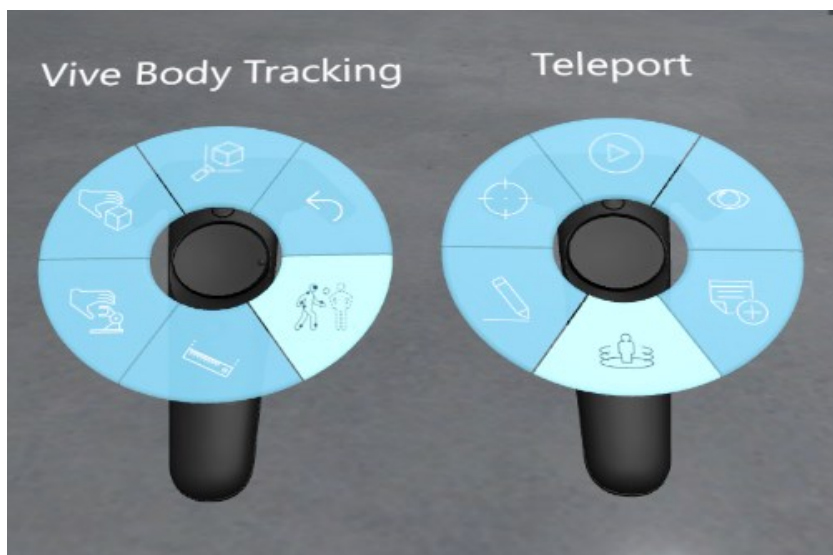
Obrázek 4-2: Typy ovladačů

Process Simulate nabízí propojení pomocí 6 senzorů, tedy 6 Trackerů 3.0 lépe řečeno. V záložce View se v pravém horním rohu klikne na tlačítko Virtual Reality, jak lze vidět na obrázku 4-3. Díky tomu se spustí virtuální projekce do headsetu.



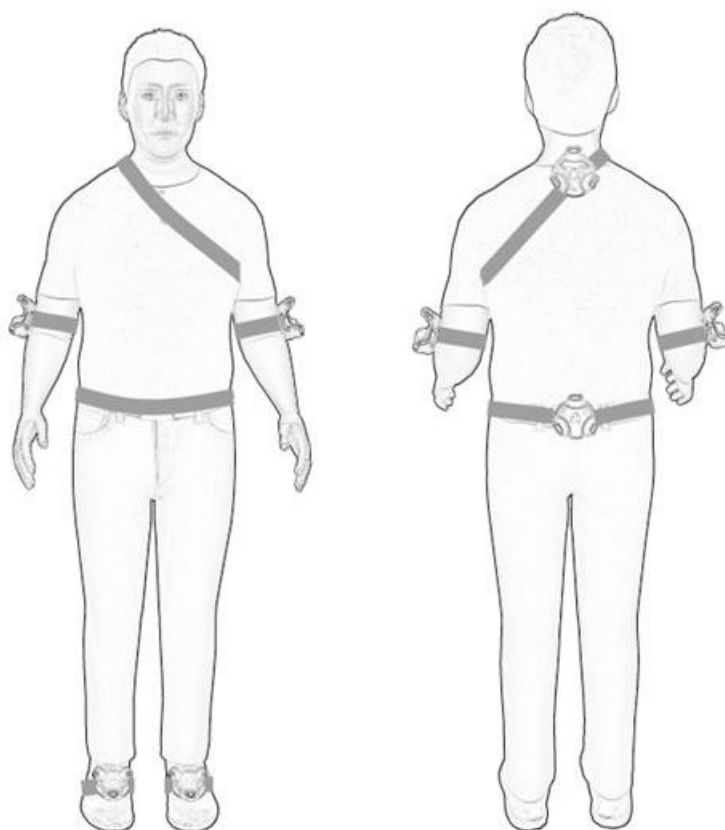
Obrázek 4-3: Zapínání virtuální reality

Aplikace zjistí zapnutí všech šesti senzorů a umožní spojení s virtuálním člověkem. Pokud by bylo zapnuto pouze 5 senzorů, nebylo by možné pokračovat. Symbol baterky se přemění na symbol dvou osob, přičemž jedna osoba je kráčející. Tuto změnu ze svítlny na dvě osoby ukazuje obrázek 4-4, na tomto obrázku je také vidět důležitá funkce teleport. Díky teleportu je možné se bez pohybu přenést na jakékoli volné místo.



Obrázek 4-4: Propojení s postavou a teleport

K propojení napomáhá aplikace Steam VR, ve které se zapíná headset joysticky a všech šest senzorů ke sledování pohybu. Po spárování byly umístěny Trackery na figuranta podle obrázku 4-5. Ke sledování pohybu slouží i headset, který je umístěn na hlavě a joysticky v obou rukách.



Obrázek 4-5: Upevnění HTC Trackerů [27]

Pomocí jednoho joysticku se po zapnutí aplikace Steam VR a Process Simulate lze propojit po stisknutí tlačítka Vive Body Tracking s danou virtuální postavou Jacka nebo Jill. Propojení proběhlo v pořádku. Figurant byl propojen s postavou Jacka. Sledované pohyby byly

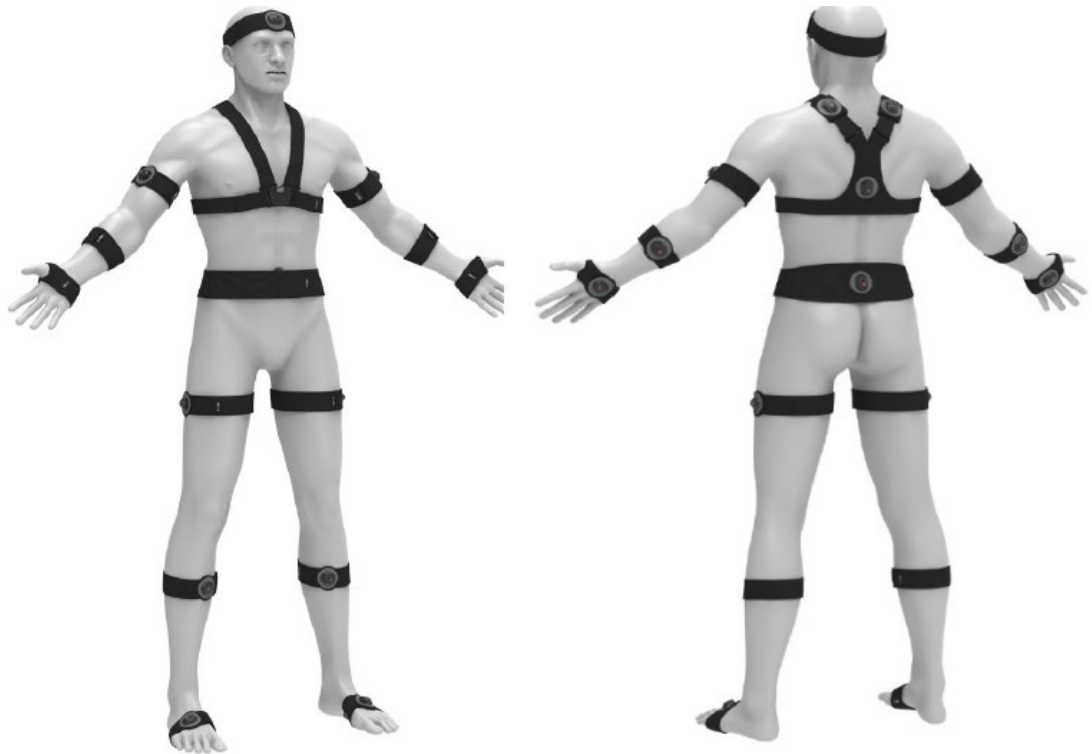
vcelku přenášené správně. Vyskytly se tři menší problémy s kalibrací postavy na figuranta. První problém byl s kalibrací pravé ruky, která při upažení postavy do T, lehce vybočovala v lokti. Druhý problém byl s rotací rukou. Pozice rukou povětšinu kalibrací neodpovídala rotaci rukou u skutečné postavy. Lépe řečeno skutečné ruce měly například dlaně otočené k tělu, zatímco virtuální ruce byly například namířeny dlaněmi dopředu. Po chvíli zkoušení, zda se pohyby shodují, bylo zjištěno, že postava sice hýbe nohama, ale zároveň zůstává stát na místě. Tato závada se objevila vždy po vystoupení figuranta z Jacka a opětovném propojení. Aplikace musela být vždy zavřena a opětovně spuštěna, aby se tento problém odstranil. Při tomto problému byla také zjištěna, ve virtuální realitě, nehybnost celé postavy. Když tedy skutečná osoba udělala pár kroků dopředu, viděla následně za sebou postavu Jacka, jen s tím rozdílem, že Jack byl bez hlavy. Třetí zjištěnou závadou v kalibraci pohybů bylo zjištění špatného přenosu při sednutí do dřepu či předklonění. V těchto případech špatně reagovaly senzory pro přenos pohybu nohou. V momentě, kdy se daný subjekt začal předklánět, virtuální postava začala i s předklonem předsouvat i obě končetiny. V případě podřepu se virtuální postava přizvedla. Skutečné umístění senzorů zobrazuje obrázek 4-6. Na obrázku níže jsou vidět 4 senzory, které jsou umístěny na těle a 2 na nohou.



