



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta strojní ■

Studie možností využití zařízení Kinect při ergonomických studiích

Bakalářská práce

Studijní program: B2301 – Strojní inženýrství
Studijní obor: 2301R000 – Strojní inženýrství
Autor práce: **Igor Pryimak**
Vedoucí práce: Ing. Radek Havlík



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Igor Pryimak**
Osobní číslo: **S15000516**
Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Strojní inženýrství**
Název tématu: **Studie možností využití zařízení Kinect při ergonomických studiích**
Zadávací katedra: **Katedra výrobních systémů a automatizace**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Cílem práce je vytvoření studie týkající se propojení zařízení Microsoft Kinect s ergonomickým SW Tecnomatix Jack.

1. Úvod do problematiky.
2. Seznámení se s Kinectem a ergonomickým systémem Jack.
3. Studie možností propojení.
4. Výběr a příprava vhodného příkladu.
5. Závěr a zhodnocení práce.

Rozsah grafických prací: **podle potřeby**
Rozsah pracovní zprávy: **40-50 stran**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

[1] **LIKER, J.** *Tak to dělá Toyota*. Praha: Management press, 2007. ISBN 978-80-7261-173-7.

[2] *IPA slovník [online slovník]*, 2015.
Dostupné z <http://www.ipaslovakia.sk/sk/ipa-slovník>.

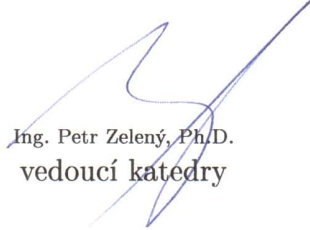
[3] **Firemní dokumentace.**

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Radek Havlík**
Katedra výrobních systémů a automatizace
Konzultant bakalářské práce: **doc. Dr. Ing. František Manlig**
Katedra výrobních systémů a automatizace

Datum zadání bakalářské práce: **15. listopadu 2015**
Termín odevzdání bakalářské práce: **15. února 2017**


prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
děkan




Ing. Petr Zelený, Ph.D.
vedoucí katedry

V Liberci dne 15. listopadu 2015

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum: 06.01.2017

Podpis:



Poděkování

Velice děkuji svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Radku Havlíkovi za vedení a cenné rady, které mi pomohly při jejím vypracování. Dále bych chtěl poděkovat všem pracovníkům katedry výrobních systémů a automatizace, kteří přispěli k vypracování této bakalářské práce.

Nemalé poděkování patří celé mé rodině za podporu během celého studia.

Téma: STUDIE MOŽNOSTÍ VYUŽITÍ ZAŘÍZENÍ KINECT
PŘI ERGONOMICKÝCH STUDIÍCH

Anotace:

Bakalářská práce se zabývá propojením senzoru pohybu Microsoft Kinect a ergonomického software Tecnomatix Jack. Cílem práce je prozkoumat zásady ergonomie v teorii a v praxi a určit nejvhodnější podmínky pro tvorbu scény v prostředí Tecnomatix Jack pomocí senzoru Microsoft Kinect. Práce se skládá z úvodu, dvou částí a závěru. Úvodní část seznamuje s problematikou této práce. První část (kapitola 1 až 4) je teoretická, a věnuje se popisu programu Tecnomatix Jack, senzoru Kinect a teoretickým poznatkům v oblasti ergonomie. Druhá část (kapitola 5 až 8) je praktická, zabývá se možnostmi propojení Jack – Kinect a hledáním optimálních podmínek pro snímání scény pomocí tohoto propojení. V závěru jsou uvedené výsledky průzkumu, přínos práce a inspirativní nápady pro další průzkum této problematiky.

Klíčová slova: ergonomie, senzor Microsoft Kinect, software Tecnomatix Jack.

Theme: STUDY OF POSSIBILITY TO USE KINECT DEVICE
FOR ERGONOMIC STUDIES

Annotation:

Bachelor deals with connection of Microsoft Kinect motion sensor and ergonomic software Tecnomatix Jack. Thesis goal is examine principles of ergonomics in theory as well as in practice and determine the most suitable conditions for scene creation in Tecnomatix Jack settings with Microsoft Kinect sensor. Thesis is composed of introduction, two parts and conclusion. Introduction will introduce you to thesis issues. First part (chapter from 1 to 4) is theoretic, devoted to description of Tecnomatix Jack program, Kinect sensor and theoretic knowledge of ergonomics. Second part (chapter from 5 to 8) is practical, devoted to possibility of Jack – Kinect connection and determine the most suitable conditions for scene scanning with help of this connection. Conclusion is devoted to exploration results, thesis contribution and inspiring ideas for next research of this issue.

Key words: ergonomics, Microsoft Kinect sensor, Tecnomatix Jack software.

Obsah:

Úvod.....	12
1 Siemens.....	13
1.1 Úvod.....	14
1.2 Společnost Siemens PLM Software.....	15
2 Tecnomatix Jack Kde? Co? A jak?.....	16
2.1 Software od Tecnomatix.....	16
2.2 Krátce o „Jacku“.....	18
3 Microsoft Kinect.....	19
3.1 Úvod.....	19
3.2 Princip fungování senzoru Kinect.....	20
3.3 Technické parametry senzoru Kinect.....	21
4 Ergonomie.....	22
4.1 Úvod do Ergonomie.....	22
4.2 Co je ergonomie?.....	23
4.3 Vývoj ergonomie.....	24
4.4 Ergatičnost.....	25
4.5 Hlavní cíle ergonomie.....	25
4.6 Hlavní ergonomická zásada.....	26
4.7 Oblasti ergonomie.....	26
4.8. Praktické otázky ergonomie.....	28
4.9. Ergonomické metody a analýzy pro využití v praxi.....	30
4.9.1 Ergonomické checklisty.....	30
4.9.2 RULA.....	30
4.9.3 NIOSH.....	30
5 Rozhraní a ovládání Tecnomatix Jack 8.2.....	31
5.1 Popis obrazovky.....	31

5.2 Popis ovládání	32
6 Propojení Jack - Kinect.....	34
6.1 Úvod.....	34
6.2 Rozhraní senzoru Kinect	35
7 Průzkum možností propojení Jack – Kinect	36
7.1 Průzkum ovlivnění podmínek svítivosti na snímání scény	36
7.2 Průzkum vzdálenosti a úhlu snímání scény	37
7.3 Průzkum ovládání hlasem	40
7.4 Snímání postojů.....	42
7.4.1 Snímání postojů „naklopení dolů“	42
7.4.2 Snímání postojů „sedění“	43
8 Vytvoření scény	43
Závěr	46
Použitá literatura a internetové zdroje:	49

Seznam obrázků:

Obr.1 Centrála v Mnichově.....	13
Obr.2 Oblasti působení produktů Tecnomatix.....	16
Obr.3 Senzor Kinect for XBOX360.....	19
Obr. 4 Režimy a pracovní vzdálenosti senzoru Kinect.....	20
Obr. 5 Ovládací panel Tecnomatix Jack 8. 2.....	30
Obr. 6 Grafická plocha Tecnomatix Jack 8. 2.....	30
Obr. 7 Schéma propojení Jack – Kinect.....	32
Obr. 8 Rozhraní senzoru Kinect.....	32
Obr. 9 Optimální a nevhodné umístění Kinecta.....	36
Obr. 10 Grafické znázornění schopnosti Kinecta rozeznávat hlasové povely.....	38
Obr.11 Snímání postoje „naklopení dolů“(optimální poloha).....	39
Obr. 12 Snímání postoje „sedění“.....	40
Obr.13 Snímání pozice 1.....	40
Obr.14 Snímání pozice 2.....	41
Obr.15 Snímání pozice 3.....	41
Obr.16 Snímání pozice 4.....	42
Obr.17 Snímání pozice 5.....	42

Seznam tabulek:

Tab.1 Technické parametry senzoru Kinect.....	19
Tab.2 Výsledky průzkumu ovlivnění podmínek svítivosti.....	34
Tab.3 Výsledky snímání lidské postavy Kinectem.....	35
Tab. 4 Výsledky rozeznávání hlasových povelů Kinectem.....	37

Seznam použitých zkratk a symbolů:

AG	AktienGesellschaft (právnícká osoba)
3D	3-Dimension
CAD	Computer Aided Design (Počítačem Podporované Konstruování)
NASA	National Aeronautics and Space Administration (Národní úřad pro letectví a kosmonautiku)
CMOS	Complementary Metal–Oxide–Semiconductor (Doplňující se kov-oxid-polovodic)
ČSN	Česká Technická Norma
ČSP	Člověk – Stroj – Prostředí
ISO	International Standards Organization
PTC	Parametric Technology Corporation
RULA	(Rapid Upper Limb Assessment) (Metoda hodnocení horních končetin)
NIOSH	National Institut of Occupational Safety and Health (Národní institut pracovní bezpečnosti a zdraví)
OWAS	(Owako Working Posture Analysing System) (Metoda pro hodnocení pracovní polohy)

Úvod

Ještě v době prvobytně pospolné společnosti, si člověk vyráběl pracovní a myslivecké nářadí. Při výrobě sehrávala velkou roly pevnost a užitečnost, protože na tom často závisel život starobylého obyvatele.

V dnešní době se průmysl rychle rozvíjí, a výroba se stále zrychluje. Co se dříve vyrábělo za minuty se nyní vyrábí za vteřiny a tím pádem i narůstá fyzické a psychické zatížení kladené na pracovníky. Proto podle statistiky Státního zdravotního úřadu ČR, počet hlášených lidí s nemocemi z povolání stále přibývá, což vyústí k výstražným číslům: rok 2013 – 1042 osob, rok 2014 – 1250 osob, rok 2015 – 1092 osob. Z toho jsou způsobené fyzickými faktory: rok 2013 – 46,9 %, rok 2014 – 42,8 %, rok 2015 – 52,9 %. Proto ergonomie, i když se jedná o mladou vědu, stává se jednou ze zásadních úkolů pro inženýry při jejich plánování a exploataci výrobních objektů.

S jedním významným řešením ergonomické výroby přišla společnost Siemens, která ve své produktové řadě softwarů od Tecnomatix – 3D modelování výrobních procesů, nabízí flexibilní ergonomický program Tecnomatix Jack. Pomocí tohoto software je možné v 3D prostoru vytvořit konkrétní pracoviště, vložit do něho virtuálního člověka, který má reálné biomechanické vlastnosti a zkoumat ergonomii.

Pro rychlejší a reálnější zadání pohybů funkcionalita programu umožňuje zapojení doplňkových modulů, které snímají pohyby skutečného člověka a předávají modely člověka do prostředí Jack. Existují dva nejvíce používané systémy pro sledování pohybů, a to Motion Capture a Microsoft Kinect.

Objektem zkoumání je ergonomický program Tecnomatix Jack a senzor pohybu Microsoft Kinect.

Předmětem zkoumání je studie možnosti propojení skeneru pohybu Microsoft Kinect a ergonomického software Tecnomatix Jack.

Cílem této bakalářské práce je prostudování zásad ergonomie v teorii a praxi, určení nejvýhodnějších podmínek pro snímání postojů v prostředí Jack pomocí senzoru Kinect a následovně vytvoření vhodného příkladu.

Pro dosažení daného cíle jsou nutné následující úkoly:

- prostudovat teoretické zásady ergonomie;
- prozkoumat technické možnosti senzora Kinect;
- naučit ovládání v softwaru Tecnomatix Jack;

- prozkoumat možnosti propojení Jack - Kinect.

Praktický význam této práce spočívá ve využití výsledků průzkumu a to jak při navrhování pracovišť, tak i při studii ergonomie již existujících pracovišť.

Struktura práce se skládá z úvodu, teoretické a praktické kapitoly a závěru.

Úvod ukazuje aktuálnost zkoumaného tématu, objektu, předmětů, cílů, úkoly a praktický význam této práce.

V teoretické části bude nastíněna historie vzniku a možnosti software Tecnomatix Jack, dále popsány technické parametry senzoru Kinect a sféry použití. Zvláštní část bude věnovaná studii vědy ergonomie.

V praktické části budou popsány technické aspekty propojení a využití Kinectu s programem Tecnomatix Jack, a také vypracovaný průzkum podmínek snímání daného propojení. Na základě tohoto výsledku průzkumu se také vytvořily vhodné příklady.

