

Technická univerzita v Liberci

Fakulta strojní

Katedra výrobních systémů

Obor : Výrobní systémy

Zaměření : Výrobní systémy

Analýza pracovní zátěže pomocí počítačové simulace

KVS – VS –081

Miroslav Holenda

Vedoucí bakalářské práce: Doc. Dr. Ing. František Manlig

Konzultant bakalářské práce: Ing. Ondřej Lada

Počet stran : 48

Počet příloh : 0

Počet obrázků : 33

Počet tabulek : 3

Počet grafů : 6

Počet modelů

nebo jiných příloh : 0

V Liberci: 27. 5. 2010

Bakalářská práce KVS-VS-081

TÉMA: Analýza pracovní zátěže pomocí počítačové simulace

ANOTACE: Tato bakalářská práce se zabývá ergonomickou simulací pracoviště, analýzou pracovní zátěže operátora multifunkčního obráběcího centra Mazak Integrex 100 IV a následnou optimalizací pracoviště. Po zhodnocení současného stavu se hledá řešení s menší zátěží na pracovníka, které umožní vykonávat danou činnost co nejsnáze. Pro simulaci se vybere nejvhodnější metoda hodnotící vliv práce na člověka, která se uplatní v simulačním programu Tecnomatix Process Simulate.

Desetinné třídění :

Klíčová slova : ergonomie, simulace, Process Simulate, Process Designer, OWAS, NIOSH, RULA, LOWBACK

Zpracovatel : TU v Liberci, Katedra výrobních systémů

Dokončeno : 2010

Archivní označení zprávy :

Počet stran : 48

Počet příloh : 0

Počet obrázků : 33

Počet grafů : 6

Počet tabulek : 3

Počet modelů

nebo jiných příloh : 0

Bakalářská práce KVS-VS-081

TOPIC: Working stress analysis through computer simulation

ANNOTATION: This bachelor thesis focuses on ergonomic simulation of workplace, working stress analysis of the operator of the Multi-Tasking Turning Centers Mazak Integrex 100 IV and consequent workplace optimisation. The solution with lower working stress, which enables to accomplish an activity in the most effortless way, is being looked for after evaluation of present status. The most suitable method evaluating the influence of work on a person, which will be applied in the simulation program Tecnomatix Process Simulate, is being chosen for simulation.

Desetinné třídění :

Klíčová slova : ergonomics, simulation, Process Simulate, Process Designer, OWAS, NIOSH, RULA,LOWBACK

Zpracovatel : TU v Liberci, Katedra výrobních systémů

Dokončeno : 2010

Archivní označení zprávy :

Počet stran : 48

Počet příloh : 0

Počet obrázků : 33

Počet tabulek : 3

Počet grafů : 6

Počet modelů

nebo jiných příloh : 0

Prohlášení

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou diplomovou 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 diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou 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.

Diplomovou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum: 27.5.2010

.....
Miroslav Holenda

Poděkování

U příležitosti odevzdání bakalářské práce bych chtěl poděkovat svým rodičům a prarodičům za velkou morální podporu během mého studia. Zapomenout bych neměl ani na své přátele, kteří mi jakýmkoliv způsobem při studiu pomohli. Také bych chtěl poděkovat katedře Výrobních systémů a obzvlášť pak doc.Dr.Ing. Františku Manligovi a Ing. Ondřeji Ladovi, kteří mi svými odbornými konzultacemi pomohli při vzniku této bakalářské práce.

Obsah

1. Úvod a cíle	9
2. Ergonomie.....	9
2.1. Obecný popis ergonomie.....	9
2.2. Základní pojmy	9
2.3. Důvody proč se zabývat ergonomií	10
2.4. Dynamická a statická práce svalů	10
2.5. Metody hodnotící vliv práce na člověka	10
2.5.1. Metoda OWAS	11
2.5.2. Metoda NIOSH.....	12
2.5.3. Metoda RULA	14
2.5.4. Metoda 3D SSPP	17
2.6. Vliv obalu na ergonomii	18
3. Počítačová simulace ergonomie	19
4. Praktická část.....	21
4.1. Popis současného stavu.....	21
4.1.1. Uspořádání pracoviště	25
4.1.2. Předpokládané nedostatky pracoviště.....	26
4.2. Tvorba modelu pracoviště v digitální továrně Tecnomatix 9.1	26
4.2.1. Popis tvorby modelu v Process Designer	26
4.2.2. Rozhýbání modelu v Process Simulate.....	30
4.4. Optimalizace	36
4.4.1. Popis optimalizovaného stavu.....	36
4.4.2. Popis provedeného zlepšení.....	38
5. Hodnocení a porovnání	39
5.1. Porovnání původního a optimalizovaného stavu	39
5.2. Porovnání u metody OWAS.....	41
5.3. Porovnání u metody LOWBACK.....	42
5.4. Porovnání u metody RULA	44
6. Závěr	46

Seznam použitých zkratk a symbolů

W...práce [J]

t...čas [s]

F...síla [N]

P...výkon [W]

s...dráha [m]

NIOSH...National Institute for Occupational Safety and Health

OWAS... Owako Working Posture Analysing System

RULA...Rapid Upper Limb Assessment

3D SSPP...University of Michigan 3D Static Strength Prediction Program

1. Úvod a cíle

V dnešní době je pro podniky velice nutné se zabývat ergonomií. Protože zdravý a spokojený pracovník pracuje lépe, než kdyby tomu bylo naopak. Nemocný pracovník přináší podniku problémy, jak po stránce personální, tak také i finanční. Zaměstnavatel musí vytvořit takové pracovní podmínky, aby vykonávaná práce byla pro pracovníka udržitelná po celou pracovní dobu a to v co největší tělesné, duševní i sociální pohodě. Cílem ergonomie a zaměstnavatele je ochraňovat pracovníka před onemocněním, tzn. všeobecná a celková prevence. Prevencí se rozumí včasné rozpoznání projevujících se nemocí (preventivní prohlídky) a odstranění jejich příčin.

Cílem této práce je zhodnocení současného stavu pracovních činností obráběcího centra Mazak a následně navrhnout optimální řešení daného problému.

Optimalizací tohoto pracoviště budou odstraněna biomechanická přetížení působící na člověka. [1],[3]

2. Ergonomie

Slovo **ergonomie** pochází z řeckého slova *ergon* (práce) a *nomos* (zákon, pravidlo). Je to věda zabývající se optimalizací lidské činnosti, která je dosažena pomocí vhodně uspořádaných pracovišť, vhodně tvarovaných nástrojů (používané předměty a nástroje svým tvarem co nejlépe odpovídaly pohybovým a tělesným možnostem člověka), tak aby byla vykonávaná práce co nejsnadnější a přirozená pro člověka. [1,3]

2.1. Obecný popis ergonomie

Ergonomie se opírá o různé obory, jež se zabývají lidskou činností (pracovní lékařství, hygiena práce, sociologie, obecná psychologie, statistika, architektura prostředí, akustika) [1]

2.2. Základní pojmy [1]

$$W = P \cdot t$$

W...práce [J]

P....výkon [W]

t.....čas [s]

$$W = F \cdot s$$

F...síla [N]

s...dráha [m]

2.3. Důvody proč se zabývat ergonomií

Výkonnost pracovníka je ovlivněna především fyzickou konstrukcí (mohutnost kostry, množství svalové hmoty, trénovanost), krevním oběhem (jeho výkonností a vytrvalostí), aktuálním stavem (klidem, rozrušením, únavou), duševními schopnostmi (inteligencí, vnímavostí, úroveň vzdělání), rychlost reakce na určité situace. Pracovník není schopen udržet stejné fyzické i duševní pracovní zatížení po delší pracovní dobu. [1]

2.4. Dynamická a statická práce svalů

Dynamická práce svalů: dochází při ní k střídání období stahů a prodlužování (napětí a odlehčování). Sval se při zátěži tedy stále prokrvuje a odkrvuje.

Statická práce svalů: ta se naopak projevuje stísněním cév během svalového stahu a to má za následek, že sval je zaškrcený a musí tedy spotřebovávat své vlastní zásoby kyslíku. Ve svalech se hromadí produkty výměny látek a ty svým hromaděním způsobují bolesti až křeče v namáhaných partiích. Tento způsob námahy je tedy pro lidský organismus velice vyčerpávající a tudíž ho lze provádět jen po dobu omezenou. Následky můžou být dočasné (organismus se zotaví během několika minut), ale můžou přerůst až v následky trvalé (záněty šlach, záněty kloubů, poškození cév, potíže s páteří).