Obrázek 4-6: Skutečné upevnění HTC Trackerů

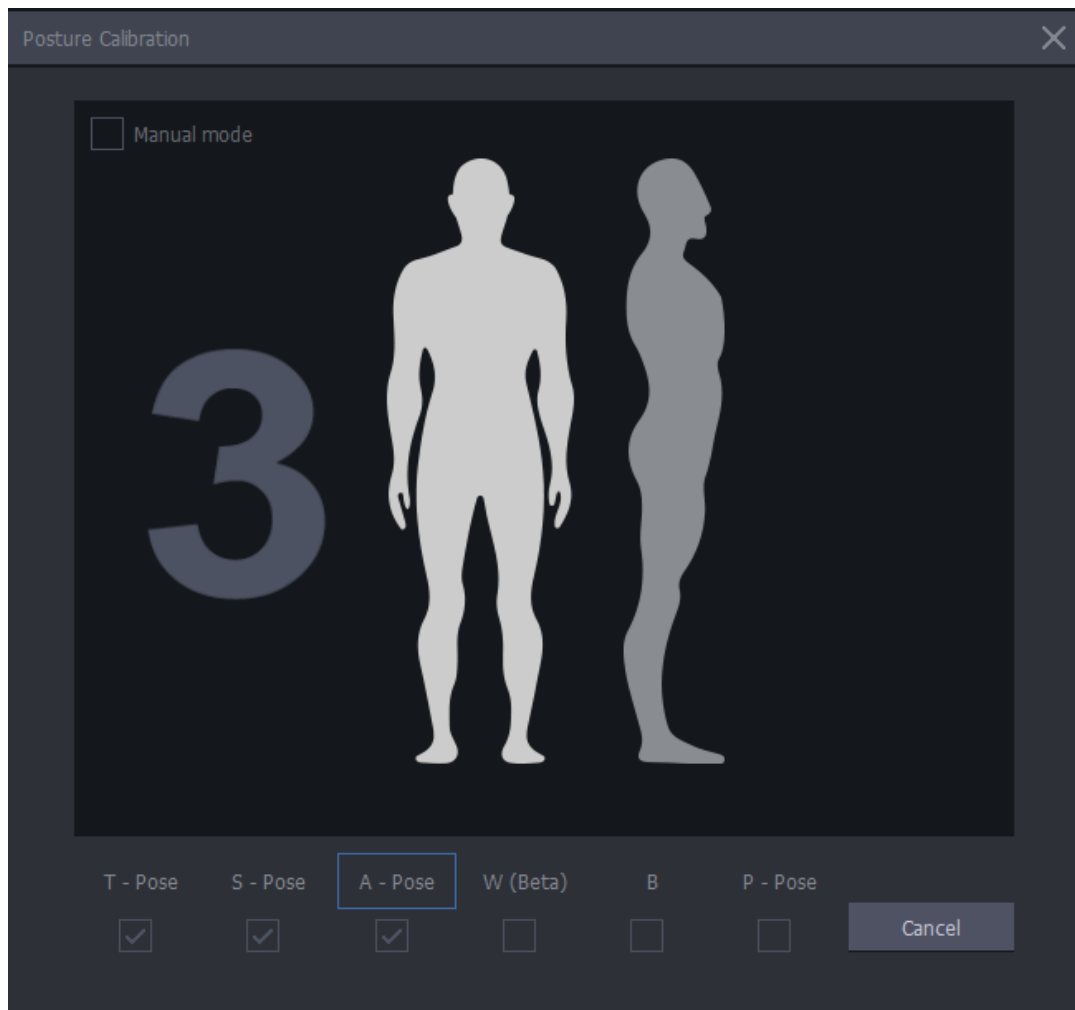
4.2 Noitom a Oculus Quest 2

Druhou variantou sledování pohybu je motion capture oblek od společnosti Noitom, konkrétně jde o oblek Perception Neuron 3. Díky malému flash disku, který v sobě skrývá licenci, je možné ihned po nainstalování Axis studia začít s prací v této aplikaci. Nejprve bylo nutné nasadit figurantovi všech 17 senzorů. V krabici se nachází dohromady 18 senzorů, jeden z nich ovšem slouží pouze jako náhradní v případě závady na jednom z hlavních 17 senzorů. Každý senzor má na sobě nakreslenou pozici a stranu na kterou patří. Je tedy nutné, každý senzor dát na přesně dané místo na těle, stejně jak je vidět na obrázku 4-7. Sensory se na pásky vloží a pootočením senzorů o 90° se upevní.



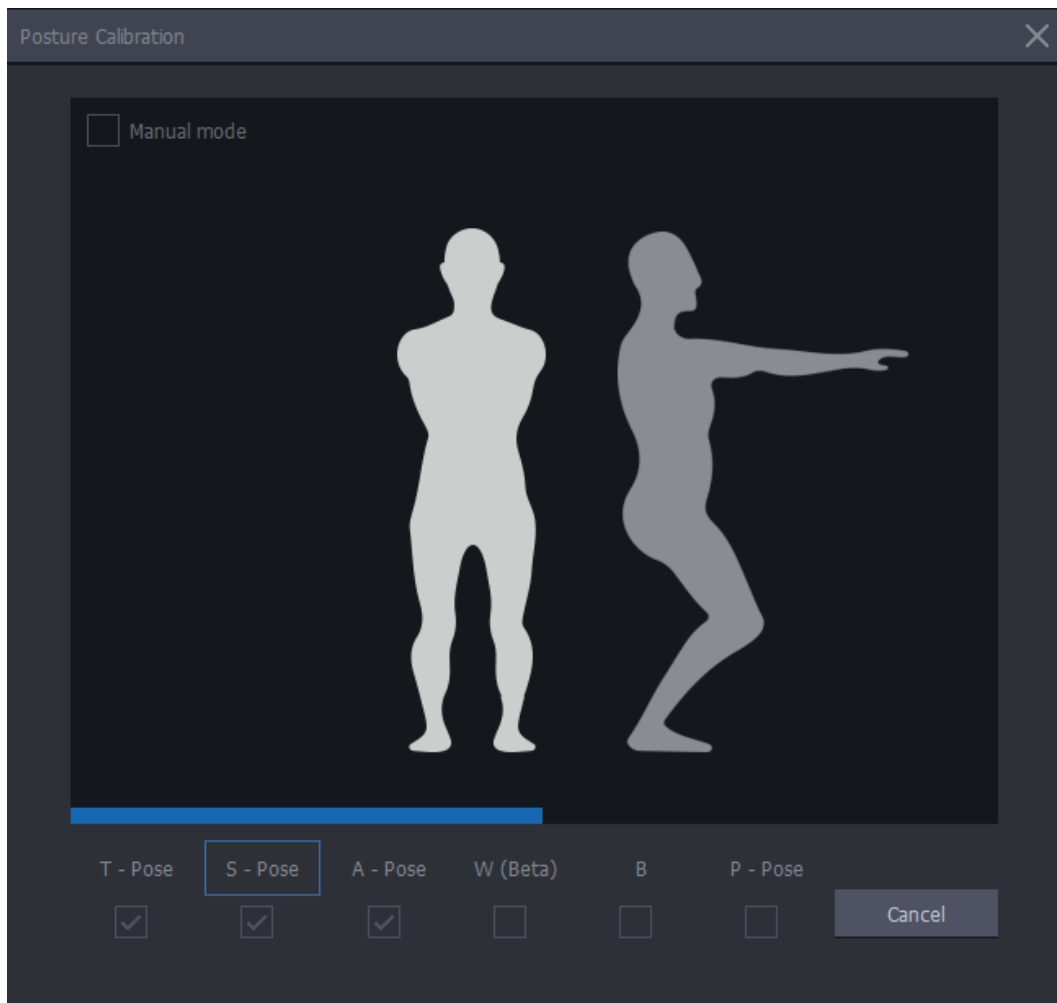
Obrázek 4-7: Upevnění senzorů Noitom [28]

Po zapnutí všech senzorů a Axis studia je nutné nakalibrovat sledovače pohybu na figurantovi tak, aby pohyb v reálném čase odpovídal i pohybu v Axis studiu. Kalibrování se provádí podle jasných pohybů v aplikaci. Prvním povelům je sednutí na kufr od celé soupravy společnosti Noitom. Tento krok není však zcela nutný. Stačí si podřepnout v blízkosti kufříku. Po tomto kroku následuje výběr z možností další kalibrace. Další kalibrace je nutná z důvodu, že kalibrace s kufrem není přesná. V další kalibraci je možné navolit kolik póz bude nutné provést. Na obrázku 4-8 je vidět 6 možností pro kalibraci. Pro tento experiment byla kalibrace provedena pomocí postojí A, S a T. Kalibrace je možná i pomocí jednoho postojí.