V závěru budou uvedeny výsledky průzkumu, závěrečné výsledky, přínos práce a nápady pro další průzkum této problematiky.

1 Siemens

1.1 Úvod

Siemens AG je německý nadnárodní koncern, patří mezi největší elektrotechnické firmy v České republice a již 125 let je nedílnou součástí českého průmyslu. Centrála se nachází v Berlíně a Mnichově. Své technologie, výrobky a služby dodává zákazníkům do soukromého i státního sektoru. Siemens AG nabízí své řešení pro oblast průmyslu, energetiky, dopravy a veřejné infrastruktury, technologie budov a zdravotnictví. Siemens AG patří k největším poskytovatelům technologií šetrných k životnímu prostředí. Je jedničkou na trhu v instalaci offshore větrných elektráren, jedním z hlavních dodavatelů pro paroplynové zdroje a technologií pro přenos energie. Siemens patří mezi průkopníky řešení v oblasti veřejné infrastruktury, průmyslové automatizace a softwarových řešení pro průmysl. Společnost je také předním dodavatelem zdravotnických zobrazovacích zařízení a technologií pro laboratorní diagnostiku. [1]



Obr.1 Centrála v Mnichově [1]

Obory činnosti koncernu:

- automatizace průmyslových procesů;
- zpracovatelský průmysl a pohony;
- stavební technologie;
- zpracování ropy a plynu;
- energetický management;
- větrné elektrárny a obnovitelné zdroje. [1]

1.2 Společnost Siemens PLM Software

Společnost Siemens se ve svých dceřiných společnostech specializuje na různé odvětví jako je například společnost PLM Software. Ta je ve svém odvětví předním světovým poskytovatelem softwaru pro správu životního cyklu výrobku (PLM) a správu výrobních operací. [2]

Nabídka a popis softwarových produktů společnosti:

1. *Teamcenter* je dobrým pomocníkem v orientaci rostoucí složitostí výrobků. Maximalizuje tak produktivitu, optimalizuje globální operace. Zjednodušeně umožňuje dosažení obchodních cílů a zavádění inovací výrobků.

2. *Active Integration* jen vhodný pro vytvoření spolupráci mezi již výše zmíněným Teamcenterem a dalšími typy systémů podnikových aplikací. Správná data tak jsou vždy v rámci podniku okamžitě použitelná, díky obousměrné výměně informací.

3. *NX* plně pokrývá rozsah produktového designu, rozsahem vývojových procesů, výroby a také simulací. Nejširší nabídka integrovaných a plně asociativních průmyslových CAD/CAM/CAE, umožňuje společně a firmám využívat a podporovat postupy aplikací, nabízí nejširší portfolio integrovaných a plně asociativních průmyslových CAD/CAM na základě včasného zachycení, včetně opakovaného využívání produktových a svých procesních znalostí

4. *Solid Edge* jako seznam softwarových nástrojů, pokrývají všechny aspekty vývoje výrobku od 3D návrhu přes simulace a vlastní výrobu až po správu návrhů. Solid Edge lze tedy jednoznačně označit jako unikátní synchronní technologii, spojující flexibilitu, rychlost a jednoduchost a to realizací přímé tvorby modelů s výše uváděnou flexibilitou parametrického navrhování.

5. *Fibersim* jsou společné programy, které jsou vhodné pro výroby nezbytné pro vývoj inovativních, odolných a lehkých produktů a dílů vyráběných z moderních kompozitních materiálů a to včetně jejich komplexních návrhů.

6 *Syncrofit* jedná se o specializované strojírenské produkty pro navrhování a výrobu složitých sestav a rozsáhlých leteckých konstrukcí. Je vhodným a nepostradatelným pomocníkem při vytváření a spravování montážních rozhraní a tisíce spojovacích prvků typických pro trup letadel.

7. *Seat Design Environment (SDE)* je software, který je plně integrován do komerčních 3D CAD systémů pro navrhování a výrobu inovativních systémů sedadel a interiérových komponentů dopravních prostředků.

8. *Femap* je nativní aplikace Windows fungující jako FEA preprocesor i postprocesor nezávislý na konkrétním CAD systému nebo řešiči. Je vhodný pro konstruktéry a analytiku, jako jednoduché, přesné a cenově dostupné řešení i těch nejsložitějších úloh modelování metodou konečných prvků (FEA).

9. *LMS* přináší celou řadu testovacích systémů, softwaru pro mechatrickou simulaci a inženýrské služby. LMS se skládá z : LMS Imagine.Lab, LMS Virtual.Lab, LMS Samtech, LMS Testing Solutions. Zároveň řeší komplexní inženýrské nápady a představy a spojuje je s inteligentním systémovým navrhováním a modelem řízeného systémového inženýrství.

10. *Quality Planning Environment* načítá data přímo ze 3D CAD modelů, eliminuje ruční úkony a automatizuje nezbytné operace, což vede ke zjednodušení plánování kontrol kvality.

11. *PLM* komponenty např.: Parasolid, D-Cubed, Geolus Search, JT Open, Kineo, PLM Vis, PLM XML, Rulestream Engineer-to-Order jsou tím správným a vhodným nástrojem výrobních podniků, které jim umožňují dokonale společně sdílet informace, data s partnery a dodavateli bez ohledu na PLM aplikace používané jinými organizacemi.

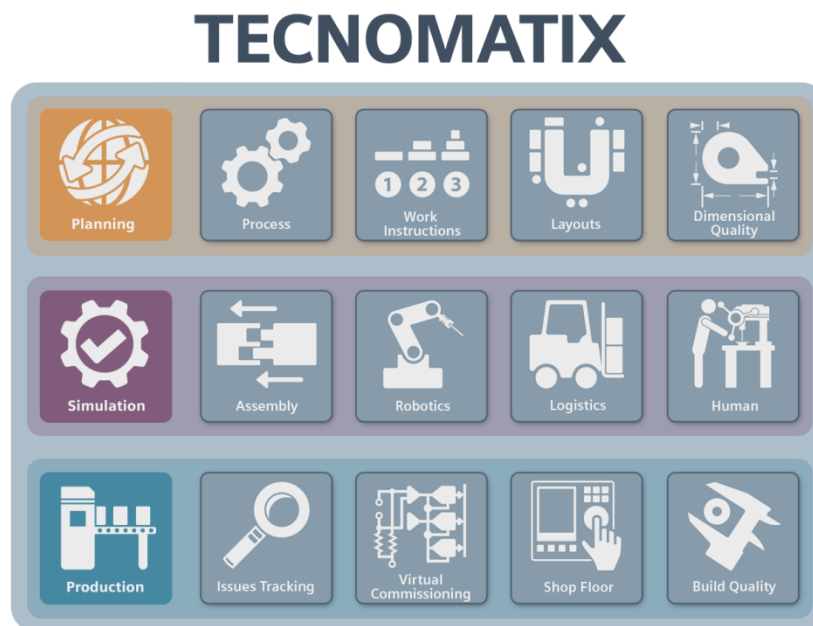
12. *Tecnomatix* jako kompletní portfolio nabízí a poskytuje řešení digitální výroby. Umožňuje realizovat inovace synchronizováním engineeringu, návrhu výroby a výroby samotné. Také balík zahrnuje ergonomický software Tecnomatix Jack. [3]

2 Tecnomatix Jack Kde? Co? A jak?

2.1 Software od Tecnomatix

Tecnomatix je to balíček softwarových produktů, založených na otevřené platformě PLM, umožňující efektivně plánovat, navrhovat, analyzovat a optimalizovat výrobní procesy pomocí digitálního modelování v 3D prostoru, tak zvaná "Digitální továrna".

Hlavní výhodou softwarů od Tecnomatix je předvídat chyby, které by se objevily až při rozjezdu výroby.



Obr.2 Oblasti působení produktů Tecnomatix [3]

Balík Tecnomatix zahrnuje tyto moduly:

1. *Process Designer* umožňuje vytvořit 3D továrnu a tím plánovat, analyzovat a zefektivňovat výrobní procesy;

2. *Process Simulate* umožňuje udělat simulace a analýzu výrobních procesů.

Process Simulate Human je simulace a analýza výrobních operací z hlediska realizace a ergonomie pracovníků.

Process Simulate Robotics a *Process Simulate Spot* je statická nebo dynamická simulace rozmístění a dosahu robota, odhalení kolize a optimalizace pracoviště.

Process Simulate Assembly je analýza montážních procesů a odhalení možných komplikací při montáži.

3. *Plant Simulation* je tvorba a dynamická simulace fabrik, linek a pracovišť. Tím se určují úzká místa, zatížení a propustnost systému.

4. *Factory CAD/FactoryFLOW*, tyto dva moduly se používají jako nadstavba softwaru AutoCAD. Slouží pro 3D projektování logistických a výrobních systémů. Umožňují optimalizovat výrobní prostor na základě analýzy materiálových toků a nákladů. Mají jak ohromnou vlastní knihovnu, tak i nástroje pro vytvoření 3D objektu.

5. *Jack* je flexibilní ergonomický modul, umožňující vytvořit konkrétní pracoviště a antropometrický a biomechanický model člověka. Modul nabízí velké množství ergonomických analýz. [3]

2.2 Kratce o „Jacku“

Rozměry lidského těla a jeho možnosti jsou důležitými parametry při vývoji a navrhování nových výrobků, přípravě výroby, projektování pracovišť a pod. Proto se v mnohých oblastech rozšiřuje potřeba vytvoření virtuálního modelu člověka současně s 3D modelem pracoviště a nebo procesu, na kterém se člověk podílí. Takovým softwarem je Tecnomatix Jack od Siemens, který byl vyvinutý v 80. letech minulého století za podpory NASA na Pensylvánské univerzitě. Program využívá populační data z průzkumu personálu americké armády z roku 1988 (ANSUR 88 – Anthropometric Survey of U.S.Army). Na základě těchto dat je možné v programu jednoduše vygenerovat rozměry postavy na základě výšky, váhy nebo percentilu populace. [4]

Ergonomický softvér Tecnomatix Jack využívají při své práci nejen průmysloví inženýři, ale i lékaři, dopravní služby a jiní odborníci.

Jack je moderní ergonomický software, který umožňuje vytvořit konkrétní pracovní prostředí a vložit tam antropometrický model člověka, který má reálné biomechanické vlastnosti s přirozeným pohybem a rozsahem kloubů. Program také umožňuje vytvořit jak ženu „Jill“, tak i muže „Jack“.

Na základě pracovního postupu můžeme model nastavit do určité polohy a následně analyzovat fyzickou zátěž. Také dokážeme hodnotit dosahové zóny, zorné pole a možnost výskytu úrazu. Zároveň je možné realizovat nejpoužívanější ergonomické analýzy jako MTM, RULA, NIOSH, Lower Back Analysis, Static Strength Prediction, Fatigue Recovery a další. Většina analýz podporuje hodnocení operátora nejenom staticky ale i dynamicky. Pohyby Jacka můžeme vytvářet dvěma způsoby: ručně nebo pomocí speciálního zařízení. A to Motion Capture a druhé je skaner od Microsoft – Kinect.

Motion Capture je to technologie vytvořená pro snímání pohybu, speciální oblek s více snímači a nebo se mohou snímače dávat na oblečení.

Výhody: sledování pracovníka kontinuálně, rychlost.

Nevýhody: finanční náročnost, nutnost snímání s více kamer.