Lidská činnost se skládá ze statické a dynamické práce svalů. Jako příklad lze uvést práci ve stoje. Dolní končetiny jsou staticky namáhané a od pasu nahoru je trup a horní končetiny namáhány dynamicky. [1]

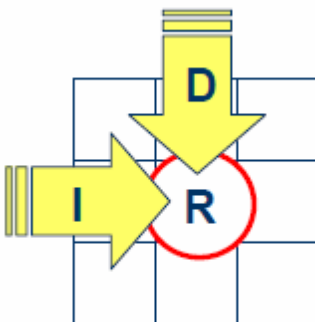
2.5. Metody hodnotící vliv práce na člověka

Při analýze prostředí se pracuje s několika metodami. Každá metoda má své specifická kritéria, která hrají v dané metodě svou významnou roli. Pro hodnocení potenciálních rizik se často používají kontrolní listy tzv. checklisty. Jsou to v podstatě soubory kritérií, které by měly být vzaty v úvahu při porovnání s odpovídajícími legislativními opatřeními, jako jsou různé předpisy, normy, vyhlášky. Nevýhodou checklistů je, že jsou příliš obecné.

2.5.1. Metoda OWAS

Metoda OWAS monitoruje ergonomické rizika zaviněná biomechanickým přetížením. OWAS bere na vědomí různé druhy zatížení, kterým jsou vystavena záda, ruce, nohy a hlava. Určuje škodlivost polohy při statickém zatížení pracovníka. Obsahuje 4 kategorie závažnosti ergonomického zatížení a tedy i ukazuje naléhavost provedení korektivního opatření dané polohy. Výhoda této metody se vyznačuje tím, že ji lze užít jak ve fázích návrhu pracoviště tak i při jeho následné optimalizaci.

Postup výpočtu rizikového indexu v metodě OWAS je znázorněn na obrázku 1



Obr. 1- Schéma výpočtu u OWAS [9]

I...intenzita činnosti

D...doba trvání takové činnosti

$$R = I \cdot D$$

R...rizikový index

Systém pro analýzu držení lidského těla při výkonu práce předvádí a znázorňuje zátěž, vyvíjenou na lidské tělo. Jednobarevná ergonomická loutka symbolizuje prostřednictvím měnících se barev různé ergonomické zátěžové třídy.

Jako příklad lze uvést postavy (Obr. 2), které znázorňují míru fyzické zátěže při jednotlivých úkonech.



Obr. 2 - Metoda OWAS [5]

Červená: Velmi intenzivní fyzická zátěž (manipulant se snaží v kleku a sehnutý vyndat předmět ze spodní skříňky s dveřmi a poličkami). Nápravné řešení musí být provedeno ihned.

Oranžová: Silná tělesná zátěž (podobný příklad, jen předmět, se kterým se manipuluje je v přijatelnějším dosahu). Korekce pracoviště se musí provést co nejdříve.

Žlutá: Lehká tělesná zátěž (značně lepší držení těla, které je umožněno díky výsuvnému šuplíku, dolní končetiny jsou v přirozené poloze a celkově odpadá škodlivé shýbání pro těžký předmět). Úprava není ihned třeba, ale v budoucnu by se měla provést

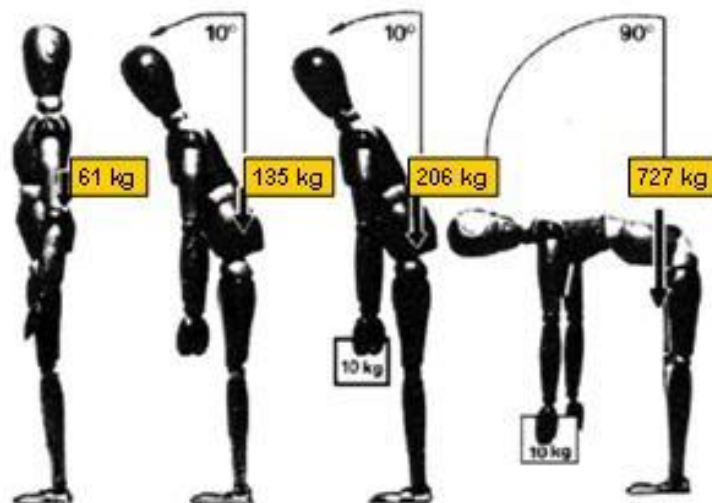
Modrá: Držení těla je přirozené. Není třeba jakákoliv změna.

[5],[9]

2.5.2. Metoda NIOSH

Tato metoda diktuje pevné hranice pro ruční zvedání břemen. Je pevně stanovena hranice mezi bezpečnými a nebezpečnými břemeny. Používá se jako evropský standard pro práci s břemeny těžšími víc jak 5 kg po dobu 8 hodin.

Vychází se ze závislosti hmotnosti manipulovaného břemene a tlaku na bederní oblast páteře. (viz Obr. 3)



Obr. 3 – Vliv zatížení na kříž v závislosti na poloze trupu [10]

Akční limity

Pomocí výpočtu se stanoví hranice pro zvedání.

Pod akčním limitem: představuje jmenovité riziko pro většinu průmyslových prací. Více jak 99 % mužů a 75 % žen, může zvedat břemena až do akčního limitu. Zvedání v tomto limitu je přijatelné.

Mezi akčním limitem a maximálním přípustným limitem: při překročení akčního limitu působí tlakové síly na bederní páteř větší než 770 lbs (cca 350 kg) což vydrží většina mladých zdravých pracovníků po pracovní dobu 8 hodin bez jakýchkoliv bolestí zad.

Nad maximálním přípustným limitem: při překročení velikosti síly na bederní páteř 1 430 lbs (cca 650 kg). Tuto hodnotu vydrží jen 25 % pracujících mužů a 1 % žen. Pro zvedání takových to břemen je potřeba administrativní i technická kontrola.

Výpočet akčního limitu

$$Al = VaK \cdot HoK \cdot VeK \cdot VzK \cdot AsK \cdot FrK \cdot UchK$$

kde:

VaK – váhová konstanta (23 kg)

HoK – horizontální koeficient závisí na vzdálenosti předmětu, těžiště těla a břemene. Čím je tato vzdálenost větší, tím je hodnota indexu menší.

VeK – vertikální koeficient je závislý na výšce uchopení břemene od podlahy.

VzK – vzdálenostní koeficient popisující délku zdvihu ve vertikálním směru.

AsK – asymetrický koeficient, závisí na úhlu asymetrie při zdvígání břemene.

FrK – frekvenční koeficient, závisí na frekvenci zdvígání.

UchK – uchopovací koeficient, definuje podmínky uchopení

[4],[10]

2.5.3. Metoda RULA

Komplexní metoda, která identifikuje možná rizika a ukazuje naléhavost opatření. Nejprve musíme pozorováním určit rizikové polohy pro hodnocení. Následně si skórujeme a zaznamenáme polohy jednotlivých částí těla. Potom se stanoví celková naléhavost opatření. Používá se především k hodnocení prací, které se opakují. Identifikuje biomechanické svalové zatížení spojená s pracovní polohou, použitou silou, statickou nebo dynamickou prací svalů.

Hodnocené polohy: paže, předloktí, zápěstí, krk, trup, nohy

Stanovení bodového skóre:

Základní skóre + proměnné skóre = bodové skóre jednotlivých částí těla (maximální možné)

Jako příklad lze uvést pro skórování horních končetin (Obr. 4 a Tab. 1). Postup je následující. Z jednotlivých kategorií (paže, předloktí, zápěstí) si zaznameneáme skóre poloh těchto jednotlivých částí a následně vybereme největší hodnotu skóre, která je výsledným skórem pro celou horní končetinu.

PAŽE						<input type="checkbox"/> Zvednuté rameno <input type="checkbox"/> HK v abdukci <input type="checkbox"/> Sklonění nebo podpora váhy paže
PŘEDLOKTÍ						<input type="checkbox"/> Činnosti přes střednici těla nebo na stranu ← Dodatečné BODY ± 1 →
ZÁPĚSTÍ						<input type="checkbox"/> Zápěstí vytočeno mimo střednici Select if wrist is bent away from midline
ZÁPĚSTÍ						ROTACE Síla & Zátěž pro pravou stranu ruky VYBERTE JEDNU Z NABÍZENÝCH MOŽNOSTÍ: <input type="checkbox"/> Žádná překážka + méně než 2 kg přerušované zátěže nebo síly <input type="checkbox"/> 2-10 kg přerušované zátěže nebo síly <input type="checkbox"/> 2-10 kg statická zátěž * 2-10kg opakující se zátěž nebo síla * 10kg či více přerušované zátěže nebo síly <input type="checkbox"/> 10 kg statická zátěž * 10 kg opakovaná zátěž nebo síla * náraz nebo prudké zvyšování síly
Užití svalu	<input type="checkbox"/> Poloha převážně statická, např. držení více jak 1 min. nebo opakování více než 4krát za min.					