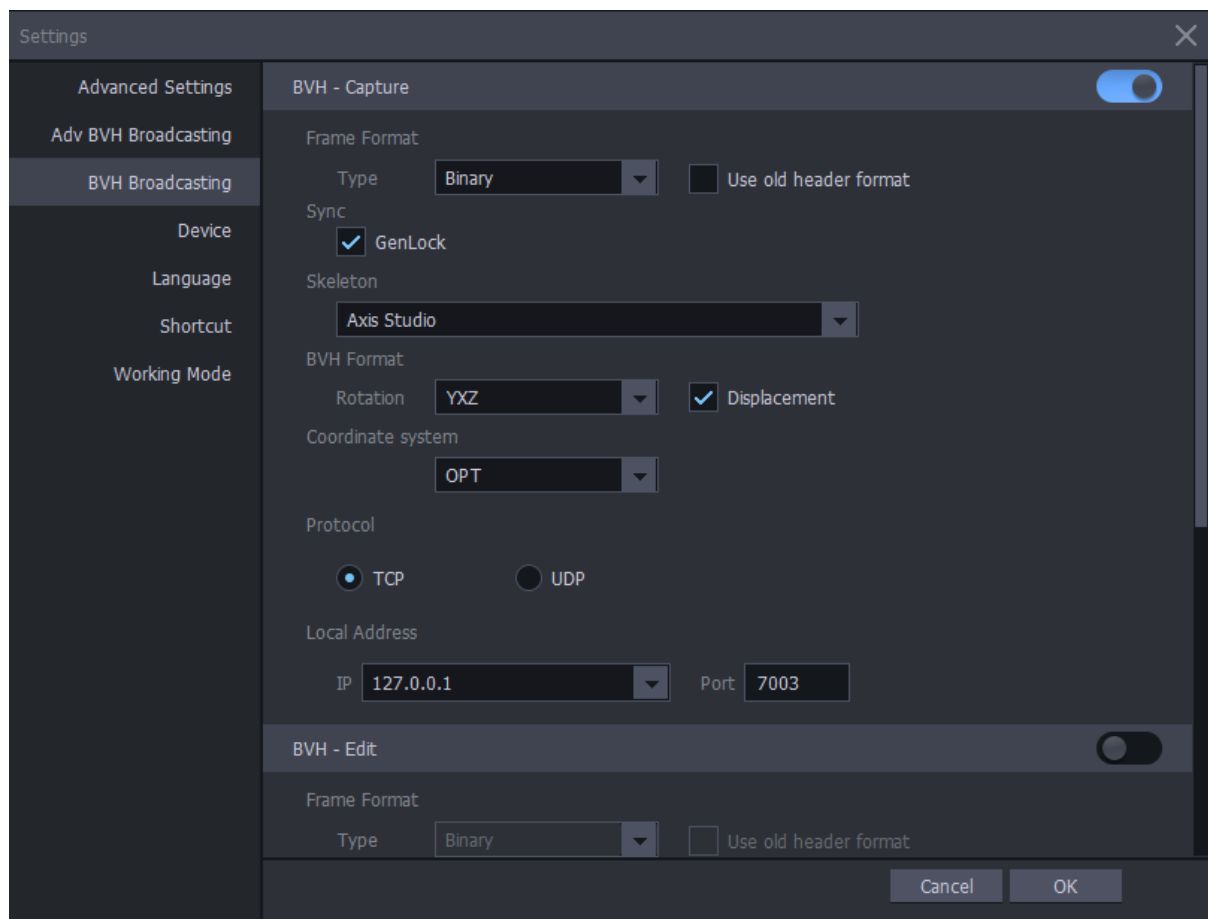
Obrázek 4-8: A – póza

Po dobu 3 sekund je nutné zůstat nehybně ve stejném postoji jako se zobrazí v pokynech kalibrace. Pro lepší orientaci jsou zde i zvukové signály. Před kalibrací v jakékoliv póze je zhruba 5 vteřinový interval, ve kterém je čas se správně postavit. Tento čas doprovází zvuk odpočítávání a zároveň i skutečné odpočítávání na obrazovce vedle postoje. Toto číslo odpočítávání je také vidět na obrázku výše. Jak již bylo zmíněno dříve po tomto čase následují 3 vteřiny, ve kterých je nutné zůstat v postoji. Tento čas je doprovázen rychlejším pípáním než v předchozí části. Po dokončení zazní dlouhé pípnutí. A póza je vidět na obrázku výše. S póza je vidět na obrázku 4-9, současně je zde vidět modrá čára, která během 3 vteřin proběhne z levé části až do pravé. Jedná se tedy o časový interval, ve kterém je nutné zůstat v póze. Poslední T póza je vcelku jednoduchá, stačí se postavit rovně a upažit horní končetiny tak, aby postava vypadala jako „písmeno T“. Důležité je také při provádění postojů stát celou dobu ve stejném směru.



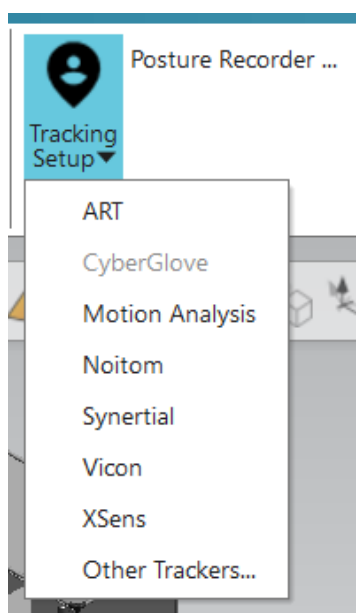
Obrázek 4-9: S - Póza

Přenos dat z Axis studia do aplikací třetích stran je možný dvěma způsoby. První způsob je přes Adv BHV Broadcasting a druhým je BVH Broadcasting, které jsou obě vidět na obrázku 4-10. Pro Process Simulate je nutné zapnout druhou možnost, tedy BHV Broadcasting. Po zapnutí BHV – Capture tlačítko přejede z levé části do pravé a změni barvu na modrou. V tomto kroku je ještě nutné zmáčknout tlačítko Ok, jinak není přenos dat umožněn.



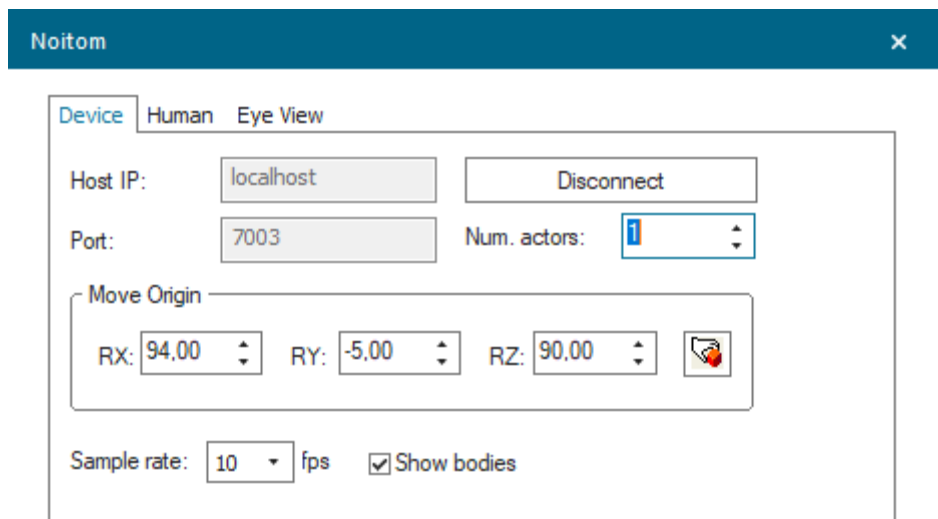
Obrázek 4-10: Broadcasting

Po těchto krocích následuje propojení na Process Simulate. Toto propojení probíhá díky 4 číselnému kódu, který je v BVH Broadcasting. Číslo je také možné vzít z Process Simulate a přepsat jej do Axis studia, a to konkrétně do kolonky Port. V Process Simulate v záložce Human se rozklikne tlačítko Tracking Setup, které je vidět na obrázku 4-11. V tomto tlačítku je několik možností propojení, v našem případě volíme Noitom.



Obrázek 4-11. Tracking Setup

Po zmáčknutí možnosti Noitom, se zobrazí tabulka, kterou lze vidět na obrázku 4-12. V této tabulce je nutné zadat již zmiňovaný čtyřmístný kód z aplikace Axis nebo naopak kód z Process Simulate napsat do BHV Broadcasting. Do kolonky Host IP se zadává localhost.

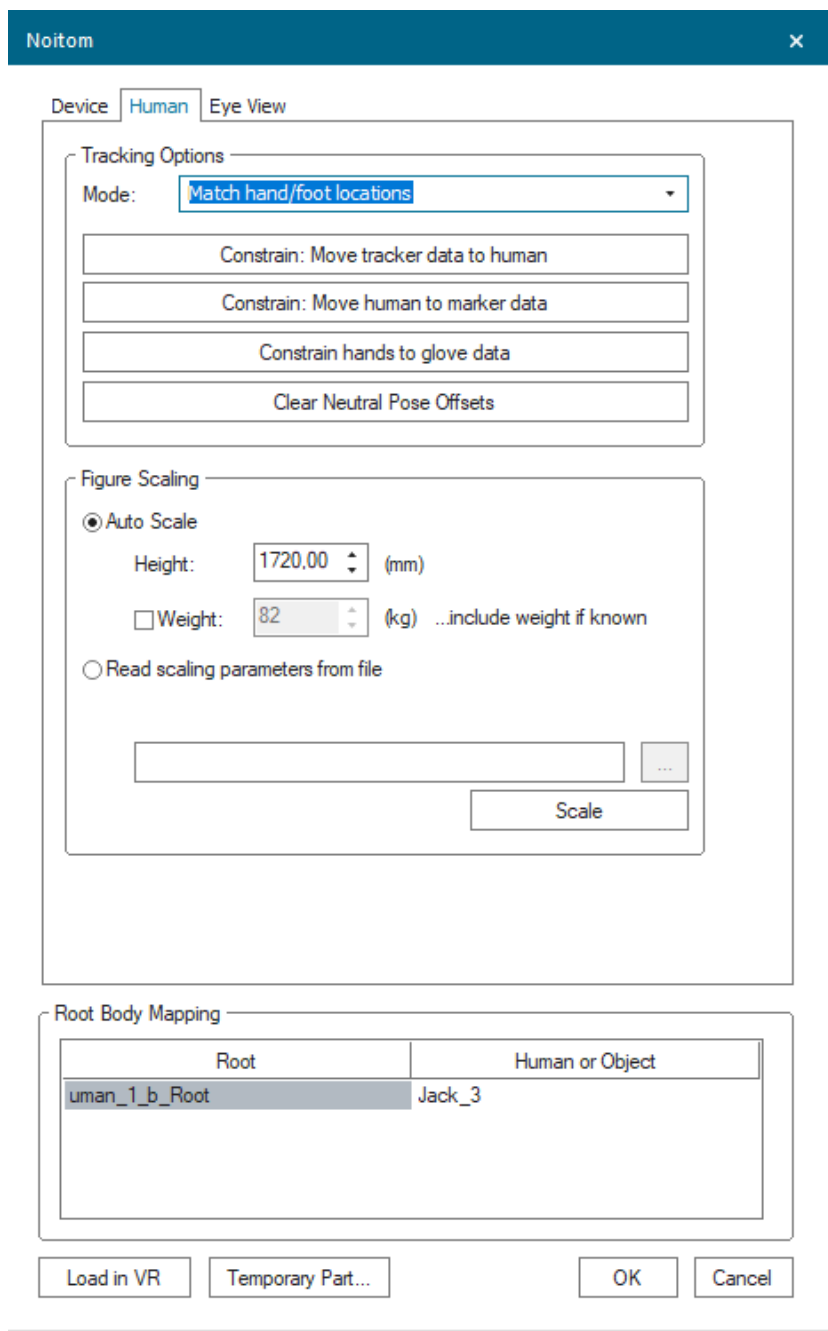


Obrázek 4-12: Propojení Noitom

Dále je nutné se přesunout do záložky Human. Nejedná se o stejnou záložku jako v předchozích bodech, tady se jedná o záložku, která je vidět na obrázku 4-14. Zde se volí, s jakou postavou se chceme propojit. Je také velice nezbytné před samostatným propojením nastavit skeleton, který je vidět na obrázku 4-13, tak aby odpovídal přibližně nastavení postavy, na kterou se chceme napojit. Skeleton se po propojení s Axis studiem ukáže pod podlahou. Není tedy vidět a je natočen vleže, proto jak již bylo zmiňováno je dobré skeleton nastavit do pozice napojované postavy. Pokud se nenastaví skeleton stejně jako postava, je dost pravděpodobné, že postava bude zkroucená a nebude reagovat správně. K propojení headsetu Oculus Quest 2 slouží aplikace Meta Quest.