3 Microsoft Kinect

3.1 Úvod

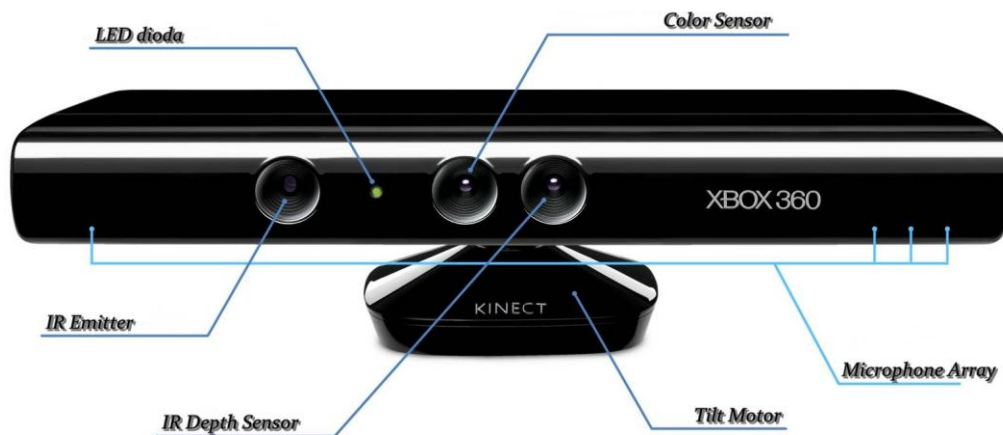
V dnešní době vývoj a výzkum interakce člověka a techniky, založeného na rozeznávání postav a vizuálnímu předvedení se multimediální informace stává jedním zprvořadých úkolů vývojářů a těm podobná rozhraní dává za úkol využití přirozených způsobů komunikace člověka, takových jako je hlas, gesta, mimika a jiné modalitty při ovládání technikou.

S takovým řešením v roce 2010 přišla firma Microsoft. Ta předvedla světu bezkontaktní sensorový ovladač Kinect pro herní konzolu Xbox 360, a později v roce 2011 uvedla nové zařízení určené pro propojení s počítačem – Kinect for Windows.

Periferní zařízení Kinect dává možnost ovládat hry bez pomoci klasického herního ovladače Xbox 360 prostřednictvím gest a hlasu. Tento vynález zaujal nejenom hráče počítačových her, ale také inženýry a vynálezce z celého světa.

V současnosti sensor našel využití ve více oblastech. Například ve zdravotnictví jej používají při rehabilitaci nemocných po těžkých zlomeninách pro analýzu chůze. Inženýři jej využívají pro vytvoření 3D map vnitřních prostředí a okolností a také pro 3D skenování. V robotice Kinect využívají jako sensor pro určení překážek na cestě k robotice. V kinoprůmyslu zařízení našlo uplatnění pro vytvoření animovaných 3D modelů s přirozenými pohyby. Také sensor našel své uplatnění v ergonomii. Kinect umožnil řízení modelů člověka v ergonomickem programu Tecnomatix Jack. [5]

3.2 Princip fungování senzoru Kinect



Obr.3 Senzor Kinect for XBOX360 [6]

Senzor se skládá z 6 hlavních komponentů:

1. *IR Emitter* – infračervený zářič má za úkol vyzařovat infračervené paprsky, které se odraží od objektu a vracejí se zpátky, kde jsou zachyceny IR Depth senzorem.

2. *IR Depth Sensor* (senzor hloubkový) – přijímač infračervených paprsků. Přijímá od objektu odražené infračervené paprsky a tímto způsobem se staví, dá se klidně říci, že se jedná o matici vzdálenosti – celkový obraz.

3. *Color Sensor* je barevný CMOS senzor, který dává barevný 2D obraz scény.

4. *Microphone Array* je pole z čtyř vestavených mikrofonů, které umožňuje určit polohu zdroje zvuku a směr zvukových vln. Toto umožňuje ovládání hlasem. Pomocí zvukového zpracovače Kinect-resident, je zařízení schopné potlačovat echo a snižovat šumy.

5. *Tilt motor* je servomotor sloužící pro korekce úklonu snímače. Díky čemu kompenzuje rozdíl výšek mezi snímačem a sledovaným objektem a také umožňuje, aby objekt zůstal v zorném poli kamer.

6. *Procesor PS1080* zpracovává přijatou informaci ze senzoru a převádí do VGA rozlišení.

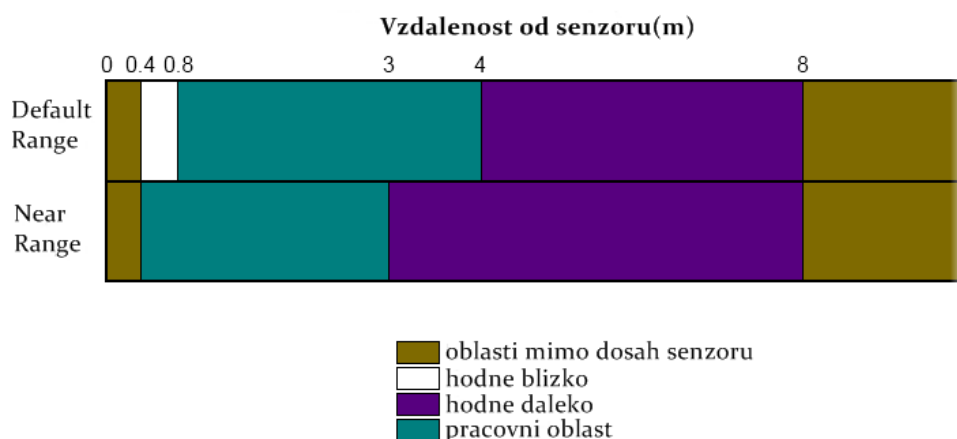
Senzor se připojuje do počítače pomocí USB konektoru, i když má odlišné firmware než standardní USB zařízení. [7]

3.3 Technické parametry senzoru Kinect

Kinect	Parametry
Zorné úhly	43° svisle a 57° vodorovně
Rozsah náklonu	+/- 27° svisle, automaticky díky servomotoru
Snímková frekvence	30 snímků za vteřinu (FPS)
Zvukové parametry	16 kHz, 16 bit mono PCM
Vstupní zvukové parametry	Pole 4 mikrofonů s 24bit ADC a Kinect-resident filter pro potlačování echo a snižování šumu
Parametry akcelerometru	2G / 4G / 8G akcelerometr nakonfigurován pro řadu 2G, přičemž horní hranice přesnosti 1°

Tab.1 Technické parametry senzoru Kinect [7]

Také jedním z hlavních parametrů hardwaru je rozptýl „pracovní“ distance, totiž na jaké vzdálenosti je senzor schopen „vidět“ objekty. Na obrázku zobrazené údaje vhodných vzdálenosti od firmy Microsoft. [7]



Obr. 4 Režimy a pracovní vzdálenosti senzoru Kinect [7]

Režim Default Range mohou používat jak Kinect for Windows tak i Kinect for Xbox, ale režim Near Range je jenom pro senzor Kinect for Windows.

4 Ergonomie

4.1 Úvod do Ergonomie

Práce od doby kam až sahá lidská paměť patří k základním lidským činnostem. V současnosti průměrný člověk stráví na pracovišti zhruba 35 – 40 roků, což představuje podstatnou část života.

Jedním ze základních výrobních faktorů je lidská práce, na niž nelze pohlížet jako na nehmotnou složku podnikání. V konečném důsledku celý výrobní systém závisí právě na lidech. Na kombinaci schopností pracovníka, a to zručnosti a rychlosti, záleží konečná kvalita a efektivita výrobního procesu, její zvýšení má přímý dopad na zlepšení konkurenceschopnosti firmy. V současné době je jedním z hlavních prostředků pro udržení konkurenceschopnosti firem zvyšování produktivity výrobního procesu. Stupňují se nároky na plynulost pracovního procesu a úspory výrobních nákladů. Optimalizace lidské činnosti je často jedna z nejvýznamnějších prostředků právě pro dosažení těchto cílů. Ergonomie je však mnohdy na pracovištích řešena firmami pouze z nutnosti dodržování nařízení vlády, což je velká chyba. Je důležité nahlížet na ergonomii mnohem komplexněji a považovat ji za důležitou součást výrobní politiky. Aby společnosti dokázaly vydržet pracovní nasazení po celý produktivní pracovní život, stává se ochrana a zachování zdraví při práci prioritou číslo jedna. Proto čím dál tím víc si uvědomují, že za svůj úspěch ve výrazné míře vděčí zaměstnancům, a proto by se mělo těmto potřebám věnovat dostatečně velkou pozornost.

Zájem o ergonomii především ze strany podnikatelských společností i veřejnosti za poslední období výrazně roste, protože pochopily, že ergonomicky vhodné řešení pracovišť je přínosné z mnoha hledisek. Aby zaměstnanec byl schopen pracovat, musí být zajištěny vhodné podmínky pro práci a naopak nevhodné pracovní podmínky mohou firmám způsobovat výrazné komplikace.

Z pohledu zaměstnance dokáže ergonomické pracoviště zajistit větší spokojenost v práci, menší monotónnost, méně únavy, včetně zdravotních problémů vzniklých právě v důsledku nevhodných pracovních podmínek. Takový zaměstnanec dokáže pracovat kvalitněji, efektivněji a dělat méně chyb, což pro firmu to znamená snížení nákladů spojených s vyplácením různých náhrad v důsledku nemoci, odškodnění pracovních

úrazů, vzniku nemocí z povolání, které byly zapříčiněné neergonomickým nastavením pracovišť. Dále také pak zůstávají zaměstnanci pracovat ve svých společnostech a nevznikají náklady spojené s hledáním nových pracovníků a jejich zaškolováním. Ergonomie má také podíl i na rozvoji sociální a společenské oblasti v rámci rozvoje firem a růstu životní úrovně. V budoucnosti bude nutné zabývat se ergonomickou otázkou ještě více, protože podle odhadů demografického vývoje obyvatelstva není ideální stav. Posouvá se doba odchodu do důchodu a tak bude nutné zabezpečit zaměstnancům optimální pracovní podmínky, aby bylo vůbec možné zvládnout náročné pracovní tempo i ve starším věku. Proto v dnešní době je nejlepším řešením, díky ergonomickým softwarům, takovým jako Tecnomatix Jack, že je každý nový projekt ergonomicky vyřešen a navržen dříve, než je na něm zahájena sériová výroba.

4.2 Co je ergonomie?

Pojem *ergonomie* je převzatý z anglického slova *ergonomics*, který původně pochází z řečtiny a vzniknul spojením dvou slov: *ergon* = práce, výkon a *nomos* = zákon, pravidlo. [8]

Vedle termínu ergonomie se používá i několik synonymních názvů, jako například Human Factors, Biotechnology, Human Engineering a pod. [9]

Název byl přijat na sjezdu Společnosti ekonomických věd v Londýně roku 1956. V USA zůstal název inženýrská psychologie (humanengineering), v Německu se udržuje název věda o práci (Arbeitswissenschaft).

Předmětem zkoumání ergonomie je vzájemná interakce člověka, stroje a pracovního prostředí.

Hlavním cílem ergonomie je především ochrana fyzického i psychického zdraví pracovníka, bezpečnost práce, efektivní nastavení pracovní činnosti a zajištění optimálních podmínek pro osobnostní a kariérní rozvoj zaměstnanců.

Ergonomii lze zařadit mezi jedny z nejmladších vědních oborů zkoumajících zákonitosti lidské práce. V dnešním pojetí, spojuje aplikované vědní disciplíny jako je psychologie práce, fyziologie práce, hygiena a bezpečnost práce, sociologie a antropometrie. Obecně ji lze chápat jako studium pracovního výkonu s důrazem na bezpečnost pracovníka a produktivitu. [10]

4.3 Vyvoj ergonomie

Vývoj ergonomie a ergonomického myšlení souvisí s vývojem pracovní činnosti člověka. S postupným rozmachem průmyslu, techniky, dělbou práce docházelo k postupnému zlepšování.

V 16. a 17. století nastal prudký rozvoj průmyslu, dopravy, stavebnictví. Otázkou člověka a jeho postavení v práci se zabývali mnohé významné osobnosti jako např. francouzský architekt de Belidor, který vytvořil časové studie práce, generál Vauban zase přišel na to, že v létě může člověk pracovat až 10 hodin, ale v zimě jen 7. Organizací pracovní doby se zabýval i fyzik A. Coulomb, který v roce 1785 stanovil 8-hodinovou pracovní denní dobu. Také zjistili, že průměrná osoba dokáže unést 62,7 kg až do vzdálenosti 17 km.

Prvním racionálním přístupem k pracovní činnosti byl tzv. taylorismus. Vynalezl je slavný americký inženýr F. W. Taylor, který se zabýval pohybovými a časovými studii. Největším jeho přínosem byla vyšší intenzifikace práce, eliminace zbytečných pracovních pohybů a časů. Ale byl také kritizovaný za nepřiměřenost k možnostem člověka.