Obr. 4 – Pravá horní končetina [6]

Tab. 1 - Stanovení skóre pro horní končetiny

		Skóre zápěstí							
		1		2		3		4	
		neutrál. poloha	odklonění	neutrál. poloha	odklonění	neutrál. poloha	odklonění	neutrál. poloha	odklonění
Paže	Předloktí	1	2	1	2	1	2	1	2
1	1	1	2	2	2	2	3	3	3
	2	2	2	2	2	3	3	3	3
	3	2	3	3	3	3	3	4	4
2	1	2	3	3	3	3	4	4	4
	2	3	3	3	3	3	4	4	4
	3	3	4	4	4	4	4	5	5
3	1	3	3	4	4	4	4	5	5
	2	3	4	4	4	4	4	5	5
	3	4	4	4	4	4	5	5	5
4	1	4	4	4	4	4	5	5	5
	2	4	4	4	4	4	5	5	5
	3	4	4	4	5	5	5	6	6
5	1	5	5	5	5	5	6	6	7
	2	5	6	6	6	6	6	7	7
	3	6	6	6	7	7	7	7	8
6	1	7	7	7	7	7	8	8	9
	2	8	8	8	8	8	9	9	9
	3	9	9	9	9	9	9	9	9

Skóre A + skóre svalové + silové = **skóre C** (viz. Tab. 2)

Tab. 2 - Stanovení skóre pro krk, trub a dolní končetiny

	Skóre trupu											
	1		2		3		4		5		6	
	skóre nohou		skóre nohou		skóre nohou		skóre nohou		skóre nohou		skóre nohou	
Krk	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	1	3	2	3	3	4	5	5	6	6	7	7
2	2	3	2	3	4	5	5	5	6	7	7	7
3	3	3	3	4	4	5	5	6	6	7	7	7
4	5	5	5	6	6	7	7	7	7	7	8	8
5	7	7	7	7	7	8	8	8	8	8	8	8
6	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	9

Skóre B + skóre svalové + silové = **skóre D** (viz. Tab. 3)

Tab. 3 - Stanovení celkového skóre = skóre C + skóre D

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

- Celkové hodnocení:**
- Kategorie** (skóre 1 až 2) – držení těla je přijatelné (pokud není poloha udržována nebo opakována po příliš dlouhou dobu)
 - Kategorie** (skóre 3 až 4) – potřeba dalšího hodnocení, požadavek na změny
 - Kategorie** (skóre 5 až 6) – urgentní požadavek na provedení změny
 - Kategorie** (skóre 7) – okamžité zastavení práce

[6],[8],[11]

2.5.4. Metoda 3D SSPP

Používá se jako pomůcka při hodnocení fyzické náročnosti předepsané práce. Můžeme také analyzovat vhodnost návrhu pracoviště před vlastní výstavbou nebo rekonstrukcí. Vztahuje se na pracovníka pohybující se v trojrozměrném prostředí. 3D SSPP je nejužitečnější při analýze pomalých pohybů, neboť biometrické výpočty předpokládají, že důsledky zrychlení a hybnost jsou zanedbatelné. Z této metody vychází metoda LOW BACK.

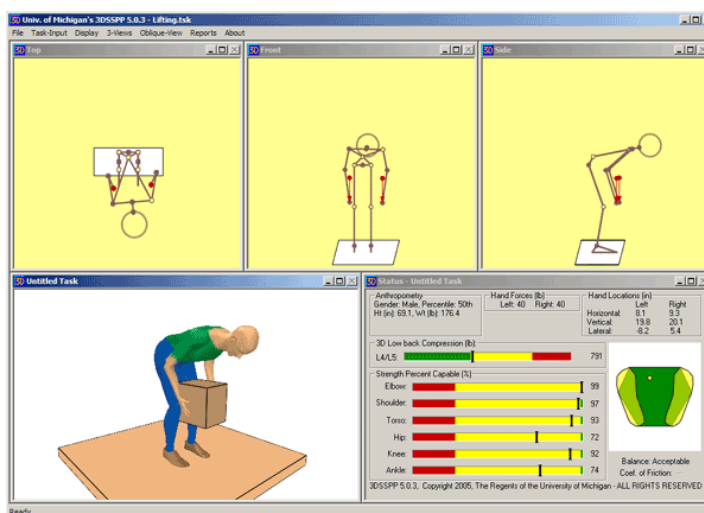
Příklad: Zvedání těžkých břemen a jejich následná přeprava (Obr. 5)

Potřebujeme znát pracovníkovo pohlaví, váhu a výšku



Obr. 5- Manipulace s břemenem [7]

Ukázka ze simulačního programu metody 3D SSPP je zobrazena na obrázku 6.



Obr. 6- Simulace 3D SSPP [7]

[7]

2.6. Vliv obalu na ergonomii

Zvolit správný obal není vůbec jednoduché. Prioritně se musí vybrat takový, aby plnil ochrannou funkci pro přepravovaný materiál. Dále aby plnil potřebné funkce pro manipulaci (přizpůsobit hmotnost, tvar i konstrukci, skladování). Dobrá manipulační funkce obalu musí zajistit účelnou, rychlou a bezpečnou manipulaci s výrobkem.

Nejen manipulační funkce, ale i ergonomické řešení je nutné brát v potaz. Pracovníkovi se musí snadno s obalem manipulovat. Například schopnost manipulovat s obalem jednou rukou. Snadné otevírání obalu musíme také brát v úvahu, pokud možné tak jen rukou bez užití dalšího nástroje. Taková to řešení jsou značně technicky náročná a tím i drahá.

[13]

3. Počítačová simulace ergonomie

Počítačová simulace v poslední době zaznamenává ve všech odvětvích (strojírenství, stavebnictví, doprava,...) velký rozvoj. Mezi hlavní výhody počítačové simulace patří:

- Lze řešit závažné problémy, které by šly řešit analyticky jen obtížně, anebo případně nešly řešit vůbec.
- Simulací si můžeme odzkoušet danou studii v reálné, zpomaleném nebo zrychleném čase. Díky tomu je možné v krátkém časovém úseku sledovat chování systému v budoucnosti.
- Simulací se dá odzkoušet nespočetně mnoho možných variant řešení. Tím minimalizujeme rizika chybných rozhodnutí.
- Sledováním simulačního modelu vede k lepšímu porozumění reálného systému.
- Dá se tedy pozorovat chování systému, pokud dojde ke změně parametrů, jak u zkoumaného systému, tak i na ostatní veličiny.
- Simulace nám nabízí široký přehled o podnikových procesech.
- Pomocí animace názorně můžeme pozorovat pohybující se elementy, které mění svou barvu vlivem změny stavu.
- Simulace dále vede k lepší týmové spolupráci pracovníků, kteří jsou odborníci ve své oblasti.

[12]

Firmy v dnešní době stojí před problémem, protože lidský prvek není brán dostatečně brzy nebo důkladně, a to jak při návrhu, montáži a údržbě. Pomocí počítačové simulace je umožněno zlepšovat ergonomii návrhů produktů a zdokonalit průmyslové úlohy od počátečních fází výrobního procesu. Vytvořené virtuální prostředí nám názorně ukáže například stávající stav a umožní otestovat

si celou řadu lidských faktorů, včetně rizika zranění, pohodlí uživatele, dosažitelnosti, výdajů energie, meze únavy. Využívání simulace přináší též úsporu času i nákladů.

Konstrukér, technolog, ergonom nebo zkušební pracovník tak v rané fázi vývoje provede digitální montáž CAD modelu např. auta dle navrženého technologického postupu a nalezne potenciální problémy a ergonomická rizika ještě před stavbou fyzického prototypu (viz Obr. 7). Při operaci, kdy je riziko nalezeno, se práce označí jako červená, musí se tedy najít jiné řešení a modifikovat model (změna umístění, konstrukce, sekvence operací). Je zřejmé, že změny provedené v modelu budou časově i finančně méně nákladné, než jakékoliv fyzické změny prototypu, výrobku nebo pracoviště.

Tento problém si začíná uvědomovat stále více společností, zejména v automobilovém průmyslu (využívají např. Škoda, Ford, Volvo a Jaguar)



Obr. 7- Ukázka z programu Tecnomatix [15]

Jako software k simulaci lidské činnosti se dají užít, DELMIA - V5 Human a Process Simulate z digitální továrny Tecnomatix od společnosti Siemens.

[8]

4. Praktická část

V této části bude popsán současný stav pracoviště. Na modelu současného stavu se provede analýza nedostatků, které vznikly nevhodným uspořádáním jednotlivých prvků pracoviště. Na základě provedené analýzy budou navržena zlepšení uspořádání pracoviště, která budou implementována do modelu. Tento stav podroben analýze simulace procesu a obě analýzy budou následně porovnány.

4.1. Popis současného stavu

Na obráběcím centru Mazak Integrex 100-IV se vyrábějí šachové figurky, které jsou vyrobeny z tyče kruhového průřezu o průměru 30 mm a délce 800 mm, materiálem je slitina mosazi.