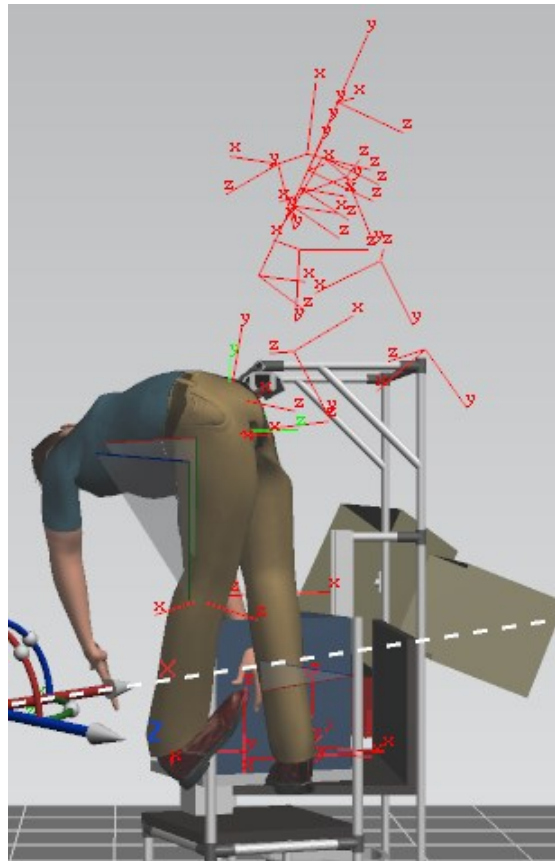


Obrázek 4-13: Skeleton



Obrázek 4-14: Záložka Human

Pokud se nenastaví skeleton stejně jako postava, na kterou se napojuje, propojení skeletonu a Jacka bude vypadat obdobně jako na obrázku 4-15. Stejně špatně se napojí i v případě nastavení skeletonu do obdobné pozice. V tomto případě však stačí kliknout na Clear Neutral Pose Offsets, toto tlačítko je vidět na obrázku výše a skeleton se nastaví do správné polohy.



Obrázek 4-15: Propojení skeletonu a Jacka

Obrázek 4-16 zobrazuje skutečné umístění senzorů od společnosti Noitom, které slouží k monitorování pohybu, spolu s headsetem Oculus Quest 2. Senzor, který je umístěn na hlavě uživatele, je navržen tak, aby byl v poloze podobné jako klasická čelovka. Avšak kvůli použití brýlí byla nutná úprava. Náhlavní senzor byl otočen směrem dozadu, aby bylo zajištěno optimální umístění a funkčnost v rámci celé varianty. Toto přizpůsobení umožňuje uživatelům bezproblémově využívat senzorovou technologii společnosti Noitom v kombinaci s headsetem Oculus Quest 2, aniž by došlo k narušení uživatelského komfortu či efektivity detekce pohybu. Po kalibraci v Axis studio systém rozpozná senzor v jiné poloze a skeleton nastaví tak, aby odpovídal skutečnosti. Po zapnutí virtuální reality bylo zjištěno nepropojení postavy a postavy „pozorovatele“ ve virtuální realitě. Lépe řečeno postava ve virtuální realitě se pohybovala stejně jako pozorovatel, ovšem pozorovatel nestál ve stejné pozici. Při opětovném zapnutí stál pozorovatel na jiném místě než při prvním zapnutí. Postava Jacka byla tedy přesunuta na pozorovatele tak, aby pozorovatel stál v ní. Po tomto kroku bylo napojení dokončeno.



Obrázek 4-16: Skutečná poloha snímačů Noitom

5 Měření

Tato část práce se zabývá naměřenými hodnotami. Nejprve byly naměřeny samostatné hodnoty v Process Simulate, následně hodnoty pro HTC variantu a jako hodnoty pro variantu Noitom a Oculus Quest 2. Ve všech případech se hodnotila RULA analýza ve třech pozicích. Ve všech tabulkách je vynechána poloha nohou. A to z důvodu, že skóre je 1 ve všech měřeních. Ve všech tabulkách se za neobvyklé pozice připočítávají body v závorkách. Například za zvednuté rameno je +1 bod do skóre poloha horní části paže. Kdyby tedy ve skóre bylo například 2 (+1) finální skóre je 3.

5.1 Měření v Process Simulate

V programu Process Simulate byly napolohovány pozice tak, aby odpovídaly postojům ve skutečném světě. Jak bylo již zmíněno, v tabulkách se připočítávají body v závorkách za neobvyklé pozice. Tabulky finálních hodnot A a C jsou ukázány pouze pro pravou část z důvodu shodných hodnot levé části.

5.1.1 Poloha 1

První poloha je zobrazena na obrázku 5-1. Krytka se zde nachází v nejvyšší možné poloze v přepravním boxu. Jack zde stojí narovnaný a očima se dívá na krytku. Pro tuto polohu ukazuje výsledky RULA tabulka 5-1.



Obrázek 5-1: Měření poloha 1

Pravá strana	Úhel (°)	Skóre	Levá strana	Úhel (°)	Skóre
Poloha horní části paže	26	2	Poloha horní části paže	26	2
Poloha dolní části paže	76	1	Poloha dolní části paže	76	1
Poloha zápěstí	-19	3 (+1)	Poloha zápěstí	-19	3 (+1)
Rotace zápěstí	-3	1	Rotace zápěstí	-3	1
Poloha krku a trupu					
		Úhel (°)	Skóre		
Poloha krku		26	3		
Poloha trupu		2	1		

Tabulka 5-1: Process Simulate poloha 1

Tabulka 5-2 zobrazuje finální skóre tabulky A pro naměřené hodnoty v Process Simulate. Z tabulky je vidět hodně špatné skóre pro polohu zápěstí. Ostatní hodnoty jsou v dobrých hodnotách.

TABLE A - Right									
Upper Arm	Lower Arm	Wrist							
		1		2		3		4	
		Wrist	Twist	Wrist	Twist	Wrist	Twist	Wrist	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	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

Tabulka 5-2: Tabulka A poloha 1

Tabulka 5-3 zobrazuje tabulku B, ta vyhodnocuje polohu krku a trupu. Výsledná hodnota tabulky B je 3.

TABLE B													
Neck	Trunk												
	1 Legs		2 Legs		3 Legs		4 Legs		5 Legs		6 Legs		
	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	8	9	9	9	9	9	

Tabulka 5-3: Tabulka B poloha 1

Výsledná hodnota tabulky C je 3. Poloha 1 se nachází v kategorii 2, to odpovídá malému riziku a většinou nejsou nutné změny. Tabulka 5-4 zobrazuje přesné skóre pro polohu 1.

TABLE C Right							
Final A Score	Final B 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	3	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

Tabulka 5-4: Tabulka C poloha 1

5.1.2 Poloha 2

Druhá poloha je měřená pro polohu krytky v prostřední části přepravního vozíku. Na obrázku 5-2 lze vidět umístění krytky a polohu Jacka. Tabulka 5-5 zobrazuje hodnoty pro výpočet výsledných hodnot v tabulkách A, B a C.



Obrázek 5-2: Měření poloha 2

Pravá strana	Úhel (°)	Skóre	Levá strana	Úhel (°)	Skóre
Poloha horní části paže	42	2	Poloha horní části paže	42	2
Poloha dolní části paže	41	2	Poloha dolní části paže	41	2
Poloha zápěstí	-15	3	Poloha zápěstí	-15	3
Rotace zápěstí	22	1	Rotace zápěstí	22	1
Poloha krku a trupu					
		Úhel (°)			Skóre
Poloha krku		24			3
Poloha trupu		25			3

Tabulka 5-5: Process Simulate poloha 2

Tabulka 5-6 zobrazuje výsledné hodnoty tabulky A pro polohu 2. Pro tabulku A vyšla výsledná hodnota 3.

TABLE A - Right									
Upper Arm	Lower Arm	Wrist							
		1		2		3		4	
		Wrist Twist 1	Wrist Twist 2	Wrist Twist 1	Wrist Twist 2	Wrist Twist 1	Wrist Twist 2	Wrist Twist 1	Wrist Twist 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

Tabulka 5-6: Tabulka A poloha 2

Tabulka 5-7 zobrazuje tabulku B pro polohu 2. Výsledná hodnota pro tabulku B vyšla 4. Tato hodnota vyšla vyšší kvůli mírně horší poloze trupu i krku.

TABLE B												
Neck	Trunk											
	1		2		3		4		5		6	
	Legs	Legs	Legs	Legs	Legs	Legs	Legs	Legs	Legs	Legs	Legs	
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	8	9	9	9	9	9

Tabulka 5-7: Tabulka B poloha 2

Výsledná tabulka C vyšla stejně jako v poloze 1 i zde pro polohu 2 v kategorii 2. Tabulka 5-8 ukazuje přesné hodnoty pro výslednou hodnotu tabulky C.