Mezi oběma válkami nastal rozmach výzkumu pracovních podmínek (osvětlení, hluk, atd.), organizací práce, únavou, vlivy na pracovní výkon a pod. Američan H. Ford sledoval a uvědomoval si vliv pracovní aktivity člověka.

Další vývoj byl zaznamenán ve třech hlavních oblastech:

- psychologie práce,
- inženýrská psychologie,
- sociální psychologie a sociologie,

Vedle toho se pochopitelně rozvíjely i další ostatní vědy jako:

- psychologie,
- fyziologie,
- antropologie,
- management atd.

V průběhu druhé světové války společnost dospěla k závěru, že je potřebné vytvořit nový vědní odbor, který by integroval existující poznatky a řešil komplex:

člověk – technika – pracovní prostředí a v druhé polovici 20. století vzniklo v Londýně pojmenování nové moderní vědy – ergonomie. [11]

V současné době je ergonomie mezinárodně zastřešovaná Mezinárodní ergonomickou společností (International Ergonomics Association – IEA). Organizace sdružuje ergonomické společnosti z Evropy, USA, Austrálie, Japonska a podílí se na normalizačné dokumentace (ISO). [12]

4.4 Ergatičnost

System člověk – technika – prostředí je vedle ergonomie předmětem zkoumání mnohých vědních oblastí, jako je hygiena práce, bezpečnost práce, ekologie, technické estetiky, organizace práce a dalších.

Pro efektivní a systémové řešení je potřebné vytvořit metodický přístup, který zachovává komplexnost a zároveň zvládá mnohonásobné překrytí jednotlivých vědních odborů. Z teoretických i praktických důvodů je vhodné použít nový komplexní přístup, který plní všechny potřebné požadavky řešící interakci člověka a stroje. Pro komplexní pojetí systému člověk – technika – prostředí je možné tak použít termín *ergatičnost*.

Ergatičnost je vědný odbor, který optimalizuje systém člověk – technika – prostředí s cílem zajistit pohodu člověka a zabránit ohrožení jeho zdraví úrazem nebo nemocí. Nízká ergatičnost (hodnoty blíží se k 0) znamená stav systému, který vysoko ohrožuje zdraví člověka. Vysoká ergatičnost (hodnoty okolo 1) znamenají dobře zvládnuté podmínky bezpečnosti práce, ergonomie, hygieny, estetiky a jiných požadavků.

Opakem ergatičnosti systému je škodlivost systému, která určuje míru ohrožení zdraví a psychofyziologické pohody člověka při pracovní činnosti. [11]

4.5 Hlavní cíle ergonomie

Hlavním cílem ergonomie je zvýšení efektivity práce při současném snížení úrazovosti a zatížení organismu. To znamená, že práce se přizpůsobuje fyziologickým a psychickým možnostem člověka právě tak, aby při ní spotřeboval co nejméně biologických rezerv a byla maximálně bezpečná.

K dosažení optimálního stavu systému člověk – stroj, je tedy nutné nejprve analyzovat vlastnosti člověka, protože ten je pro nás nejdůležitější a poté se zabývat strojem. V praxi by to ale znamenalo postavit stroj podle člověka, což v mnoha případech nelze. Proto se hledají různé kompromisy, kterých se dosáhne propojením více oborů (humanitní a technické vědy).

Mezi hlavní cíle ergonomie patří:

- ochrana psychofyziologického zdraví – odstranění nevhodných pracovních poloh, velkých působících sil a zbytečné manipulace se závažím,
- bezpečnost práce – odstranění rušivých a únavových faktorů (hluk, vibrace), které mohou způsobit nepozornost a zvýšit riziko úrazu, zakomponování automatických bezpečnostních prvků do pracovního systému,
- zvýšení efektivity práce – nepotřebných činností a nadměrné zátěže, což povede ke snížené časové náročnosti práce a ke zlehčení práce,
- zajištění podmínek pro kariérní růst – zlepšování pracovních podmínek zvýší motivaci zaměstnanců, rotaci po pracovištích, rozvine schopnosti pracovníků a odstraní monotónnost a stereotyp.
- uvažuje o cílech ergonomie podobným způsobem - za účel ergonomie považuje racionalizaci pracovních podmínek, zvyšování efektivnosti práce a spolehlivosti člověka při pracovní činnosti. [10]

4.6 Hlavní ergonomická zásada

Požadovanou pracovní úlohu můžeme přizpůsobit schopnostem a možnostem člověka v rámci jeho nejlepších podmínek pro jeho výkonnost, bezpečnost, zdraví a komfort.

Předpoklady pro uplatňování ergonomických zásad:

- ergonomicky myslet – hledat takové možnosti, které ulehčí práci s co možná nejnižší námahou,
- chovat se jako ergonom – předpoklad uskutečňování ergonomického myšlení v praxi. [10]

4.7 Oblasti ergonomie

Podle mezinárodní ergonomické společnosti (IEA) jsou tři základní ergonomické oblasti:

- Fyzická ergonomie – věnuje se vlivu pracovních podmínek a pracovního prostředí na zdraví člověka, při kterých uplatňuje poznatky z anatomie, antropometrie, fyziologie nebo biomechaniky. Zařazuje se sem i problematika pracovních poloh, manipulace se závažím, uspořádáním pracoviště, bezpečnost práce a pod.
- Psychická (kognitivní) ergonomie – se zaměřuje psychologickými aspekty pracovní činnosti. Patří sem psychická zátěž, rozhodovací procesy, výkonnost, interakce člověk – počítač, pracovní stres atd.
- Organizační ergonomie – se soustřeďuje na optimalizaci sociotechnických systémů. Zařazujeme se řešení režimu práce a odpočinku, práci ve směnách, týmové práce, sociálního a kulturního klimatu na pracovištích a pod. [12]

Vedle základních oblastí ergonomie jsou speciální oblasti ergonomie:

- Myoskeletální ergonomie – předmětem je prevence profesionálně podmíněných nemocí pohybového aparátu (především páteře a horních končetin z přetížení). Těmto zdravotním problémům se také říká „ergonomické nemoci,,. Na rozdíl od úrazů mají postupný začátek a jejich riziko se zvyšuje nadměrným vynakládáním síl, vnitřní pracovní polohou a pod.
- Psychosociální ergonomie – se zaměřuje psychologickými požadavky na práci a stresovými faktory. Výrazně se podílí na výběru zaměstnanců na adekvátní pracovní místo. Souvisí s myoskeletální ergonomií, protože stres a další psychologické a sociální faktory podstatně ovlivňují výskyt nemocí pohybového aparátu.
- Participační (účastnická ergonomie) – je nedávno vzniknutá oblast ergonomie, která vznikla v Japonsku a která má v současnosti široké uplatnění. Podstatou tohoto druhu ergonomie jsou změny v uspořádání pracoviště, které jsou navrhované a realizované ve spolupráci a spoluúčasti samotných zaměstnanců, případně i za účasti managementu, ale i odborových organizací daných společností. Aktivní zapojení zaměstnanců přispívá k lepší pracovní motivaci a snaze o zlepšení pracovního místa a pracovních podmínek.
- Rehabilitační ergonomie – se věnuje profesní přípravě hendikepovaných osob, ale také technickým opatřením, t.j.konstrukčním úpravám pracovního místa, použitých pracovních pomůcek, nástrojů tak, aby byly v souladu s výkonovou

kapacitou a zdravotními omezeními jednotlivých osob. Důležitými faktory jsou také i osobní a povahové motivace, schopnost adaptace a vůle daného jedince.

V dnešním moderním vnímání se ergonomie nevyskytuje jen v pracovním životě, ale zasahuje do všech mimopracovních oblastí, např. ergonomie v domácnosti, kuchyni, školských zařízeních, v zemědělství a dalších oblastech. [9]

4.8. Praktické otázky ergonomie

Ergonomie je mladá věda, která se neustále vyvíjí a mění. Vytvořily se základní přístupy k řešení praktických otázek ergonomie:

1) Postavení člověka v pracovním systému řešený ergonomií

Jde o řešení z hlediska vzájemných vazeb mezi pracujícím člověkem a pracovními prostředky a také mezi předměty a pracovním prostředím ve kterém se pracuje.

V rámci prvního uvedeného přístupu řeší ergonomie postavení člověka v pracovním systému s důrazem na:

a) antropometrii a biomechaniku:

- tělesné rozměry (statické a dynamické)
- pracovní polohy
- tělesné pohyby (anatomické a fyziologické omezení)
- svalové síly a energetický výdej,

b) mentální schopnosti – přijímané a zpracované informace ve spojení na výkon každého jedince,

c) interakce se strojem a strojním zařízením,

d) interakce s fyzikálním prostředím (pozitivní a negativní faktory),

e) interakce v pracovním procesu na pracovišti charakterizující pracovní podmínky – zátěžové situace. [10]

2) Základní oblasti výkonnostního omezení člověka.

Výkonnostní omezení člověka můžeme rozdělit do těchto základních oblastí:

a) smyslové – určené kapacitou schopností jednotlivých smyslových orgánů člověka, využívaných na přijímaných a zpracovaných informacích potřebných pro danou práci,

- b) mentální – dané kapacitou schopností a znalostí člověka nutných pro výkon práce,
- c) pohybové – kapacitou pohybového aparátu a vegetativních funkcí, energetického potenciálu k výkonu práce,
- d) prostorové – dané antropometrickými parametry člověka umožňující činnost ve vymezeném prostoru a pracovních oblastech,
- e) časové – určené fyziologickými zákonitostmi střídání činností a zatížením částí lidského organismu při práci. [10]

3) Uplatňování hodnotících kritérií

Pro potřeby analýzy, hodnocení a posuzování pracovního systému z ergonomického hlediska existuje komplex globálních kritérií, nebo části kritérií, které stanovují vyhovující podmínky pro systém člověk – pracovní prostředek – prostředí.

K základním hodnotícím kritériím patří:

- antropometrické kritéria – stanovují nevyhnutné podmínky pro rozměrové a prostorové řešení pracovního místa,
- fyziologické kritéria – vymezující např. podmínky pro vhodné využití fyzické kapacity člověka,
- psychologické kritéria – určují podmínky pro optimální využití smyslové a neuropsychické výkonnosti jedince,
- hygienické a bezpečnostní kritéria – stanovují např. podmínky pro bezpečnou práci bez ujmy na zdraví a pohodě člověka, "
- estetické kritéria – definují podmínky pro barevné řešení a uspořádání pracovišť. [10]

4) Poznatky ergonomie v rámci pracovního systému

Poslední z uvedených přístupů má většinou racionalizační charakter. Snaží se využít ergonomické poznatky například na:

- analýzu a hodnocení pracovních podmínek a jejich přizpůsobení na člověka,
- řešení regulace pracovní zátěže s ohledem na výkonnost člověka, řešení pracovních režimů a postupů při práci,
- návrhy úprav a konstrukčních řešení strojů z hlediska optimalizace jejich ovládání pracovníky,
- úpravy pracovního prostředí a okolí člověka,
- řešení vývoje a zdokonalení pracovních systémů (strojů) z pohledu spolehlivosti člověka. [10]

4.9. Ergonomické metody a analýzy při využití v praxi

Pro účely posouzení pracovních podmínek na pracovišti existuje v praxi více ergonomických metod a analýz.

4.9.1 Ergonomické checklisty

Využívání ergonomických checklistov má v ergonomii dlouhou historii. Profesor E. Grandjean publikoval jeden z prvních obsáhlých checklistov s cílem prozkoumat pracovní podmínky. Většina základních checklistov je pomocný popis, který zabezpečí, že přešetření pomocí checklistu je důkladné.