Polotovar je naskládán v gitterboxu (Obr. 8). Operátor obráběcího centra přijde ke gitterboxu, před ním se zastaví a musí se sehnout pro polotovar. Oběma horními končetinami vyjme z gitterboxu polotovar na šachovnicové figurky.



Obr. 8- Gitterbox

Odtud se operátor dále přesune s polotovarem k obráběcímu centru Mazak (Obr. 9), zde polotovaz založí do vřetene, uzavře dveře stroje a spustí program obrábění. Po dokončení operace obrábění otevře dveře a vyjme upíchnutý obrobek šachovnicové figurky.



Obr. 9- Mazak Integrex 100-IV [16]

Operátor zavře dveře a opět spustí program. Po té přenesení obrobek ke stolu, který se nachází v bezprostřední blízkosti vedle stroje a založí ho do připravené KLT přepravky(Obr. 10).

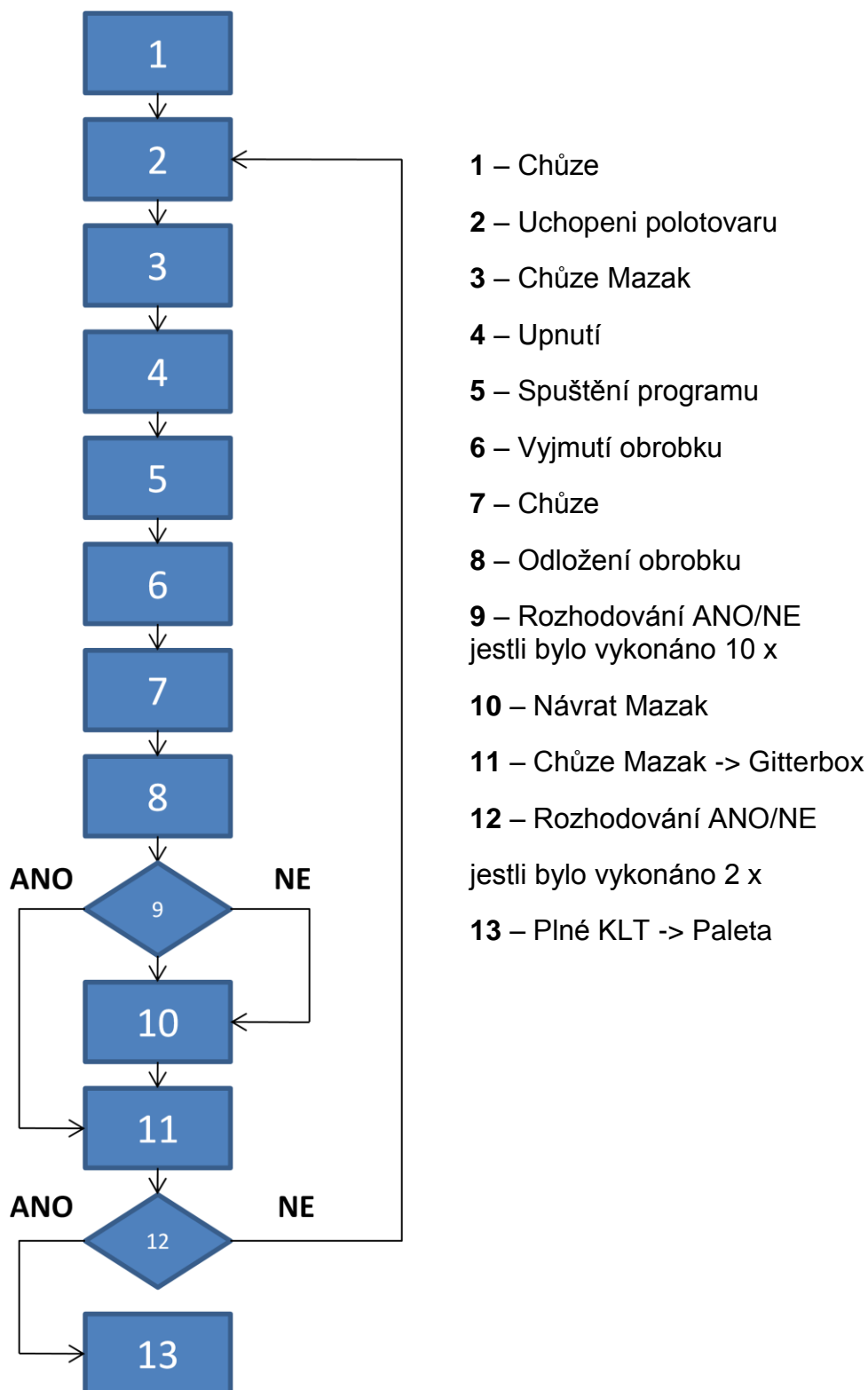


Obr. 10- KLT box

Pak se vrátí zpět k obráběcímu centru Mazak, kde je už obrobený další obrobek šachovnicové figurky. Tímto způsobem z jednoho polotovaru vznikne celkem deset obrobků. Plné KLT (považuje se 20 obrobků) pracovník přenese ze stolu do kartonové krabice, která se nachází na europaletě. Plně naložená krabice pak putuje dále v logistickém řetězci.

Vedle stoje se nachází též skříň, která slouží pro úschovu měřidel, nářadí a přípravků vhodných ke kontrole jmenovitých rozměrů obrobku a seřizování stroje.

Pro lepší porozumění sledu operací je vytvořen vývojový diagram (Obr. 11)

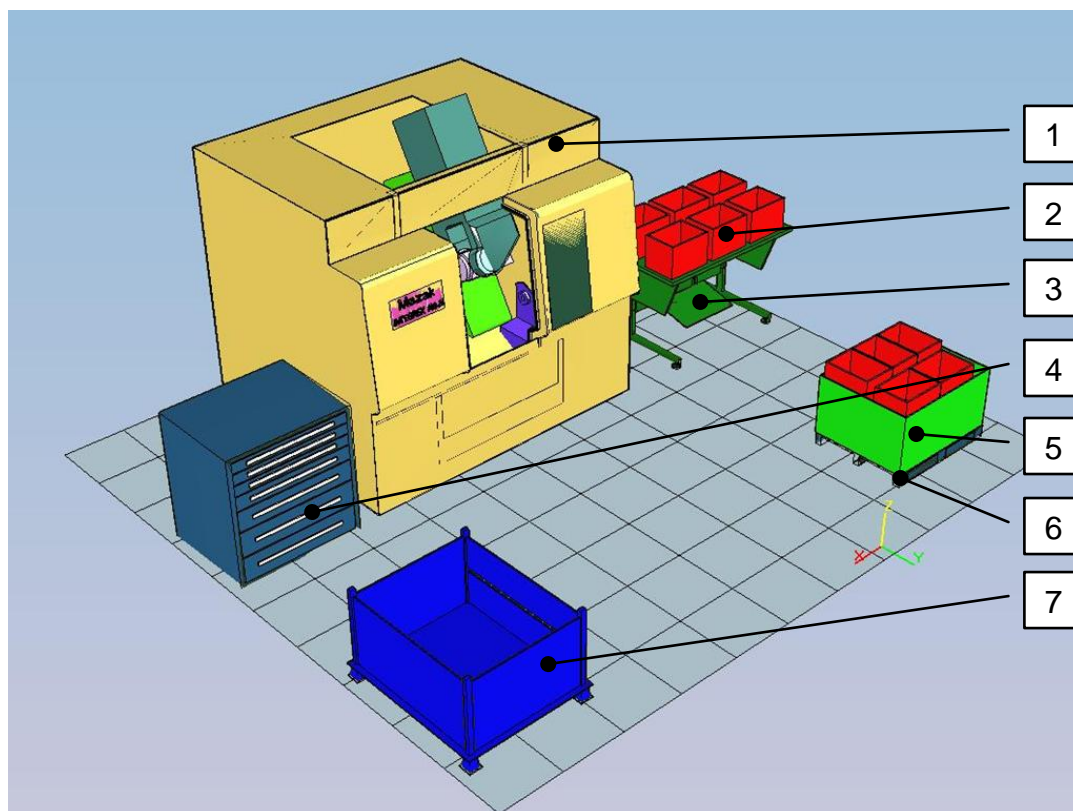


Obr. 11- Vývojový diagram počátečního stavu

4.1.1. Uspořádání pracoviště

Pracoviště se skládá z obráběcího centra Mazak Integrex 100-IV (zde se provádí obrábění šachovnicové figurky). V gitterboxu je naskládán polotovar (kulatina o průměru 30 mm a délce 800 mm). Dále se nachází na pracovišti pracovní stůl, který se nachází vedle obráběcího centra a slouží k plnění KLT přepravy polotovarem. Europaleta s kartonovou krabicí vytváří větší balení pro přepravu KLT přepravek. Skříň nám uschovává potřebné nástroje pro seřizování stroje a pro měřidla ke kontrole jmenovitých rozměrů šachovnicové figurky. Několik prázdných přepravek KLT umožňuje plynulý výrobní chod pracoviště (viz. Obr. 12).