TABLE C Right							
Final A Score	Final B 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	3	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

Tabulka 5-8: Tabulka C poloha 2

5.1.3 Poloha 3

Poslední poloha je znázorněna na obrázku 5-3. Postava Jacka, zde vyndává krytku z nejnižě položeného místa v přepravním boxu. Tabulka 5-9 zobrazuje pro polohu 3 výsledné hodnoty pro výpočet tabulek A, B a C.



Obrázek 5-3: Měření poloha 3

Pravá strana	Úhel (°)	Skóre	Levá strana	Úhel (°)	Skóre
Poloha horní části paže	67	3	Poloha horní části paže	67	3
Poloha dolní části paže	28	2	Poloha dolní části paže	28	2
Poloha zápěstí	-2	1	Poloha zápěstí	-2	1
Rotace zápěstí	-1	1	Rotace zápěstí	-1	1
Poloha krku a trupu					
	Úhel (°)		Skóre		
Poloha krku	11		2		
Poloha trupu	32		3		

Tabulka 5-9: Process Simulate poloha 3

Tabulka 5-10 ukazuje výsledné hodnoty tabulky A pro polohu 3. Hodnoty v tabulce se pohybují v menších číslech, kromě horní části rukou, ta není sice v nejvyšších hodnotách, ale celkově zvedá skóre na hodnotu 3.

TABLE A - Right									
Upper Arm	Lower Arm	Wrist							
		1		2		3		4	
		Wrist Twist	Wrist Twist	Wrist Twist	Wrist Twist	Wrist Twist	Wrist Twist	Wrist Twist	Wrist 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	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

Tabulka 5-10: Tabulka A poloha 3

Tabulka B pro polohu 3 je zobrazena v tabulce 5-11. I zde jsou hodnoty velmi mírné, výjimkou je trup. Trup zde zvedá výslednou hodnotu na číslovku 4.

TABLE B														
Neck	Trunk													
	1		2		3		4		5		6			
	Legs	Legs	Legs	Legs	Legs	Legs	Legs	Legs	Legs	Legs	Legs	Legs		
	1	2	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	7	7
2	2	3	2	3	4	5	5	5	6	7	7	7	7	7
3	3	3	3	4	4	5	5	6	6	7	7	7	7	7
4	5	5	5	6	6	7	7	7	7	7	8	8	8	8
5	7	7	7	7	7	8	8	8	8	8	8	8	8	8
6	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	9	9	9

Tabulka 5-11: Tabulka B poloha 3

Výsledná tabulka C, která je znázorněna v tabulce 5-12, vyšla s hodnotou 4, stejně jako obě předchozí polohy do kategorie 2. V této kategorii nejsou zapotřebí většinou žádné nebo jen mírné změny.

TABLE C Right							
Final A Score	Final B 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	3	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

Tabulka 5-12: Tabulka C poloha 3

5.2 Měření HTC

Oproti pokusu napojení na systém Process Simulate, při skutečném měření fungoval přenos o něco lépe. Při pokusu o napojení virtuální postava nedokázala podřepnout. Při měření se tento problém již nevyskytoval. Důvodem této změny může být lepší umístění senzoru na zádech nebo senzoru pod ním.

5.2.1 Poloha 1 HTC

Na obrázku 5-4 je vidět propojená postava, která se snažila stoupnout do stejné pozice jako stála postava v měření v Process Simulate. V tabulce 5-13 lze vidět výsledné hodnoty pro měření pomocí HTC pro polohu 1.



Obrázek 5-4: Měření HTC poloha 1

Pravá strana	Úhel (°)	Skóre	Levá strana	Úhel (°)	Skóre
Poloha horní části paže	42	2 (+1)	Poloha horní části paže	55	3
Poloha dolní části paže	77	1	Poloha dolní části paže	56	2
Poloha zápěstí	-36	3 (+1)	Poloha zápěstí	-31	3 (+1)
Rotace zápěstí	32	1	Rotace zápěstí	21	1
Poloha krku a trupu					
		Úhel (°)			Skóre
Poloha krku		21			3
Poloha trupu		7			1

Tabulka 5-13: HTC poloha 1

Tabulka 5-14 zobrazuje hodnoty pro polohu 1 naměřené přes HTC. Horní část tabulky ukazuje hodnoty pro pravou část těla a spodní pro levou.

TABLE A - Right									
Upper Arm	Lower Arm	Wrist							
		1		2		3		4	
		Wrist Twist 1	Wrist Twist 2	Wrist Twist 1	Wrist Twist 2	Wrist Twist 1	Wrist Twist 2	Wrist Twist 1	Wrist Twist 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

TABLE A - Left									
Upper Arm	Lower Arm	Wrist							
		1		2		3		4	
		Wrist Twist 1	Wrist Twist 2	Wrist Twist 1	Wrist Twist 2	Wrist Twist 1	Wrist Twist 2	Wrist Twist 1	Wrist Twist 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

Tabulka 5-14: Tabulka A poloha 1 HTC

V tabulce 5-15 je zobrazena tabulka B, která je určena pro trup a krk. Výsledky zde jsou velmi pozitivní, a to z důvodu dobrého hodnocení trupu.

TABLE B												
Neck	Trunk											
	1		2		3		4		5		6	
	Legs	Legs	Legs	Legs	Legs	Legs	Legs	Legs	Legs	Legs	Legs	Legs
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	8	9	9	9	9	9

Tabulka 5-15: Tabulka B poloha 1 HTC

V tabulce 5-16 lze vidět výsledné hodnoty pro zařazení do pracovní kategorie rizik. Obě hodnocení zde vyšla 4 a to z důvodu stejných hodnot v tabulce A pro polohu 1 HTC. Hodnocení tedy zařazuje polohu 1 naměřenou pomocí HTC do kategorie 2.

TABLE C Right							
Final A Score	Final B 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	3	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

TABLE C Left							
Final A Score	Final B 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	3	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

Tabulka 5-16: Tabulka C poloha 1 HTC

5.2.2 Poloha 2 HTC

Pro polohu 2 měřenou pomocí HTC byla vytvořena tabulka 5-17, která znázorňuje důležité hodnoty pro následný výpočet Tabulek A a B. Na obrázku 5-5 je vidět poloha 2 pro měření pomocí HTC



Obrázek 5-5: Měření HTC poloha 2

Pravá strana	Úhel (°)	Skóre	Levá strana	Úhel (°)	Skóre
Poloha horní části paže	95	4	Poloha horní části paže	98	4
Poloha dolní části paže	17	2	Poloha dolní části paže	5	2
Poloha zápěstí	-18	3	Poloha zápěstí	-11	2 (+1)
Rotace zápěstí	54	2	Rotace zápěstí	78	2
Poloha krku a trupu					
		Úhel (°)			Skóre
Poloha krku		4			1
Poloha trupu		11			2

Tabulka 5-17: HTC poloha 2

Díky hodnotám v tabulce výše mohla následně vzniknout tabulka A pro polohu 2, měřenou pomocí HTC. Tato tabulka se nachází níže a znázorňuje údaje jak pro pravou část, tak i pro levou. Tato tabulka je označena pod číslem 5-18.

TABLE A - Right									
Upper Arm	Lower Arm	Wrist							
		1		2		3		4	
		Wrist Twist 1	Wrist Twist 2	Wrist Twist 1	Wrist Twist 2	Wrist Twist 1	Wrist Twist 2	Wrist Twist 1	Wrist Twist 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

TABLE A - Left									
Upper Arm	Lower Arm	Wrist							
		1		2		3		4	
		Wrist Twist 1	Wrist Twist 2	Wrist Twist 1	Wrist Twist 2	Wrist Twist 1	Wrist Twist 2	Wrist Twist 1	Wrist Twist 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

Tabulka 5-18: Tabulka A poloha 2 HTC

Tabulka 5-19 znázorňuje hodnoty pro trup a krk, které byly naměřeny pomocí headsetu od HTC a trackerů rovněž od firmy HTC.

TABLE B												
Neck	Trunk											
	1		2		3		4		5		6	
	Legs 1	Legs 2	Legs 1	Legs 2	Legs 1	Legs 2	Legs 1	Legs 2	Legs 1	Legs 2	Legs 1	Legs 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	8	9	9	9	9	9

Tabulka 5-19: Tabulka B poloha 2 HTC

Konečná tabulka C pro polohu 2 za pomoci měřících systémů HTC je zobrazena v tabulce 5-20. Výsledná hodnota je pro pravou i levou stranu 4, to řadí polohu 2 s HTC do kategorie 2.

TABLE C Right							
Final A Score	Final B 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	3	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

TABLE C Left							
Final A Score	Final B 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	3	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

Tabulka 5-20: Tabulka C poloha 2 HTC

5.2.3 Poloha 3 HTC

Třetí měření, tedy poloha 3 s měřícím systémem od HTC je znázorněna na obrázku 5-6 a v tabulce 5-21.



Obrázek 5-6: Měření HTC poloha 3

Pravá strana	Úhel (°)	Skóre	Levá strana	Úhel (°)	Skóre
Poloha horní části paže	68	3	Poloha horní části paže	75	3
Poloha dolní části paže	5	2	Poloha dolní části paže	5	2
Poloha zápěstí	-2	2	Poloha zápěstí	-12	2
Rotace zápěstí	74	2	Rotace zápěstí	89	2
Poloha krku a trupu					
	Úhel (°)		Skóre		
Poloha krku	29		3 (+1)		
Poloha trupu	9		1 (+1)		

Tabulka 5-21: HTC poloha 3

V tabulce 5-22 lze vidět tabulku A pro polohu 3 měřenou variantou HTC, a to jak pro levou stranu tak i pravou. V horní části tabulky jsou data pro pravou stranou a v dolní pro stranu levou.