Podstatou metody je postavení vybraných ergonomických kritérií do jednoho kontrolního listu, tzv. checklistu, které jsou následně porovnávány s platnou legislativní úpravou v dané hodnotící oblasti. [13]

4.9.2 RULA

Ergonomická analýza RULA (Rapid Upper Limb Assessment) vznikla v roce 1993 a patří k nejmodernějším nástrojům využívaným v ergonomii. RULA je komplexní metoda určená na pozorování, identifikaci a hodnocení pracovních poloh při pracovním postoji a při manipulaci s věcmi. Metodika RULA nabízí jednoduchý výpočet muskuloskeletální zátěže při pracovních úlohách, při kterých jsou pracovníci vystaveni riziku zátěže krku a horních končetin. Vedle toho dále metoda hodnotí i polohu trupu a dolních končetin. Při hodnocení konkrétní pracovní polohy bere do úvahy nejen polohu jednotlivých částí těla, ale i hmotnost zvedaných věcí, použití svalů, silovou zátěž a repetitivnost pohybů. [14]

4.9.3 NIOSH

Metoda NIOSH nese název podle Národního institutu pracovní bezpečnosti a zdraví (National Institut of Occupational Safety and Health), který v roce 1993 přepracoval už

starší směrnice týkající se problematiky zvedání věcí. Výsledkem směrnice je doporučený hmotnost limit *RWL*, který představuje maximální hmotnost věcí pro minimálně 75 % ženské populace a až 99 % mužské populace. Určuje se také úroveň relativního fyzického pokoje, tzv. zdvíhací index *LI*, který je poměrem mezi skutečně zdvíhanou hmotností věcí a *RWL*, přičemž platí:

- $LI < 1$ riziko nehrozí
- $LI \geq 1$ riziko, nutné uskutečnit změny

Metoda NIOSH vychází z kombinace epidemiologických, biomechanických, fyziologických a psychologických výzkumů a tuto metodu je možné použít v případě:

- není žádné trhavé zdvíhání,
- jsou využité obě ruky,
- nejsou žádné omezení ve stání a je zabezpečená volnost pohybu,
- jsou dobré podmínky pro přenos síly (úchopové vlastnosti, obuv, podlaha),
- jsou příznivé podmínky pracovního prostředí,

Vedle uvedených ergonomických analýz existují i mnohé další, například OWAS (Owako Working Posture Analysing System), REBA (Rapid Entire Body Assessment), KIM a jiné, ale těm už se nebude věnovat pozornost. [14]

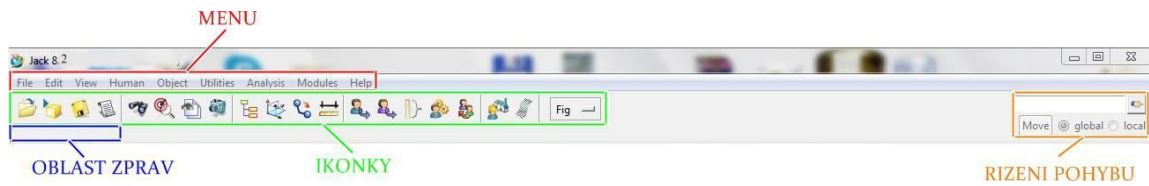
5 Rozhraní a ovládání Tecnomatix Jack 8.2

5.1 Popis obrazovky

Grafické uživatelské rozhraní se skládá ze dvou oken:

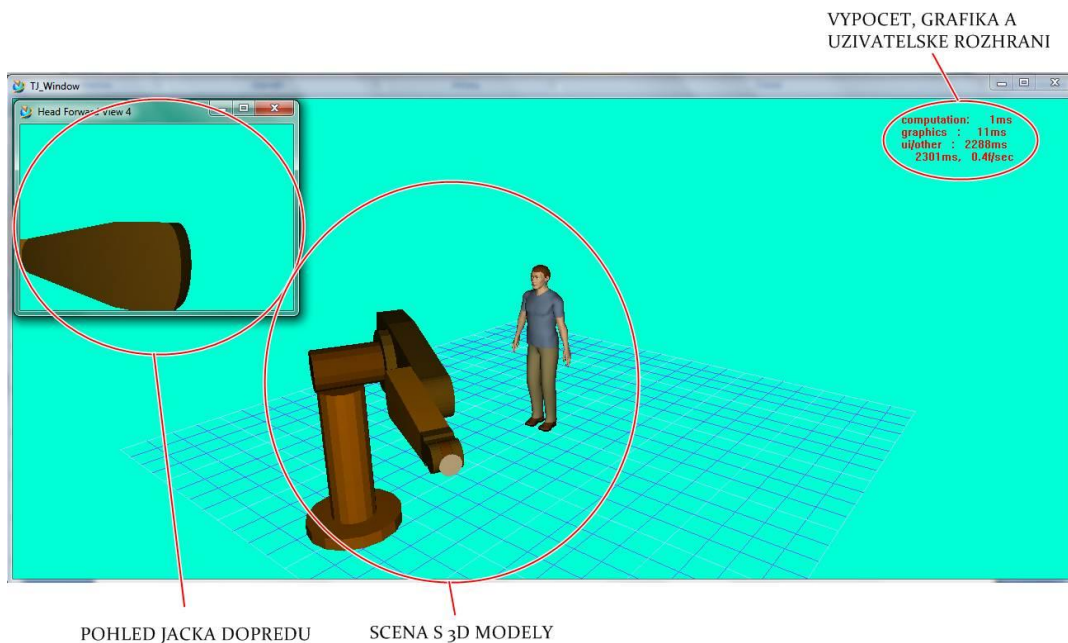
- Ovládací panel,
- Grafická plocha

Ovládací panel je složen z jednotlivých menu, ikon, okének řízení pohybů a oblastí zpráv.



Obr. 5 Ovládací panel Tecnomatix Jack 8. 2 [vlastní zpracování]

Grafická plocha zobrazuje scénu s 3D modely. Také může obsahovat okno „Task Simulation Builder“, okna doplňkových příkazů a více oken pohledu kamer. Nahoře vpravo se zobrazuje výpočet, grafika a uživatelské rozhraní.



Obr. 6 Grafická plocha Tecnomatix Jack 8. 2 [vlastní zpracování]

5.2 Popis ovládání

Pomocí záložky File můžeme otevřít (*open*), uložit (*save*), archivovat (*archive*), importovat (*import*) a exportovat (*export*) vytvořenou scénu.

Záložka Edit umožňuje upravovat scénu a to smazat poslední krok (*undo*), odstranit vytvořenou scénu (*delete scene*), měnit měřítko objektu (*scale*), scény a jednotlivého segmentu. Také důležitým prvkem záložky je tlačítko Key Bindings, které

umožňuje vytvářet klávesové zkratky pro rychlou práci s příkazy. Tlačítko System defaults dává možnost zadat barvu prostředí, grafické parametry, jednotky atd.

Záložka View dává možnost nastavit úhly a vlastnosti pohledu. Základními příkazy jsou vycentrovat scénu (Center all), zviditelnění objektů (*make all figures visible*), přepínání z drátového modelu na stínovaný a obráceně (*shade scene, wireframe scene*), zapínání projekce do os x, y, z (*figure projections*), vytváření vlastních pohledů (*view control*) a přizpůsobit rozmístění ikon (*toolbars*). Tlačítko Windows sets dává možnost otevírat více oken s pohledu ploch x,y ,z.

Záložka Human umožňuje vložit do scény muže - Jack nebo ženu - Jill (*create male, create female*) a také nastavit vlastnosti člověka, a to antropometrické (*open anthropometric scaling*), viditelnost, barvu obleků a přidat kotvy (*properties*). Pomocí tlačítka *Control* můžeme ukládat a upravovat postoje člověka, hýbat jednotlivými částmi těla a kloubů, nastavovat opěry a zónu pohybu, přidávat zatížení, směr pohledu a upravovat úchopy.

Pomocí záložky Object můžeme vytvořit souřadný systém (*create site*), nebo vazbu mezi dvěma segmenty či souřadnými systémy (*create joint*). Také můžeme upravovat uzly (*node*), hrany (*edge*) nebo plochy (*face*) objektů. Můžeme vytvořit světlo (*create light*), vložit jednoduchý CAD objekt (koule, kužel, elipsoid a td.) a také objekt z knihovny (*figure from library*)

Záložka Modules pomáhá vyvolat okna pro zadání úkolů člověka a pak to přehrát (*task simulation builder*). Může to být „jít,, (*go*) „vzít,, (*get*) „položít (*put*) atd. Můžeme tedy také propojit „Jacka“ se snímači pohybu jako Kinect či Motion Capture.

Záložka Analysis umožňuje provést ergonomické analýzy jako *Lower Back Analysis, Static Strength Prediction, NIOSH, Metabolic Energy Expenditure, OWAS, RULA, Force Solwer* a další.

6 Propojení Jack - Kinect

6.1 Úvod

Tecnomatix Jack je software s rozšířenými technickými možnostmi. Díky vestaveným modulům, pro ovládání modelem člověka, je možné zapojit senzor Kinect a zařízení Motion Capture.

Společnost Microsoft krátce po uvedení zařízení Microsoft Kinect na trh uvolnila otevřené plug-iny, čili uživatelé si mohou doprogramovat i vlastní plug-iny, na doplnění funkcionality a propojení tohoto senzoru s různými softwary, což dává neuvěřitelné možnosti využití senzoru.

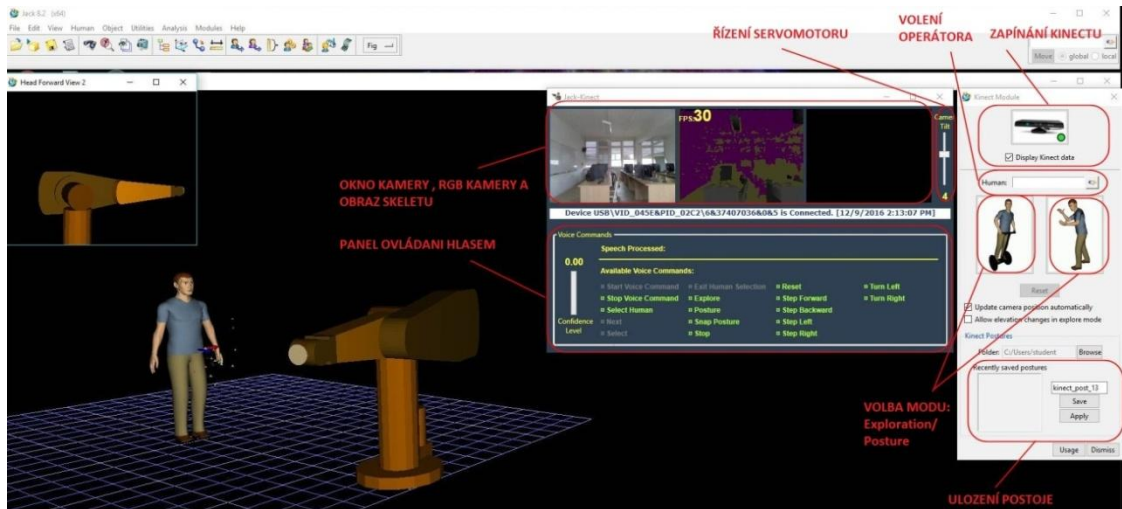


Obr. 7 Schéma propojení Jack – Kinect [vlastní zpracování]

Po nainstalování driverů Kinect Developer Toolkit 1.5 a Kinect for Windows SDK v 1.5 v prostředí Jack (je třeba mít aktivní senzor Kinect) se nám načte nové okno se základními funkcemi.

Plug-iny Kinectu obsahují hlasové ovládání, takže většinu povelů je možné provádět pouze prostřednictvím hlasových povelů. Takovým způsobem je možné aktivovat jeden ze dvou hlavních módů, vybrat konkrétního operátora, uložit pracovní polohu nebo přesunout případně pootočit figurínu.

6.2 Rozhraní senzoru Kinect



Obr. 8 Rozhraní senzoru Kinect [vlastní zpracování]

Hlavní okno Kinectu má dva základní módy:

1. *Exploration mode* - je zaměřen na prohlídku 3D prostředí. Vybereme si konkrétního pracovníka a po jeho aktivaci si můžeme „rychlou zběžnou vizuální kontrolou“ prohlížet pracovní prostředí. Pohyb figuríny je ovládané prostřednictvím rukou. Jednou rukou řídíme pohyb doprava a doleva a druhou rukou zase pohyb nahoru a dolů.