- | | |
|----------------------------|-----------------------|
| 1 – Mazak Integrex 100 –IV | 5 – Kartonová krabice |
| 2 – KLT přepravy | 6 – Europaleta |
| 3 – Pracovní stůl | 7- Gitterbox |
| 4 – Skříň na nářadí | |



Obr. 12- Layout původního stavu pracoviště[14]

4.1.2. Předpokládané nedostatky pracoviště

Pečlivým pozorováním pracoviště bylo zjištěno několik nedostatků. V první řadě gitterbox je příliš nízko a tudíž se bude muset pracovník příliš ohýbat při odběru polotovaru ze spodních vrstev. Poloha stolu vedle obráběcího centra je vhodná, ale pracovní deska stolu je příliš vysoko a proto zakládání dílů do KLT přepravek není příliš pro operátora pohodlné. Problém přináší přenášení plného (těžkého) KLT boxu a jeho zakládání do „na zemi“ ležící kartonového balení. Toto přináší pro pracovníka statickou polohu svalů horních končetin při přenášení a následné ohýbání trupu, které bude náročné na pracovníkovu páteř. Co se týče zakládání obrobku do obráběcího stoje, tak na zakládání do sklíčidla není možné pohyb optimalizovat. Řešení by bylo možné v podobě robotizace pracoviště, ale to v našem případě nepřichází v úvahu kvůli vysokým finančním nárokům (vysoká pořizovací cena robota).

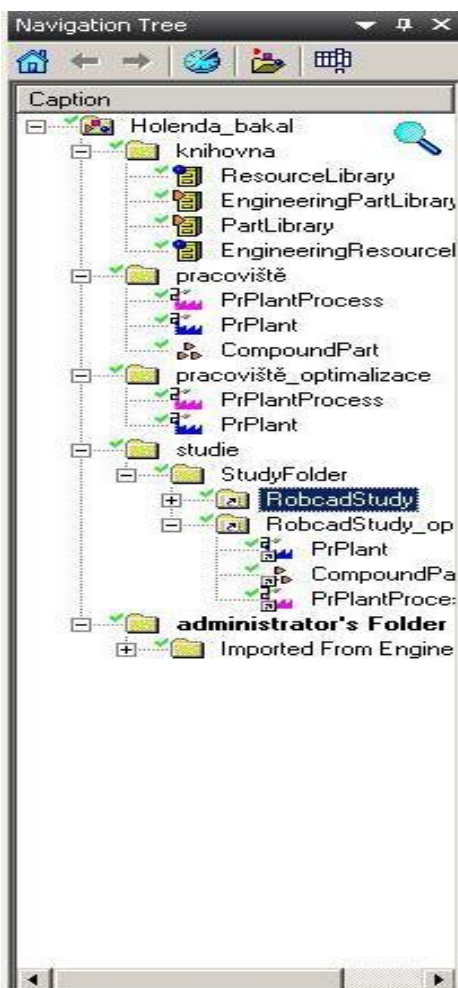
4.2. Tvorba modelu pracoviště v digitální továrně Tecnomatix 9.1

K řešení problému je zapotřebí vytvořit realistický model pracoviště s využitím programového nástroje Process Designer digitální továrny Tecnomatix . Samotný model se následně rozhýbe v další části Tecnomatixu jménem Process Simulate, kde bude provedena analýza pohybů operátora.

4.2.1. Popis tvorby modelu v Process Designer

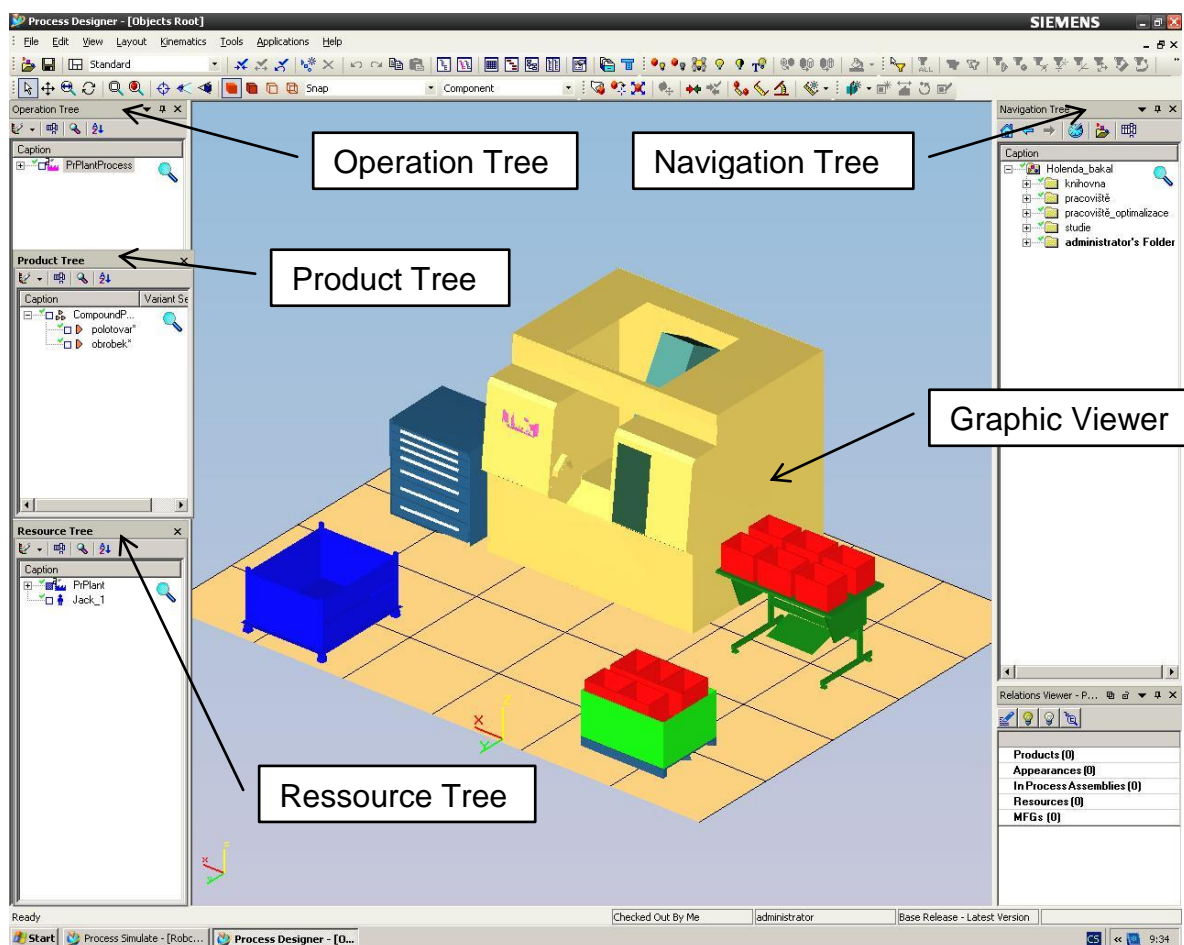
U nově založeného projektu je zapotřebí si vytvořit určitou strukturu pracovních složek (knihovnu, pracoviště, studie).

Toto uspořádání nám slouží k lepší orientaci v prostředí Process Designeru. Struktura projektu je zobrazena v pracovním okně Navigation Tree jak je patrné na obrázku 13.



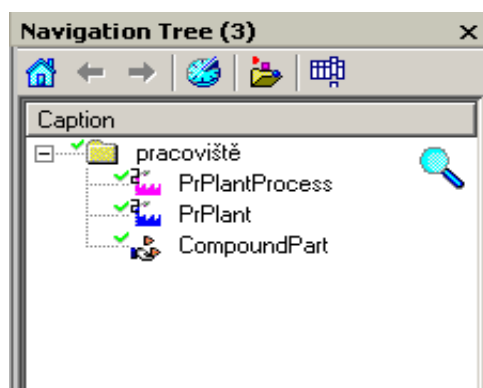
Obr. 13- Struktura projektu [14]

Modul Process Designer má libovolné nastavení nejrůznějších stromových struktur (Operation Tree, Navigation Tree, Product Tree, Graphic Viewer, Ressource Tree) a záleží tedy pouze na samotném uživateli, jak bude jednotlivé stromové struktury (Tree) využívat. Podle toho si nastaví umístění stromových struktur a vytvoří tím individuální vzhled pracovního prostředí programu (viz Obr. 14.).