TABLE A - Right									
Upper Arm	Lower Arm	Wrist							
		1		2		3		4	
		Wrist Twist 1	Wrist Twist 2	Wrist Twist 1	Wrist Twist 2	Wrist Twist 1	Wrist Twist 2	Wrist Twist 1	Wrist Twist 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

TABLE A - Left									
Upper Arm	Lower Arm	Wrist							
		1		2		3		4	
		Wrist Twist	Wrist Twist	Wrist Twist	Wrist Twist	Wrist Twist	Wrist Twist	Wrist Twist	Wrist 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	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

Tabulka 5-22: Tabulka A poloha 3 HTC

Tabulka níže, tabulka 5-23, vyhodnocuje polohu krku a trupu pro polohu 3 s HTC. Výsledná hodnota tabulky B je 5. Při pohledu na tabulku jde znát zvýšená hodnota vlivem špatně hodnoceného krku.

TABLE B												
Neck	Trunk											
	1		2		3		4		5		6	
	Legs	Legs	Legs	Legs	Legs	Legs	Legs	Legs	Legs	Legs	Legs	
	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	8	9	9	9	9	9

Tabulka 5-23: Tabulka B poloha 3 HTC

Finální tabulka C, která je vidět v tabulce 5-24, ukazuje výslednou hodnotu 5 pro obě strany. To zařazuje tuto polohu do kategorie 3 pro zdravotní rizika pracovní činnosti.

TABLE C Right							
Final A Score	Final B 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	3	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

TABLE C Left							
Final A Score	Final B 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	3	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

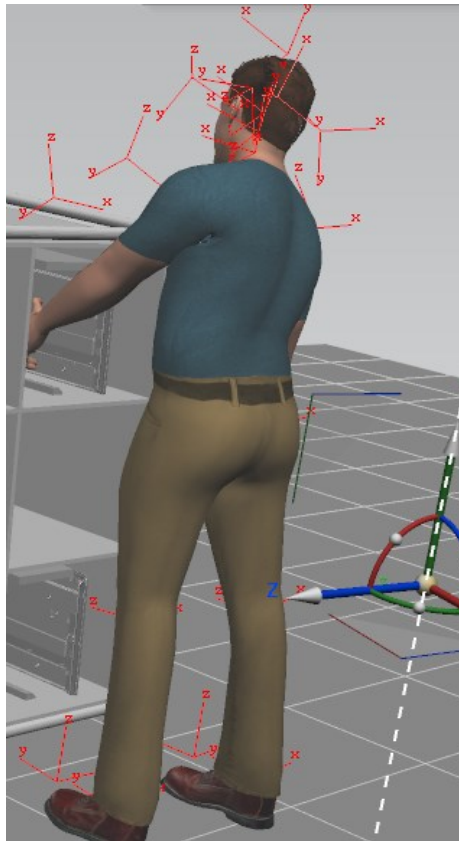
Tabulka 5-24: Tabulka C poloha 3 HTC

5.3 Noitom a Oculus Quest 2

Měření pomocí mo-capu od společnosti Noitom nebylo vůbec jednoduché, a to z důvodu neustále nutné kalibrace. I přesto, že kalibrace v programu Axis studio nebyla nutná, tak naopak pro dobrý přenos do programu Process Simulate bylo nezbytné kalibrovat přibližně každých 30 vteřin. Oproti napojení zde také byla zjištěna nemožnost správného použití brýlí Oculus Quest 2. Při napojení byla virtuální postava přesunuta tam, kde se nacházel pozorovatel tak, aby pohyby byly tvořeny na stejném místě kde se nacházel pozorovatel. Při napojování nebylo zkoušeno se někam přesunout, pouze se zkusilo zda postava reaguje stejně. Po pokusu se přesunout ve virtuálním prostředí, však bylo zjištěno, že postava se nepohybovala úplně stejně jako pozorovatel. Pozorovatel se oproti postavě začal vychylovat. Brýle se tedy dají použít spíše jen pro prohlížení nikoliv pro měření. Polohy byly naměřeny pouze za pomoci Noitomu. Brýle nebyly tedy nakonec vůbec využity a do poloh se figurant dostal za pomoci obrazu na počítači.

5.3.1 Poloha 1 Noitom

První měřená poloha za pomoci mo-capu od společnosti Noitom je zobrazena na obrázku 5-7 a hodnoty pro tuto polohu jsou v tabulce 5-25.



Obrázek 5-7: Měření Noitom poloha 1

Pravá strana	Úhel (°)	Skóre	Levá strana	Úhel (°)	Skóre
Poloha horní části paže	5	1	Poloha horní části paže	33	2
Poloha dolní části paže	36	2	Poloha dolní části paže	6	2
Poloha zápěstí	-25	3	Poloha zápěstí	-6	2
Rotace zápěstí	-62	2	Rotace zápěstí	-19	1
Poloha krku a trupu					
		Úhel (°)			Skóre
Poloha krku		-34			4
Poloha trupu		18			2 (+2)

Tabulka 5-25: Noitom poloha 1

Tabulka 5-26 zobrazuje výsledné hodnoty tabulky A pro polohu 2 měřenou za pomoci mo-capu od společnosti Noitom. Pro tabulku A vyšla výsledná hodnota 3 a to pro pravou i levou stranu.

TABLE A - Right									
Upper Arm	Lower Arm	Wrist							
		1		2		3		4	
		Wrist Twist 1	2	Wrist Twist 1	2	Wrist Twist 1	2	Wrist Twist 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

TABLE A - Left									
Upper Arm	Lower Arm	Wrist							
		1		2		3		4	
		Wrist Twist 1	2	Wrist Twist 1	2	Wrist Twist 1	2	Wrist Twist 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

Tabulka 5-26: Tabulka A poloha 1 Noitom

V tabulce 5-27 lze vidět hodnoty pro trup a krk. Tyto hodnoty jsou pro polohu 1 a měřící variantu s Noitomem

TABLE B												
Neck	Trunk											
	1		2		3		4		5		6	
	Legs	Legs	Legs	Legs	Legs	Legs	Legs	Legs	Legs	Legs	Legs	Legs
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	8	9	9	9	9	9

Tabulka 5-27: Tabulka B poloha 1 Noitom

Výsledná tabulka C, kterou lze vidět v tabulce 5-28, vyšla pro obě strany 6. Podle tohoto měření se řadí tato poloha do 4 kategorie. Jde o nejhorší kategorii, kde jsou nutné okamžité změny.

TABLE C Right							
Final A Score	Final B 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	3	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

TABLE C Left							
Final A Score	Final B 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	3	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

Tabulka 5-28: Tabulka C poloha 1 Noitom

5.3.2 Poloha 2 Noitom

Ve druhé poloze se krytka nachází v prostředku přepravního vozíku. Na obrázku 5-8 lze vidět umístění krytky a polohu Jacka. Tabulka 5-29 zobrazuje hodnoty pro výpočet výsledných hodnot v tabulkách A a B.



Obrázek 5-8: Měření Noitom poloha 2

Pravá strana	Úhel (°)	Skóre	Levá strana	Úhel (°)	Skóre
Poloha horní části paže	82	3	Poloha horní části paže	85	3
Poloha dolní části paže	48	2	Poloha dolní části paže	18	2
Poloha zápěstí	-59	3 (+1)	Poloha zápěstí	4	1
Rotace zápěstí	43	1	Rotace zápěstí	23	1
Poloha krku a trupu					
		Úhel (°)	Skóre		
Poloha krku		-18	4 (+2)		
Poloha trupu		28	3 (+2)		

Tabulka 5-29: Noitom poloha 2

Tabulka 5-30 zobrazuje finální skóre tabulky A pro naměřené hodnoty za pomoci Perception Neuron 3. Z tabulky je vidět hodně špatné skóre pro polohu zápěstí pro pravou stranu.

TABLE A - Right									
Upper Arm	Lower Arm	Wrist							
		1		2		3		4	
		Wrist	Twist	Wrist	Twist	Wrist	Twist	Wrist	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	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

TABLE A - Left									
Upper Arm	Lower Arm	Wrist							
		1 Wrist Twist		2 Wrist Twist		3 Wrist Twist		4 Wrist 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	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

Tabulka 5-30: Tabulka A poloha 2 Noitom

Tabulka 5-31, tedy tabulka B pro polohu 2 znázorňuje hodnoty pro krk a trup naměřené za pomoci mo-capu od společnosti Noitom.

TABLE B												
Neck	Trunk											
	1 Legs		2 Legs		3 Legs		4 Legs		5 Legs		6 Legs	
	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	8	9	9	9	9	9

Tabulka 5-31: Tabulka B poloha 2 Noitom

Finální tabulka C pro polohu 2 je vidět v tabulce 5-32. Její hodnoty jsou opět v „červených číslech“. Opět se podle hodnot dostáváme do poslední kategorie, tedy do 4.

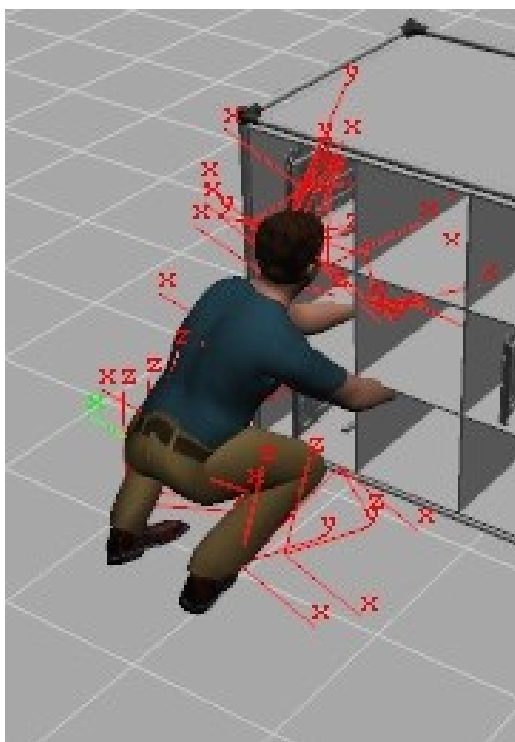
TABLE C Right							
Final A Score	Final B Score						
	1	2	3	4	5	6	7+
1	1	2	3	3	4	5	5
2	2	2	3	4	4	5	5
3	3	3	3	4	4	5	6
4	3	3	3	4	5	6	6
5	4	4	4	5	6	7	7
6	4	4	5	6	6	7	7
7	5	5	6	6	7	7	7
8+	5	5	6	7	7	7	7

TABLE C Left							
Final A Score	Final B 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	3	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

Tabulka 5-32: Tabulka C poloha 2 Noitom

5.3.3 Poloha 3 Noitom

Ve třetí poloze se krytka nachází ve spodní části přepravního vozíku. Na obrázku 5-9 lze vidět umístění krytky a polohu Jacka. Tabulka 5-33 zobrazuje hodnoty pro výpočet výsledných hodnot v tabulkách A a B.