2. *Posture mode* - Kinect díky body-tracking rozpoznává jednotlivé končetiny postavy v zorném poli a tyto jsou přenášeny na vybranou figurínu v prostředí Jack. Figurína člověka v softwaru má 69 kloubových spojení. Konkrétní pracovní poloha se dá nastavit až po konečky prstů. V současnosti není možné tímto způsobem sledovat pohyby prstů. Kinect však pro nastavení konkrétní pracovní polohy v současnosti dokáže zachytit 20 kloubových spojení. Kloubní spojení jsou využívány z takzvaného skeletu, který obsahuje figurína. Namodelované pracovní polohy je možné uložit do knihovny poloh a zpětně je přiřadit operátorovi a vyhodnotit zatížení. Druhou možností je aktivovat konkrétní analýzu a hodnotit zatížení operátora dynamicky během celého pracovního úkonu. Současná verze plug-inu však neumožňuje zachytit tento pohyb a zpětně ho přehrát jako u obleku Motion Capture. Výhodou takového vytváření pohybů je časová nenáročnost, nevýhodou je nižší přesnost namodelované pracovní polohy, protože je využíváných pouze 20 kloubových spojení.

Dále vidíme vizuální okno, kde se zobrazuje analogový obraz postavy člověka, RGB obraz postavy cloveka a postava skeletu (skeletal tracking).

7 Průzkum možností propojení Jack – Kinect

7.1 Průzkum ovlivnění podmínek svítivosti na snímání scény

Obecně je k domácí videokameře pro natočení videa nutný nějaký zdroj osvětlení, buď slunečné nebo umělé osvětlení. A co Kinect? Ovlivňuje svítivost na určení-poznání lidské postavy? Tento dotaz jsem si zadal úplně na začátku všech průzkumů. Protože pokud nevíme za jakých podmínek svítivosti může korektně fungovat Kinect, není ani možné provádět další průzkum.

Protože Kinect snímá pohyby pomocí technologie, která používá IČ záření, hypotetický můžeme připustit, že senzor může sledovat lidskou postavu i při nízké úrovni svítivosti.

Pro výzkum jsem použil luxmetr pro určení podmínek svítivosti a zároveň byl přítomen i můj kamarád v role snímaného člověka.

Průzkum byl proveden za podmínek různého stupně svítivosti s denním a také umělým osvětlením, pomocí stropních svítidel učebni místnosti a byly vyzkoušeny různé vzdálenosti od senzoru a to 2; 3; 3,5 m.

Výsledky průzkumu jsou znázorněné v následující tabulce

Vzdálenost od Kinecta, m	Přírodní osvětlení, lux			Umělé osvětlení, lux	
	1193	207	0	199	414
2	OK	OK	OK	OK	OK
3	OK	OK	OK	OK	OK
3,5	OK	OK	OK	OK	OK

Tab.2 Výsledky průzkumu ovlivnění podmínek svítivosti [vlastní zpracování]

kde OK – senzor snímá lidské pohyby.

Dle výsledků výzkumu je vidět, že podmínky svítivosti senzorem na určení lidské postavy nemají vliv. Dokonce i při svítivosti 0 lux (úplná tma), senzor určuje

pohyby do prostředí Tecnomatix Jack a předává je se stejnou rychlostí a přesností jako při denním osvětlení 1193 luxů.

Také experimentem bylo prozkoumáno ovlivnění oblečení s různým stupněm odražení světelných paprsků, tedy tmavé a světlé oblečení. V důsledku experimentu bylo určeno, že barva oblečení na snímání senzorem pohybů také nehraje žádnou roli. Proto můžeme říci, že hypotéza vyjádřená na začátku průzkumu je dokázána.

Po analýze výsledků zkoumání se dá říct, že snímat scény v prostředí Tecnomatix Jack pomocí Kinectu můžeme za jakýchkoliv podmínek svítivosti.

7.2 Průzkum vzdálenosti a úhlu snímání scény

Všechno ve světě má omezení a Kinect také není žádnou výjimkou. Pro vytvoření propojení Jack – Kinect je důležité vědět optimální a maximálně možné podmínky snímání lidské postavy, a konkrétní vzdálenosti a úhly snímání. Tyto parametry jsou hlavní při vytvoření scény.

Na základě technických parametrů skeneru je možné předpokládat, že čím blíže se nachází člověk, tím skener bude přesněji snímat a „předávat“ tyto pohyby figuríně v prostředí Jack, samozřejmě za podmínky, že se snímáný objekt nachází v zorném poli Kinecta.

Pro doplňkový výzkum byl použit stativ, upravený pro Kinect, také dále luxmetr pro určení podmínek svítivosti v učební místnosti a zároveň byl přítomen můj kamarád v roli modela člověka pro potřebu snímání.

V průběhu výzkumu byly vyzkoušené vzdálenosti od senzoru, v oblasti pracovního rozsahu, 2; 3; 3,5, a také prozkoumána hranice maximálního dosahu senzoru a provedeno snímání na vzdálenost 4 metry. Prozkoumané povolené úhly otáčení lidské postavy a také výšky instalace senzoru, konkrétně 1; 1,5; 2,5. Zorné pole senzoru ve vodorovném směru nehraje významnou roli, protože díky servomotoru jej můžeme nastavovat.

Naměřené výsledky jsou znázorněné v následující tabulce:

Uhel otočení snímaného člověka, °	Vzdálenost od Kinecta, m											
	2			3			3,5			4		
	Výška umístění Kinecta, m											
	1	1,5	2,5	1	1,5	2,5	1	1,5	2,5	1	1,5	2,5
0	OK	OK	NOK	OK	OK	NOK	OK	OK	NOK	OK	NOK	NOK
30	OK	OK	NOK	OK	OK	NOK	OK	OK	NOK	OK	NOK	NOK
60	OK	OK	NOK	OK	OK	NOK	OK	OK	NOK	NOK	NOK	NOK
75	OK	OK	NOK	OK	OK	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK
90	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK
120	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK	NOK

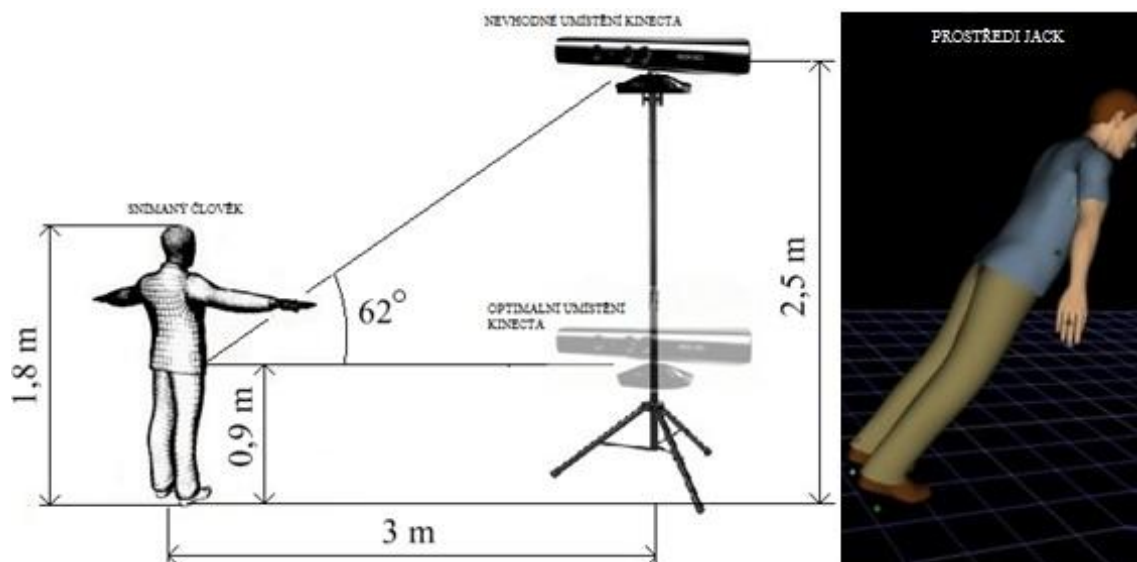
Tab.3 Výsledky snímání lidské postavy Kinectem [vlastní zpracování]

kde: OK – vhodná pozice člověka pro snímání postoje;

NOK - nevhodná pozice člověka pro snímání postoje.

Průzkumem bylo zjištěno, že při otáčení člověka více jak na 75° skener už přestává vidět pravou nebo levou stranu člověka a tím pádem počítačový model ztrácí informace o poloze končetin. Při ztrátě informací takto zakrytých končetinách, je program umísťuje do pozic nevhodných pro další použití. Také při zadním otočení (otočení více jak na 90°) skener přestává rozeznávat postavu člověka. Proto pozice 75° a více nejsou vhodné pro snímání scén.

Dále v průběhu průzkumu bylo zjištěno, že optimální výška umístění skeneru je přibližně střed snímaného objektu, protože bylo dokázáno, že čím výše je umístění skeneru od kolmice k středu snímaného člověka, tím je vyšší sklon figuríny v prostředí Jack.



Obr. 9 Optimální a nevhodné umístění Kinecta [vlastní zpracování]

Na základě průzkumu tedy můžeme říci, že maximálně doporučená výška umístění skeneru je 1,5 m (úhel úklonu člověka v prostředí Jack bude stanoven do 16°), což neovlivňuje výsledky ergonomických analýz. Optimální výška bude střed snímaného člověka, tedy průměrného Evropana tj. 0,8-1m.

Průzkumem vzdálenosti snímání skeneru byl udělán závěr, že optimální vzdálenost pro snímání lidské postavy jsou 2m, protože při větším oddálení od skeneru přesnost určení se trochu snižuje a na vzdálenosti 4 m od skenerů vůbec mizí. Toto je možné vysvětlit principem provozu skeneru, přičemž pro určení vzdálenosti (hloubky obrazu) každého bodu snímaného objektu, skener vyzařuje IČ paprsky a ty se pak odrážejí od objektu zpátky do IČ přijímače. Proto čím je snímáný objekt vzdálenější, tím větší je úroveň rozptylu IČ paprsků, a tak i při určení lidské postavy, se chyba Kinecta zvětšuje.

V důsledku zkoumání můžeme udělat závěr, že pro vytvoření scény v prostředí Jack pomocí skeneru Kinect je optimální vzdálenost 2m, optimální úhel otočení lidské postavy k skeneru je do 75°, optimální výška umístění skeneru je 0,8-1m (vždy individuálně). Zároveň také můžeme připustit, že pro zkoumání ergonomie skutečného pracoviště bude potřeba mít 2-3 skenery Kinect najednou.

7.3 Průzkum ovládání hlasem

Jak již je uvedeno výše, díky plug-inam Kinecta většinu povelů v prostředí Jack můžeme provést pomocí hlasových povelů. To je hodně užitečná funkce, protože díky ní máme možnost neodpoutávat pozornost od vytvoření scény a zadávat celou řadu povelů jako: volit konkrétního operátora, přepínat mody Posture a Exploration, přesouvat nebo pootočit figurinu, uložit pracovní postoj a další.

Protože Kinect má v sobě pole složené ze čtyř mikrofonů a zpracovávач zvuku je schopný potlačovat echo a snižovat šумы do 20 dB můžeme připustit, že v poli zachycením hlasu ve vzdálenosti do 4m, skener musí rozeznávat hlasové povely.