Obr. 14- Vzhled pracovního prostředí v Process Designer [14]

Do vytvořené složky libraries se naimportují jednotlivé JT soubory. Některé byly k dispozici v defaultní knihovně prvků a jiné musely být pro tento konkrétní případ vytvořeny. Modely byly zhotoveny v programu Pro Engineer a pomocí translátoru převedeny do formátu JT.

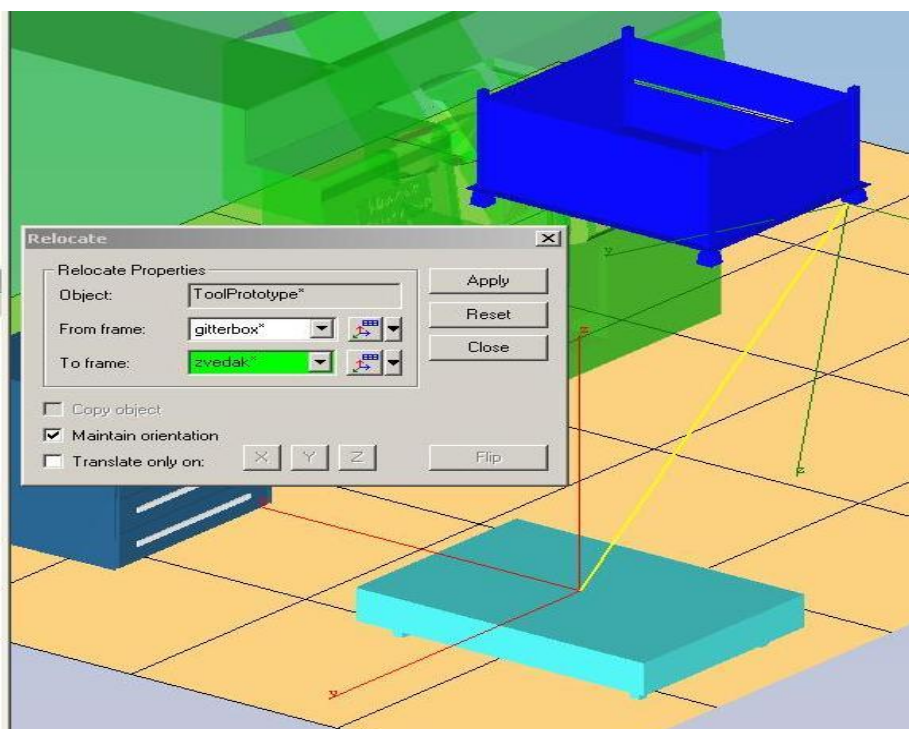


Obr. 15- Struktura pracoviště[14]

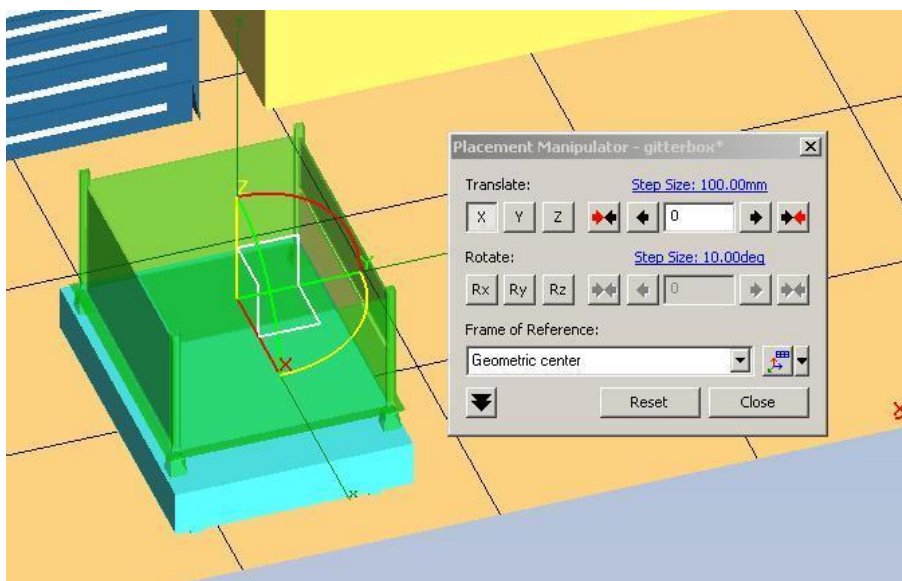
V první úrovni stromové struktury se vytvoří složka pracoviště (Obr. 15.) a složka optimalizované pracoviště, která má totožnou vnitřní strukturu. Ve složkách jsou vnořeny elementy PrPlant, PrPlantProcess a CompoundPart.

PrPlant je element, který obsahuje jednotlivé JT modely, které se přesunuly z knihovny (Jsou to modely, které se zobrazí v Graphic Viewer). PrPlantProcess obsahuje elementy předefinovaných pracovních procesů operátora, které se detailně definují v Process Simulate. CompoundPart obsahuje JT model polotovaru a obrobku.

Pomocí funkce Relocated (přesunout) na obrázku 16. a Placement manipulator (přemísťovací manipulátor) obrázku 17. jsem si vhodně umístil jednotlivé JT, tak aby odpovídali reálné podobě pracoviště.



Obr. 16- Funkce Relocate[14]



Obr. 17- Funkce placement manipulátor[14]

Dále se do modelu naimportují produkty (polotovary a obrobek). Jsou to části, které vstupují do sledu jednotlivých operací. I tyto předměty se musejí vhodně umístit pomocí již zmíněných funkcí k přemísťování předmětů. Nakonec se vytvoří pracovní složka Robcadstudy (vložená v studie -> Studyfolder), kde se musí vytvořit zástupce pro PrPlant, PrProcess a CompoundPart. Složka Robcadstudy slouží ke komunikaci Process Simulatu s Process Designerem. Přes tuto složku se otevírají projekty nebo jejich části v programu Process Simulate.

Podobným způsobem se namodeluje i podoba optimalizovaného pracoviště.

4.2.2. Rozhýbání modelu v Process Simulate

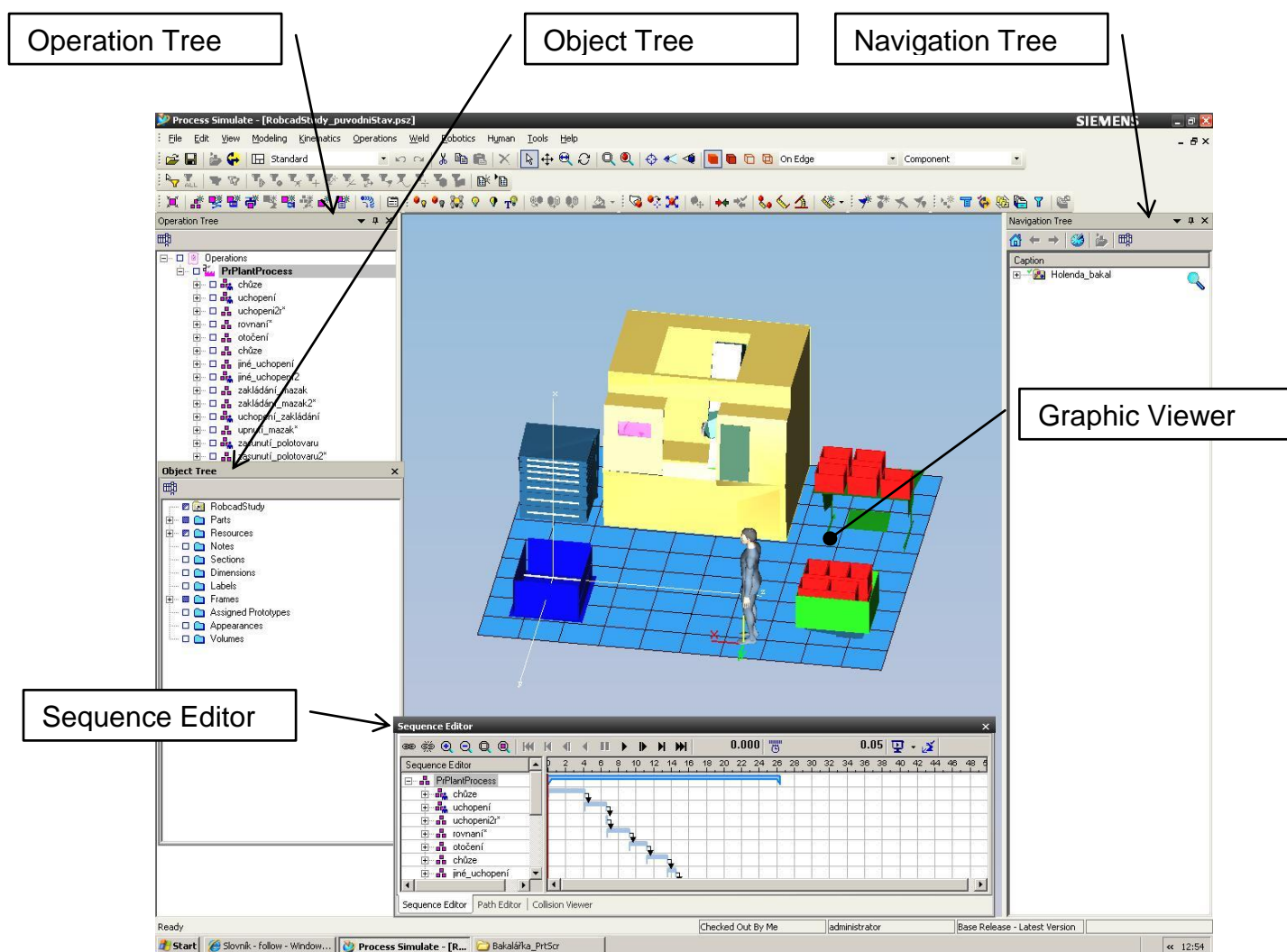
Po dokončené práci v Process Designeru se projekt otevře v programu Process Simulate. Zde již v zhotoveném modelu pracoviště se provede editování a definování jednotlivých operací procesu a samotné rozpohybování modelu spojené s analýzou.