Obrázek 5-9: Měření Noitom poloha 3

Pravá strana	Úhel (°)	Skóre	Levá strana	Úhel (°)	Skóre
Poloha horní části paže	5	1	Poloha horní části paže	33	2
Poloha dolní části paže	36	2	Poloha dolní části paže	6	2
Poloha zápěstí	-25	3	Poloha zápěstí	-6	2
Rotace zápěstí	-62	2	Rotace zápěstí	-19	1
Poloha krku a trupu					

	Úhel (°)	Skóre
Poloha krku	-34	4
Poloha trupu	18	2 (+2)

Tabulka 5-33: Noitom poloha 3

V tabulce 5-34 lze vidět tabulku A pro polohu 3 měřenou variantou Noitom a to jak pro levou stranu tak i pravou. V horní části tabulky jsou data pro pravou stranou a v dolní pro stranu levou.

TABLE A - Right									
Upper Arm	Lower Arm	Wrist							
		1		2		3		4	
		Wrist Twist 1	Wrist Twist 2	Wrist Twist 1	Wrist Twist 2	Wrist Twist 1	Wrist Twist 2	Wrist Twist 1	Wrist Twist 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

TABLE A - Left									
Upper Arm	Lower Arm	Wrist							
		1		2		3		4	
		Wrist Twist 1	Wrist Twist 2	Wrist Twist 1	Wrist Twist 2	Wrist Twist 1	Wrist Twist 2	Wrist Twist 1	Wrist Twist 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

Tabulka 5-34: Tabulka A poloha 3 Noitom

Tabulka 5-35 znázorňuje hodnoty pro trup a krk pro polohu 3, které byly naměřeny pomocí obleku od společnosti Noitom.

TABLE B													
Neck	Trunk												
	1 Legs		2 Legs		3 Legs		4 Legs		5 Legs		6 Legs		
	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	8	9	9	9	9	9	

Tabulka 5-35: Tabulka B poloha 3 Noitom

Tabulku C pro polohu 3 lze vidět níže v tabulce 5-36. Výsledná hodnota je pro obě strany 6. Tato špatná hodnota se řadí do poslední kategorie, tedy 4 kategorie rizik. Špatný výsledek u tohoto měření je zde zaznamenán hlavně v důsledku velkého hodnocení v tabulce B.

TABLE C Right							
Final A Score	Final B 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	3	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

TABLE C Left							
Final A Score	Final B 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	3	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

Tabulka 5-36: Tabulka C poloha 3 Noitom

6 Analýza výsledků

Autor této práce očekával dobré výsledky mo-capu Perception Neuron 3 i z důvodu, že tato možnost je rovnou v programu Process Simulate a nejedná se úplně o nejlevnější možnost i v porovnání právě s druhou variantou HTC. Autor se obával spíše levnější varianty od HTC, která se nakonec ukázala jako více spolehlivá oproti dražší variantě od firmy Noitom. Při napojování se zdála lepší varianta Noitom a Oculus Quest 2, ovšem při samotném měření byly zjištěny velké závady. První z nich byla nemožnost použití Headsetu a druhá závada spočívala v měření. Díky těmto vadám nebylo zapotřebí měřit hodnoty obou variant najednou.

Varianta HTC, tedy HTC headset VIVE Pro a Trackery 3.0 fungovala o poznání lépe než dražší varianta. Při napojení se vyskytlo pár problémů a zdálo se, že měření nebude možné, ovšem při samostatném měření tyto problémy neměly vliv. Problémem, který zde u napojování vznikl a měl by na měření velký vliv byla obtíž s podřepem. Virtuální postava Jacka při podřepnutí zvedala i dolní končetiny do vzduchu. Při měření se ovšem tento problém neprojevil a měření mohlo proběhnout bez větších komplikací. Naměřené hodnoty odpovídaly hodnotám, které byly zaznamenány měřením pomocí Process Simulate. Na obrázku 6-1 jsou všechny 3 polohy naměřené variantou HTC. Vpravo na obrázku se nachází poloha 1, uprostřed je poloha 2 a vlevo je poloha 3, kde se krytka nachází ve spodní části přepravního boxu. První polohu můžeme vidět v porovnání s polohou 1 měřenou za pomoci programu Process Simulate. Je tedy vidět, že postava stojí téměř totožně a tomu i odpovídají výsledky měření. Druhá poloha se podařila naměřit také v pořádku. Menší problém nastal u měření 3. polohy, kde lze vidět vyboulená záda. To se promítlo i do konečných výsledků. Pomocí HTC soupravy je tedy možné naměřit hodnoty, které odpovídají přibližně skutečnosti, je ale důležité brát ohled na mírné odchylky jako tomu bylo v případě polohy 3.



Obrázek 6-1: Polohy měřené HTC

Měření pomocí Motion capture Perception Neuron 3 (PN3) bylo téměř nemožné. Neustálá kalibrace bránila naměření správných hodnot. Při pohledu na obrázek 6-2, je vidět zkroucenost končetin i těla při měřených polohách pomocí obleku od společnosti Noitom. V levé části obrázku se nachází poloha 1, uprostřed je poloha 2 a v pravé části je poloha 3. Části

těla jsou velice pokroucené, i přestože před každým měřením byla provedena kalibrace. U měření 3. polohy nebylo ani možné se dostat do správné polohy a uvést ruce ke krytce. Měření je velice nepřesné a vyplývá z něj nemožnost použití tohoto řešení v reálné situaci. Podle názoru autora této práce se však nejedná o chybu samotného obleku, ale propojení na Process Simulate. V Axis studiu se virtuální postava pohybuje velmi realisticky a bez kalibrace vydrží podle zkušeností autora i více než 20 minut. V Process Simulate však nevydržela kalibrace ani 20 vteřin. Problém byl, jak již bylo zmiňováno i se samostatným nastavením pozic. V prvním případě, v poloze 1, lze vidět postavu Jacka nakloněného do pravé strany. Tato chyba vznikla nepřesným přenosem pohybu z Axis studia do programu Process Simulate. U druhé polohy je vidět špatné umístění rukou, zejména pravá dlaň ruky je vytočena směrem k tělu. Nohy u této polohy, naměřené oblekem od společnosti Noitom, také nemají pozici, jak byla vytvořena v realitě. Pravá noha je téměř ve správné poloze, naopak levá noha je velmi zkroucená. U třetí polohy, jak již bylo řečeno bylo nemožné se dostat rukama ke krytce. Nohy zde mají stejně špatné postavení jako v poloze 2. Je důležité zdůraznit, že nohy nemají vliv na tyto výsledky měření pomocí metody RULA. Metoda RULA se zaměřuje především na postavení horních končetin, trupu a krku při práci, ačkoliv jsou nohy samozřejmě nedílnou součástí těla. Jejich poloha však není přímo zahrnuta do těchto analýz pomocí této metody.



Obrázek 6-2: Polohy měření Noitom

Výsledné hodnoty tabulek A, B a C ze všech měření jsou přepsány do tabulky 6-1. Tabulka je rozdělena na pravou a levou část. Tabulka B je pro obě části stejná. Pro lepší čitelnost tabulky je zde tabulka B v obou částech a výsledná tabulka C je v obou případech zvýrazněna modrou barvou. Pokud budeme prvně porovnávat výsledky Process Simulate a Noitom, vyjde nám hodnocení tohoto Motion capture obleku jako nedostatečné. Process Simulate zařadil všechny 3 polohy do 2 kategorie. Noitom zařadil všechny do kategorie 4. S jistotou lze říci, že tyto hodnoty se zásadně liší. Varianta Noitom a Oculus Quest 2 není použitelná na měření RULA v programu Process Simulate. PN3 mo-cap je zajímavá varianta pro snímání pohybu ne však v kombinaci s Process Simulate. Druhé porovnání dopadlo velmi dobře. Pokud bychom se dívali pouze na hodnoty výsledků tabulek C pro porovnávané polohy, viděli bychom skvělé výsledky. Realita podle výsledků odpovídá i naměřeným hodnotám. Ovšem když se podíváme

i na obrázky a tabulky A a B pro tyto polohy uvidíme mírné vychýlení výsledků. Je tedy nezbytné vzít v úvahu i přenos pohybu ze snímačů HTC a promítnout jej do výsledků. Varianta HTC je použitelná, za podmínek mírné úpravy výsledků, pokud bude poloha přenesena do aplikace od Tecnomatix viditelně špatně. Pokud se tedy budeme rozhodovat jakou ze dvou variant použít je jasné využití varianty od HTC. Druhá varianta není použitelná i přesto, že se jedná o dražší možnost. Z hlediska napojení je tomu stejně. Propojení HTC bylo vcelku snadné. Naopak varianta od společnosti Noitom a Meta byla velmi náročná na napojení a zabrala poměrně dost času.