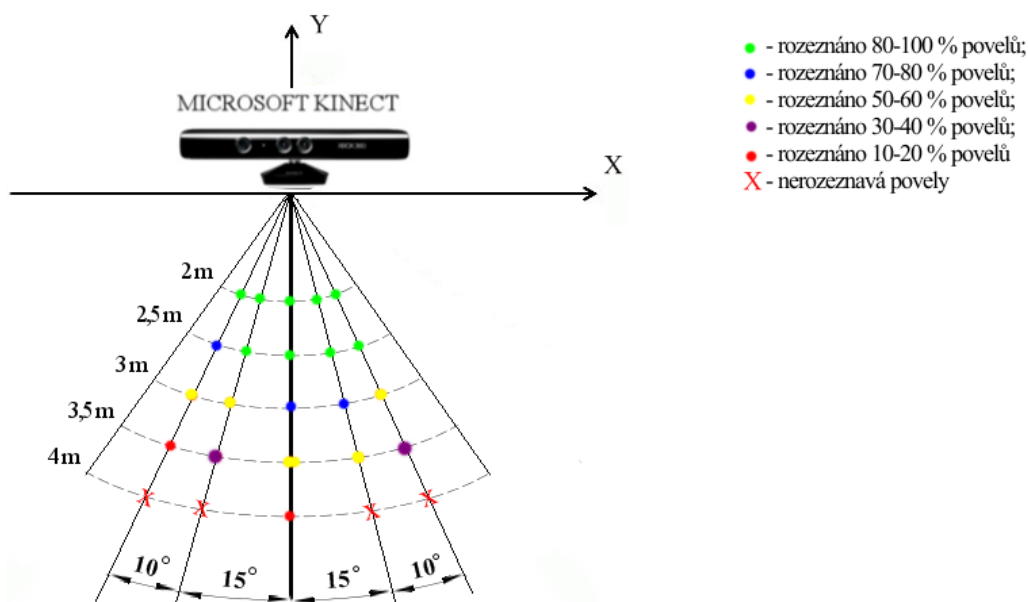
Protože maximální úhel zorného pole kamery je 57° vodorovně (podle technických údajů výrobce) a optimální výška snímání scény je 0,8-1m, byl prozkoumán tento konkrétní rozsah. Výzkum byl uskutečněn v neděli v jedné z učeben univerzity, tím pádem byla zajištěna i nízká úroveň hluku.

V průběhu průzkumu byly vyzkoušené vzdálenosti od Kinecta 2; 2,5; 3;3,5; 4 m a také úhly +/- 25°, výška umístění byla optimální , a to 1 m . Byly zjištěny následující výsledky znázorněné v tabulkové podobě. Rozeznávání hlasových povelů senzorem je vyjádřeno v procentech v poměru počtu správně určených hlasových příkazů k celkovému počtu zadaných povelů.

Úhel, °	Vzdálenost od Kinecta, m				
	2	2,5	3	3,5	4
-25	80	70	50	10	X
-15	80	80	60	30	X
0	100	90-100	70	50	10
+15	80-90	80-90	70-80	50	X
+25	80-90	80	50	30	X

Tab. 4 Výsledky rozeznávání hlasových povelů Kinectem [vlastní zpracování]

Dále je grafické znázornění průběhu výzkumu schopnosti Kinecta rozeznávat hlasové povely



Obr. 10 Grafické znázornění schopnosti Kinecta rozeznávat hlasové povely [vlastní zpracování]

Dle výsledků je zřejmé, že na vzdálenost 2m je nejlepší úspěšnost rozeznávání hlasových povelů. Čím dále se člověk nachází od senzoru a také čím větší je úhel, tím schopnost rozeznávat hlasové povely se klesá. A také můžeme sledovat, že vlastnost rozeznávat hlasové povely pravé části sledované oblasti je o něco kvalitnější než v levé části. Tento jev můžeme vysvětlit danou konstrukcí skeneru, protože v pravé části Kinectu jsou rozmístěny tři mikrofony, a v levé – jeden.

Po analýze výsledků sledování můžeme udělat závěr, že technologie rozeznávání hlasových povelů pro vytvoření scény se dá používat na vzdálenost do 3,5 m. Přitom se musí zachovávat nízká úroveň hluku. Nejlepšími pozicemi s hlediska rozeznávání hlasových povelů jsou 2-2,5 m v rozmezí od -15° do $+15^\circ$.

Tím pádem je částečně vyřešen problém přítomnosti druhého člověka při vytvoření scény pomocí Kinectu, tudíž výzkumník může být současně modelem pro snímání pracovních postojů v prostředí Jack.

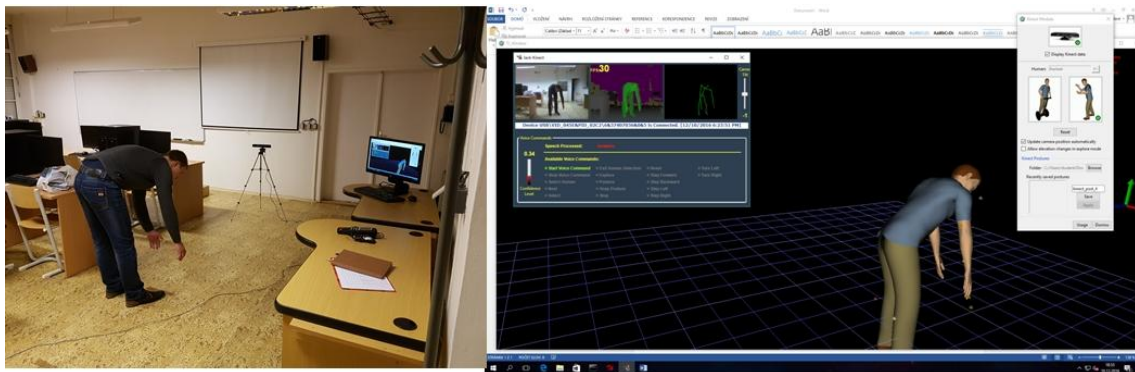
7.4 Snímání postojů

Pro vytvoření scény v prostředí Jack pomocí senzoru Kinect je nutné prozkoumat možnosti snímání konkrétních postojů. Proto byly prozkoumané postoje, kdy může docházet k překrytí končetin.

7.4.1 Snímání postojů „naklopení dolů“

Postoj „naklopení dolů“, který se ve výrobním procesu často používá pro zvednutí výrobků, balících materiálů a také přímo při balení nebo manipulaci s výrobkem.

Postoj byl prozkoumán na optimální vzdálenosti od senzoru – 2 m, výšce umístění senzoru – 1 m.



Obr.11 Snímání postoje „naklopení dolů“ (optimální poloha) [vlastní zpracování]

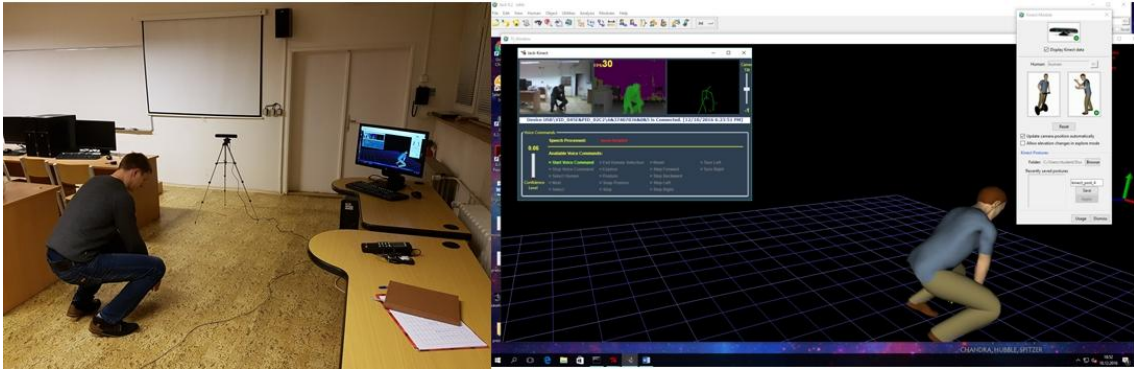
V průběhu výzkumu bylo zjištěno, že optimální poloha pro snímání postoje je pozice čelem do Kinectu (otočení 0°), maximálně dovolené pozice při otáčení snímaného člověka do 50° , při větším otočení dochází k překrytí končetin a tím senzor ztrácí informaci o jejich poloze. Také nastává i komplikace s určením postoje člověka při úplném ohybu k podlaze. Senzor přestává rozlišovat kde jsou ruce a kde jsou nohy, proto tyto pozice nejsou vhodné pro snímání. Při svěšení rukou se musí dbát, aby nepřekrývaly nohy.

Po analýze výsledků se dostáváme k závěru, že optimální polohou pro snímání scény je pozice čelem do skeneru (bez otočení), maximální úhly otáčení snímaného člověka do 50° , ale vždy je třeba dbát, aby nedošlo k zakrytí končetin.

7.4.2 Snímání postojů „sedění“

Tato pozice se ve výrobních procesech využívá výjimečně při manuálních pracích.

Průzkum této pozice probíhal v podstatě úplně stejně jako i z pozice „naklopení dolů“. Výška umístění senzoru – 1 m, vzdálenost od senzoru – 2 m.



Obr. 12 Snímání postoje „sedění“ [vlastní zpracování]

V důsledku průzkumu bylo zjištěno, že optimální polohou pro snímání scény je pozice čelem do skeneru (bez otáčení), maximální úhly otáčení snímaného člověka je do 50°, ale vždy se má předejít zakrytí končetin.

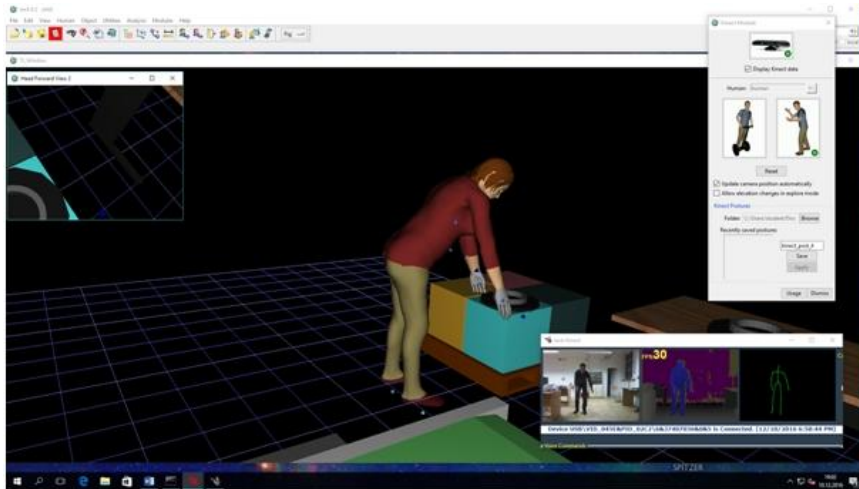
8 Vytvoření scény

Na základě všech výše uvedených průzkumů a určení optimálních podmínek pro snímání, byla vytvořena scéna, simulace reálného pracoviště.

Pro snímání scény „předběžně“, v prostředí Jack bylo vytvořeno virtuální pracoviště s pracovníky Jack a Jill.

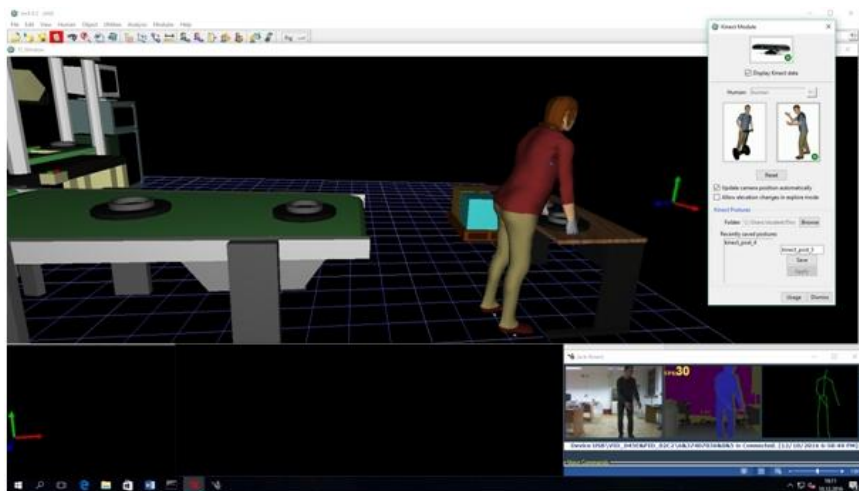
Postup vytvoření scény:

Jill vytahává polotovary bočního krytu motoru z kartonové krabice (pozice 1)



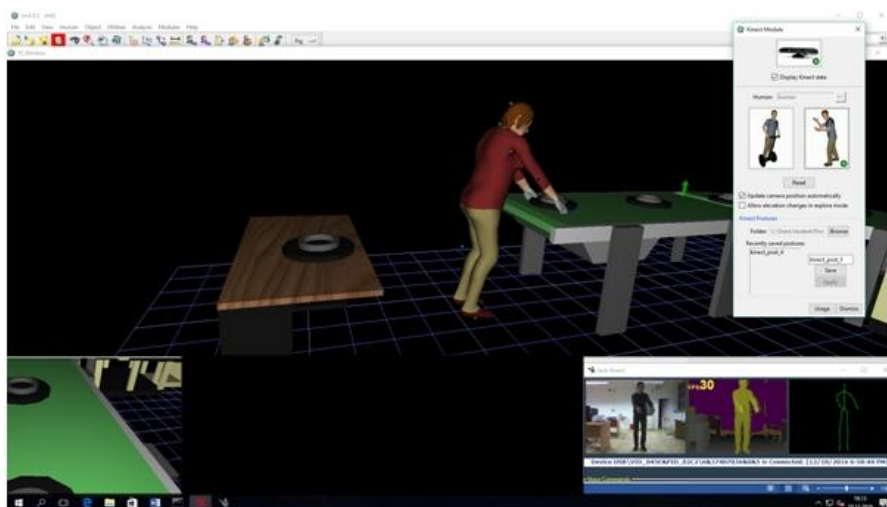
Obr.13 Snímání pozice 1 [vlastní zpracování]

dává to na stůl a kontroluje (pozice 2).