Obr. 18- Jack [15]

Vloží se zde model člověka (software má pojmenování pro postavu Jack) jak je patrné z obrázku 18. Jack je reálně vymodelovaná postava, která důvěrně kopíruje biomechanické vlastnosti člověka. Je nastaven pomocí placement manipulatoru do výchozí pozice, ze které bude začínat pracovat. Od tohoto místa jsou vytvářeny jednotlivé pohyby Jacka podle vývojového diagramu.

I v Process Simulatu existuje určité uspořádání pracovního prostředí (Obr. 19). To obsahuje několik stromových struktur (Operation Tree, Object Tree, Navigation Tree, Graphic Viewer). Rozdíl mezi Process Designerem a Process Simulatem je na první pohled patrný v zobrazení Sequence Editoru.

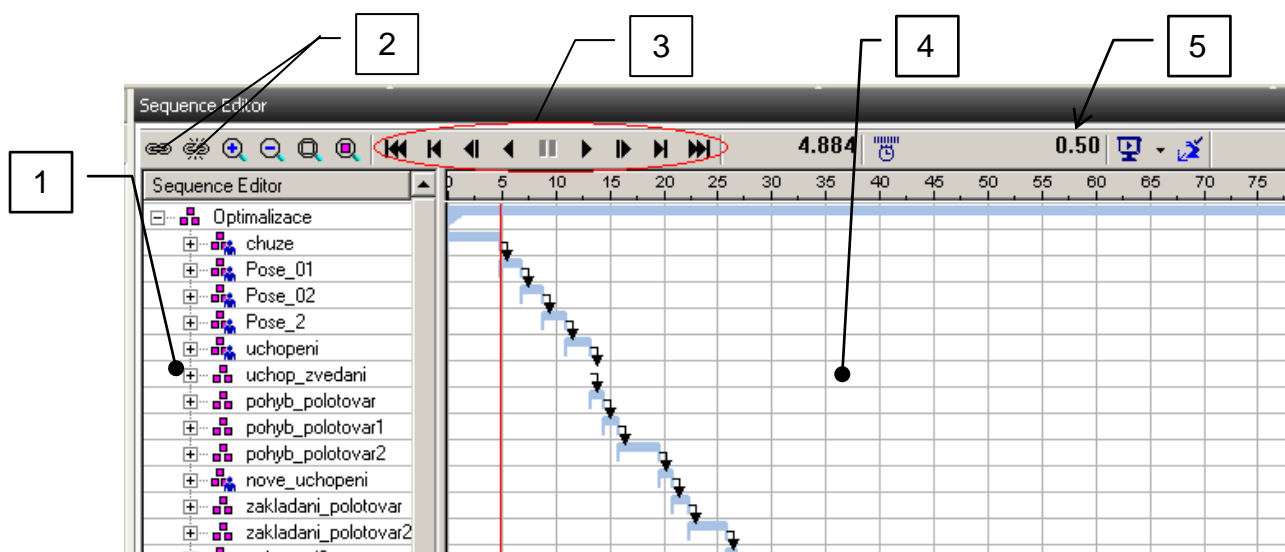


Obr. 19- Vzhled pracovního prostředí v Process Simulatu [15]

Sequence Editor umožňuje pomocí Ganttova diagramu provázat jednotlivé operace dle daného chronologického pořadí.

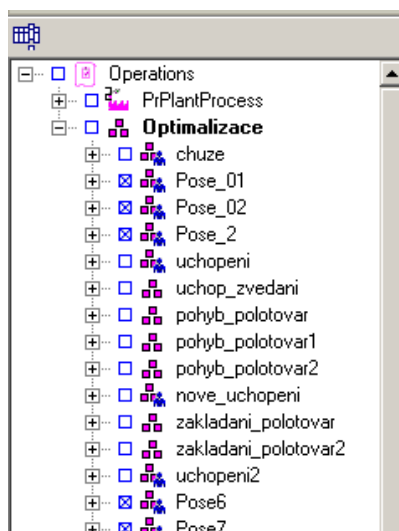
Sequence Editor umožňuje přehrát simulaci (jak je patrné z obrázku 20.):

- Krokováním
- Zrychleném, nebo zpomaleném čase
- Samostatné operace



Obr. 20- Ukázka části Sequence Editoru [15]

- 1- Chronologické uspořádání operací
- 2- Provazbení, či případné zrušení vazby mezi operacemi
- 3- Přehrávání simulace
- 4- Ganttův diagram
- 5- Rychlost přehrávání simulace



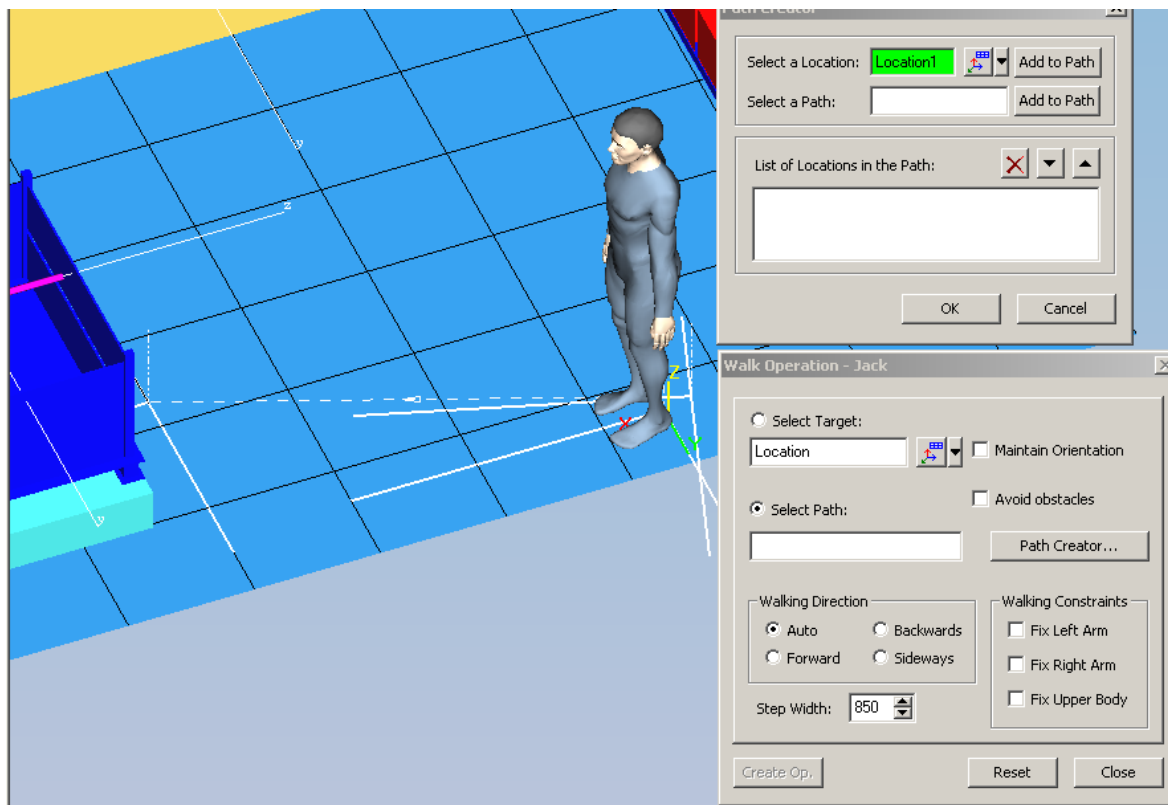
Jak bylo zmíněno v části Popis tvorby modelu v Process Designer, tak v Process Simulatu se blíže definují jednotlivé operace. Operace se vytvářejí do pracovní složky PrPlantProcess (Obr. 21).