	Výsledky RULA analýzy					
	Pravá strana			Levá strana		
	Tabulka A	Tabulka B	Tabulka C	Tabulka A	Tabulka B	Tabulka C
Poloha 1	4	3	3	4	3	3
Poloha 2	3	4	4	3	4	4
Poloha 3	3	4	4	3	4	4
Poloha 1 HTC	5	3	4	5	3	4
Poloha 2 HTC	5	2	4	5	2	4
Poloha 3 HTC	4	5	5	4	5	5
Poloha 1 Noitom	3	7	6	3	7	6
Poloha 2 Noitom	5	9	7	3	9	6
Poloha 3 Noitom	4	9	6	4	9	6

Tabulka 6-1: Kategorie pracovních rizik

Závěr

V současné době průmyslové revoluce se ergonomie stává klíčovým prvkem v optimalizaci pracovního prostředí ve výrobě. S vývojem technologií jako je virtuální realita a motion capture obleky se otevírají nové možnosti v oblasti ergonomického designu. Virtuální realita umožňuje inženýrům zkoumat a testovat pracovní prostředí ve virtuálním světě, což vede k efektivnějším návrhům a snižuje potřebu pozdějších úprav. Motion capture technologie s antropometrickými daty přidávají vrstvu komplexnosti, umožňující precizní sledování pohybů a rozměrů těla, což vytváří prostředí ještě více přizpůsobené individuálním potřebám pracovníků. Navzdory těmto inovacím je nezbytné si být vědom možných výzev, jakými jsou náklady na implementaci nových technologií, školení pracovníků a zajištění bezpečnosti. Avšak s rostoucím povědomím o výhodách ergonomického designu a s neustálým pokrokem technologií lze očekávat, že budoucí výrobní prostředí bude ještě více přizpůsobené, efektivní a bezpečné pro každého pracovníka. Spojení virtuální reality, motion capture technologií a antropometrie představuje vzrušující krok směrem k revoluci v designu pracovního prostoru a přináší s sebou možnost dosáhnout optimální rovnováhy mezi lidskými potřebami a technologickým pokrokem.

Práce se zaměřila na srovnání výsledků dvou různých variant při propojení motion capture pohybů s virtuální realitou. První sadou experimentu byla varianta postavena na kombinaci brýlí HTC VIVE Pro a HTC VIVE Trackery 3.0. Druhá kombinace byla Oculus Quest 2 brýle a motion capture systém Perception Neuron 3 (PN3). Práce zkoumala přesnost pohybových dat, cenu, a celkovou uživatelskou zkušenost při využití těchto technologických kombinací v programu Process Simulate. Cíle práce byly naplněny.

Výsledky experimentu nám jednoznačně ukázaly, že druhá varianta není vhodná pro účely měření RULA analýzy pomocí Process Simulate. Brýle Oculus Quest 2 nebyly použitelné pro měření a ani technologie motion capture od společnosti Noitom nedokázala zajistit přesné a spolehlivé výsledky. Tato skutečnost nás vede k závěru, že pokud se zaměříme na aspekty jako přenos dat, cenovou dostupnost a uživatelskou přívětivost, jasným vítězem v našem srovnání je HTC.

Citovaná literatura

- [1] CHUNDELA, Lubor. *Ergonomie*. Praha : České vysoké učení technické, 2015. ISBN 978-80-01-05173-3.
- [2] SCHMIEDOVÁ, Lenka. Obecně o významu ergonomie na pracovišti. *BOZPinfo.cz*. [Online] 11. Prosinec 2019. [Citace: 24. Listopad 2023.] Dostupné z: <https://www.bozpinfo.cz/obecne-o-vyznamu-ergonomie-na-pracovisti>.
- [3] KROEMER ELBERT, Katrin, KROEMER, Henrike and KROEMER HOFFMAN, Anne. *Ergonomics-How to design for ease and efficiency*. Third edition. Cambridge : Academic Press, 2018. ISBN 978-0-12-813296-8.
- [4] SIEMENS. What's new in Tecnomatix? *Siemens*. [Online] Leden 2022. [Citace: 20. Říjen 2023.] Dostupné z: https://blogs.sw.siemens.com/tecnomatix/whats-new-in-tecnomatix-january-2022/#section_8.
- [5] GUASTELLO, Stephen. *Human factors engineering and ergonomics - a systems approach*. Druhé vydání. Boca Raton : CRC Press, 2014. ISBN 9781032081625.
- [6] MALÝ, Stanislav, a další. *Ergonomické stresory pod kontrolou aneb ergonomie - jak na to*. 2. vydání. Praha : Výzkumný ústav bezpečnosti práce, 2019. ISBN 978-80-87676-28-8..
- [7] BUREŠ, Marek. *Přednáška z předmětu KPV/ŘOP (ZČU)*. Plzeň, 2023.
- [8] ČESKO. Vyhláška č. 432/2003 Sb. Vyhláška, kterou se stanoví podmínky pro zařazování prací do kategorií, limitní hodnoty ukazatelů biologických expozičních testů, podmínky odběru biologického materiálu pro provádění biologických expozičních testů a náležitosti hlášení prací s azbestem a biologickými činiteli.
- [9] ČESKO. Nařízení vlády č. 361/2007 Sb. Nařízení vlády, kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci.
- [10] ČESKO. Nařízení vlády č. 272/2011 Sb. Nařízení vlády o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací.
- [11] ČESKO. Zákon č. 309/2006 Sb. Zákon, kterým se upravují další požadavky bezpečnosti a ochrany zdraví při práci v pracovněprávních vztazích a o zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při činnosti nebo poskytování služeb mimo pracovněprávní vztahy.
- [12] ČESKO. Zákon č. 258/2000 Sb. Zákon o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů.
- [13] HLÁVKOVÁ, Jana a VALEČKOVÁ, Alena. Státní zdravotní ústav - Centrum pracovního lékařství. *Ergonomické checklisty a nové metody práce při hodnocení ergonomických rizik*. [Online] 2007. [Citace: 18. Listopad 2023.] Dostupné z: https://www.ergonomicka.cz/app/uploads/ergonomicke-checklisty_unor2008.pdf.
- [14] MIDDLESWORTH, Mark. A Step-by-Step Guide to the RULA Assessment Tool. *ErgoPlus*. [Online] [Citace: 18. Listopad 2023.] Dostupné z: <https://ergo-plus.com/rula-assessment-tool-guide/>.
- [15] GUAZZARONI, Giuliana a PILLAI, Anitha. *Virtual and augmented reality in education, art, and museums*. Derry Township : IGI Global, 2020. ISBN 9781799817970.
- [16] ADOBE. What is motion capture and how does it work? *Adobe*. [Online] [Citace: 03. Listopad 2023.] Dostupné z: <https://www.adobe.com/uk/creativecloud/animation/discover/motion-capture.html>.

- [17] NOITOM. We capture the essence of motion. *Noitom*. [Online] [Citace: 04. Listopad 2023.] Dostupné z: <https://www.noitom.com/about>.
- [18] NEURONMOCAP. Perception Neuron 3. *Neuronmocap*. [Online] [Citace: 04. Listopad 2023.] Dostupné z: <https://neuronmocap.com/pages/perception-neuron-3>.
- [19] SKYRO. Největší česká recenze - Oculus Quest 2 (rozšířená textová verze). *SKYRO*. [Online] 05. Březen 2021. [Citace: 04. Listopad 2023.] Dostupné z: <https://www.skyro.eu/post/nejv%C4%9Bt%C5%A1%C3%AD-%C4%8Desk%C3%A1-recenze-oculus-quest-2-roz%C5%A1%C3%AD%C5%99en%C3%A1-textov%C3%A1-verze>.
- [20] JACOB. The most important differences between the Oculus Quest 1 and 2. *VRX*. [Online] 13. Únor 2023. [Citace: 07. Listopad 2023.] Dostupné z: <https://vr.vr-expert.com/the-differences-between-quest-1-and-2/>.
- [21] THE 360 GUY. Oculus Quest 2 vs Oculus Quest: Full Comparison. *360 Cameras*. [Online] [Citace: 05. Listopad 2023.] Dostupné z: <https://www.threesixtycameras.com/oculus-quest-2-vs-oculus-quest/>.
- [22] SUTRICH, Nicholas a ENDICOTT, Sean. Oculus Quest 2 vs. Oculus Quest: Should you upgrade? *Androidcentral*. [Online] 06. Zář 2022. [Citace: 05. Listopad 2023.] Dostupné z: <https://www.androidcentral.com/oculus-quest-2-vs-oculus-quest>.
- [23] ŠTROBL, Pavel. Recenze HTC Vive Pro: virtuální realita, ze které vás přejde zrak. *Smartmania*. [Online] 16. Zář 2020. [Citace: 24. Listopad 2023.] Dostupné z: <https://smartmania.cz/recenze-htc-vive-pro-virtualni-realita-ze-ktere-vas-prejde-zrak/>.
- [24] VIVE. VIVEPro. *VIVE*. [Online] [Citace: 24. Listopad 2023.] Dostupné z: <https://www.vive.com/eu/product/vive-pro/>.
- [25] CARTER, Rebekah. HTC VIVE Tracker Review: New VR Trackers. *XRToday*. [Online] 3. Prosinec 2021. [Citace: 25. Listopad 2023.] Dostupné z: <https://www.xrtoday.com/mixed-reality/htc-vive-tracker-review-new-vr-trackers/>.
- [26] DAIKIN. DICZ Plzeň. *Daikin*. [Online] [Citace: 23. Leden 2024.] Dostupné z: https://www.daikinczech.cz/cz_cz/index/o-dicz/dicz-plzen.html.
- [27] SIEMENS. Motion Capture in Virtual Reality. *Siemens*. [Online] 2023. [Citace: 07. Únor 2024.] Dostupné z: https://docs.sw.siemens.com/en-US/doc/288782031/PL20220310934079907.tecnomatix_eMS_sc.xid1015765/xid1997987.
- [28] MANUAL. Noitom Perception Neuron 3 User Manual. *Manualslib*. [Online] [Citace: 16. Únor 2024.] Dostupné z: <https://www.manualslib.com/manual/2528527/Noitom-Perception-Neuron-3.html#manual>.