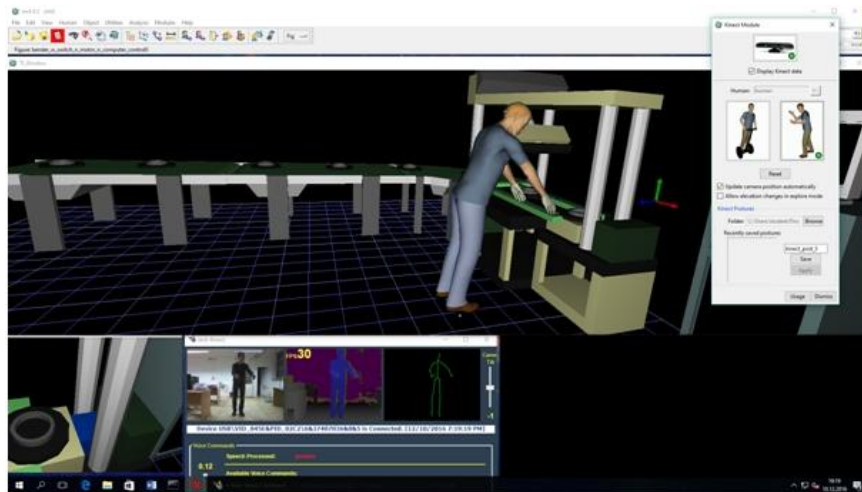
Obr.14 Snímání pozice 2 [vlastní zpracování]

Po kontrole polotovaru jej dává na pás (pozice 3).



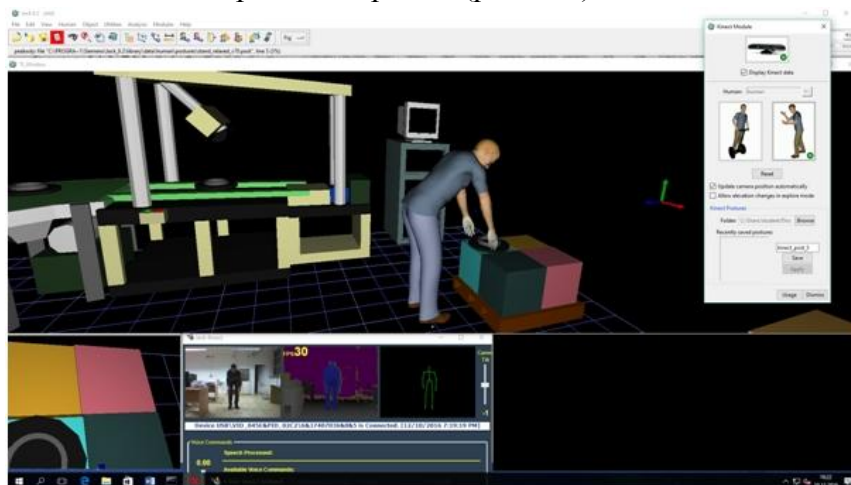
Obr.15 Snímání pozice 3 [vlastní zpracování]

Pak se polotovar dostava do lisu, kde se do výrobku přidává konečná forma a Jack ho bere (pozice 4)



Obr.16 Snímání pozice 4 [vlastní zpracování]

a dává do kartonové krabice pro další operace (pozice 5).



Obr.17 Snímání pozice 5 [vlastní zpracování]

Scéna byla vcelku vytvořena rychle, ale z důvodu, že senzor nerozpoznává pohyby prstů, musela se u každé pozici udělat korekce uchopů. Postoje byly nasnímané mnou osobně při pomoci hlasových povelů, a proto měly nepřesnosti a proto se musely upravit ručně a některé nasnímat znovu.

Závěr

Původně herní konzole Microsoft Kinect každým dnem nabývá popularity nejenom u počítačových hráčů, ale i u inženýrů a vynálezců z celého světa. Své uplatnění Kinect našel v mnoha klíčových odvětvích, jako zdravotnictví, vzdělání a kultura, průmysl, doprava, spojení, věda a další.

V důsledku stálé modernizace zařízení a strojů, a také zrychlování výroby, ergonomie ještě dlouhou dobu bude potřebovat průzkum a osvojení inovačních metod a cest řešení jejich problémů.

Díky ergonomickému plánování výroby se sníží úroveň nemocí z povolání, zajistí se menší fyzická a psychická únava a spokojenost v práci. Tím si firmy ušetří náklady za nemocenské a hledání nových pracovníků a jejich zaškolení a také se zajistí vyšší efektivita práce.

V teoretické části byla prozkoumána historie vytvoření, možnosti software Tecnomatix Jack a také byla potvrzena důležitost programu pro řešení otázek ergonomie. Byly také prostudovány technické parametry, principy fungování a oblasti uplatnění senzoru Microsoft Kinect. Zvláštní část byla věnována průzkumu vědy ergonomie. Byla určena pojmy, zásady, hlavní cíle, praktické otázky vědy ergonomie a předloženy některé z ergonomických analýz.

V praktické části bylo nejprve prozkoumáno uživatelské rozhraní a ovládání programu Tecnomatix Jack a senzoru Kinect, dále prozkoumána technická stránka propojení Jack – Kinect a ovládání virtuálního člověka pomocí Kinecta.

Po seznámení s programem a senzorem pro zjištění optimálních podmínek snímání scény, byl za prvé realizován průzkum svítivosti, který ukázal, že za různých podmínek denního a umělého osvětlení a také s oblečením různého stupně odrazení světelných paprsků (tmavě a světle) snímání postojů probíhá se stejnou přesností. Dokonce i když je úplná tma (0 luxů), snímání postojů se uskutečňuje stejně, tedy i při denním osvětlení (1193 luxů). Tuto skutečnost je možné vysvětlit principem fungování senzoru, založenou na vyzařování infračervených paprsků.

Za druhé – průzkum vzdálenosti a úhlu, v důsledku kterého byly zpracované výsledky, že optimální vzdálenost pro snímání je 2m, maximální – 3,5 m, optimální pozice – frontální (čelem do skeneru), maximální úhel otočení snímaného člověka do 75°(pak se ztrácí informace o umístění končetin). Co se týče výšky umístění snímače

bylo zjištěno, že optimální výška umístění je kolmice od středu snímaného člověka, tedy pro průměrného Evropana tj. 0,8-1 m (vždy individuálně).

Za třetí byl proveden průzkum ovládání hlasem a bylo zjištěno, že nejlepšími pozicemi jsou 2- 2,5 m v rozmezí od -15° do $+15^\circ$, čím dále od skeneru, tím schopnost k rozeznávání povelů samozřejmě klesá a tak 3,5 m je maximální vzdálenost. Pro můj názor je to velmi užitečná funkce, protože je tím vyřešen problém přítomnosti dvou lidí pro vytvoření scény, tudíž „výzkumník – realizátor zkoumání,“ může být současně i modelem pro snímání postojů.

Za čtvrté bylo prozkoumáno snímání postojů často užívaných při práci ve fabrikách, výrobních halách atd., a to „naklopení dolů“ a také při manuálních pracech – „sedění“. Tyto pozice jsou horší na snímání, protože při těchto pozicích rozmístění kloubu je bližší než u pozic vestoje a proto často dochází k překrytí končetin a tím není možné použít snímání. U obou pozic je maximální možnost otočení k senzoru do 50° .

Po zjištění možnosti tohoto propojení a určení optimálních podmínek snímání postojů pomocí hlasových povelů byl vytvořen vhodný příklad. A to simulací výrobní linky pro výrobu bočního krytu motoru.

Základními výhodami propojení Jack – Kinect pro tvorbu scény tak jsou:

- rychlejší vytvoření scény;
- dostupnost senzoru (poměrně nízká cena);
- není potřeba mít na sobě doplňkový oblek, jako např. systém Motion Capture;
- možnost ovládání pomocí hlasových povelů;
- možnost snímat reálné pracoviště,

ale také jsou i určité nevýhody:

- nejde snímat scénu dynamicky, ale pouze v určitých pozicích;
- omezené úhly snímání a nutnost Kinectu „vidět“ na celého člověka;
- nejde nasnímat pohyby prstů, proto je nutný postpúrocessing (úprava uchopu)

Na základě všech výše uvedených průzkumů můžeme udělat závěr, že propojení Jack – Kinect má potenciál při navrhování pracovišť, a také je možné jej použít při studii ergonomie již existujících pracovišť, ale za podmínek uvedených při výzkumu dané

bakalářské práce. Také by se dalo domnívat, že pro snímání postojů, kde je riziko zakrytí končetin, je lépe použít dva skenery Kinect najednou, ale zatím toto řešení program nepodporuje.

Přínosem této práce je určení nejvýhodnějších podmínek snímání scény při navrhování výroby a ergonomické analýzy skutečných pracovišť pomocí systému Jack – Kinect. Také i využití jako podnět pro další průzkum této problematiky.

Další vylepšení tohoto systému Jack – Kinect by mohlo směřovat k zapojení dvou senzoru Kinect najednou, ale pro tyto cíle by programátoři Siemensu měli vylepšit konfiguraci tohoto programu. Pak by se dalo prozkoumat snímání pohybů prstů, jelikož ovladače Kinectu toto umožňují. Tady je zase rozhodování o této problémové otázce na programátorech firmy Siemens.

Použita literatura a internetové zdroje:

- [1] <http://www.siemens.com>
- [2] <http://www.plm.automation.siemens.com>
- [3] <http://www.ideal-plm.ru>
- [4] BAUMRUK, M. Ergonomické simulace podnikových procesů: Školící prezentace 2009 [cit- 2013-02-07]
- [5] WEBB, J. and ASHLEY, J. Beginning Kinect programming with the Microsoft Kinec SDK
- [6] <https://developer.microsoft.com>
- [7] <http://msdn.microsoft.com>
- [9] GILBERTOVÁ, Sylva a Oldřich MATOUŠEK, 2002. Ergonomie: optimalizace lidské činnosti. 1. vyd. Praha: Grada, 239 s. ISBN 80-247-0226-6.
- [10] KRÁL, Miroslav, 2002. Pět kroků chronologického postupu ergonomického zkoumání a hodnocení v rámci pracovního systému. Vyd. 1. Praha: Výzkumný ústav bezpečnosti práce, 27 s. ISBN 8023888749.
- [11] CHUNDELA, Lubor, 2001. Ergonomie. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 171 s. ISBN 80-01-02301-x.
- [12] KOVÁČ, Jozef a Edita SZOMBATHYOVÁ, 2010. Ergonómia. 1. vyd. Košice: Technická univerzita v Košicích, Strojní fakulta, 121 s. ISBN 978-80-553-0538-7
- [13] HLÁVKOVÁ, Jana a Alena VALEČKOVÁ, 2007. Ergonomické checklisty a nové metody práce při hodnocení ergonomických rizik. 1. vyd. Praha: Státní zdravotní ústav, 91 s. ISBN 978-80-7071-289-4
- [14] STANTON, Neville, c2005. Handbook of human factors and ergonomics methods. Boca Raton: CRC Press, 1 sv. (různé stránkování). ISBN 0-415-28700-6.