Obr. 21- PrPlantProcess [15]

V Process Simulate byly vytvořeny následující procesy, které jsou zde pro ukázkou představeny.

Walk Operation (Obr. 22)

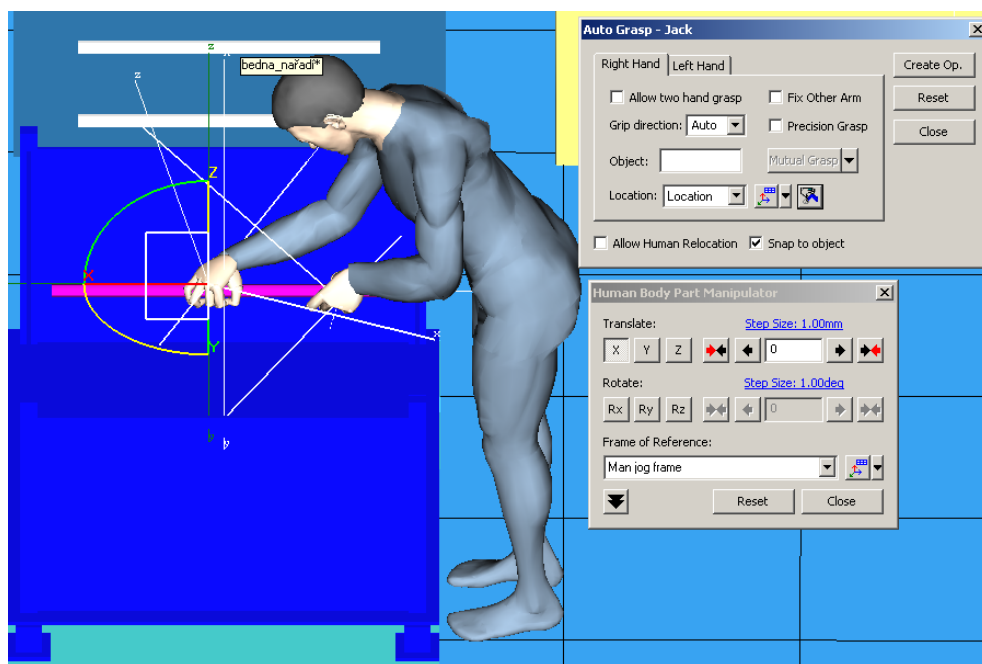
Proces vytvářející samotnou chůzi Jacka. Nejprve se definuje počáteční poloha, ze které bude Jack vycházet, a následně konečná poloha na kterou může navazovat další pracovní operace.



Obr. 22- Walk Operation [15]

Auto Grasp (Obr. 23)

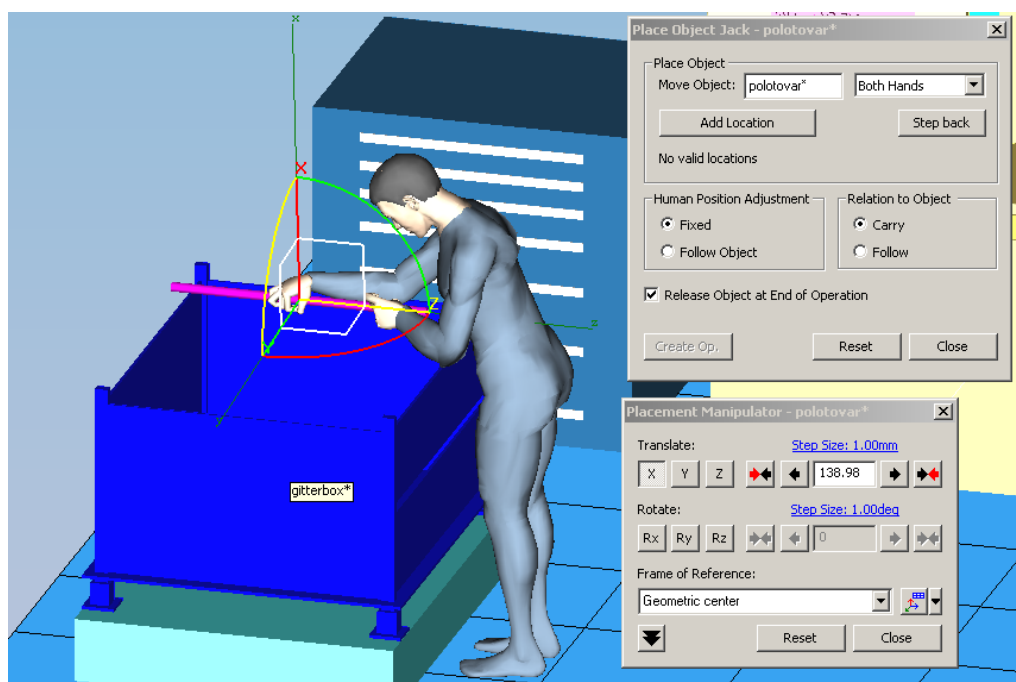
Pomocí tohoto procesu se vytvoří automatické uchopení předmětu s možností editace úchopu. Jackovi se definuje předmět, který má uchopit. Následně se detailně nastaví správné uchopení předmětu. Toto lze provést pro pravou i levou končetinu zvlášť. Hledá se co nejpřirozenější poloha jednotlivých částí těla (správné natočení zápěstí, poloha prstů a pokud možno tak co nejmenší ohyb zad).



Obr. 23- Auto Grasp [15]

Place Object (Obr. 24)

Proces je určen k manipulaci s předmětem. Zadá se předmět, se kterým má Jack manipulovat. Dále se dá nastavit, jestli má při přemísťování objektu pohybovat celým tělem, anebo jen pouze horními končetinami.



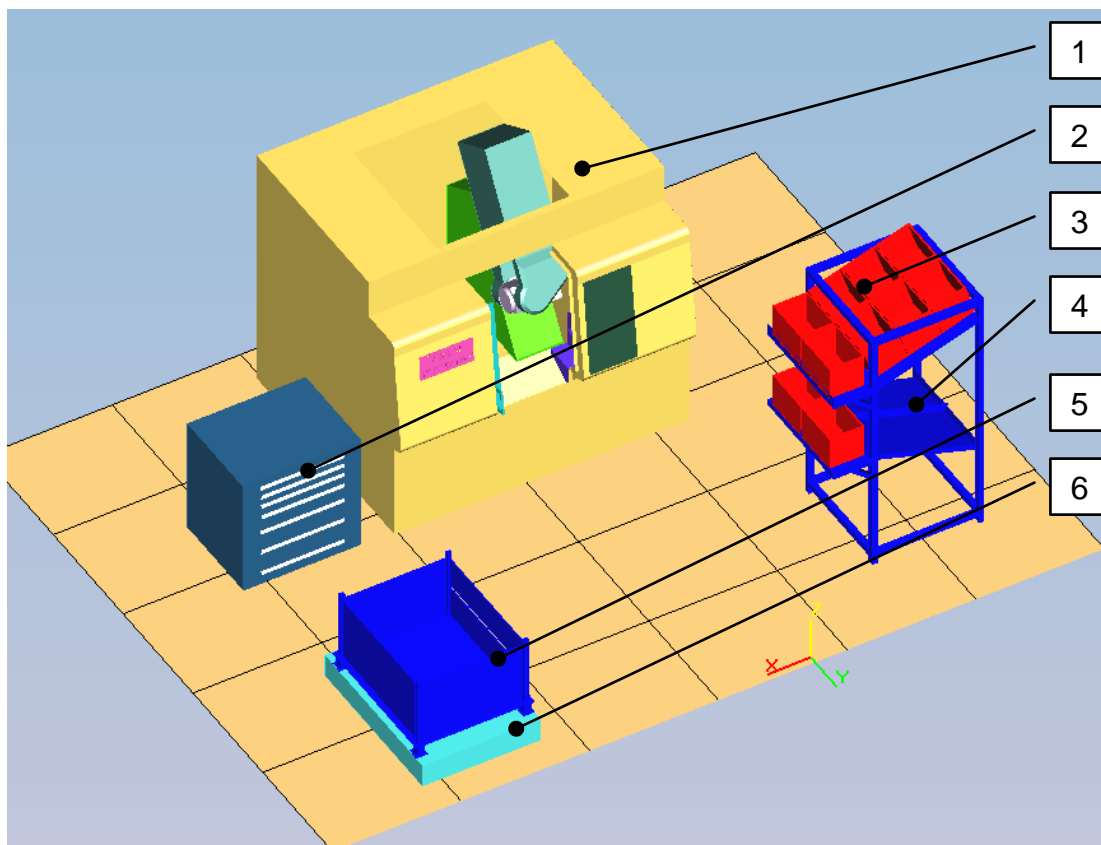
Obr. 24- Place Object [15]

4.4. Optimalizace

V této části bude navrženo řešení, které odstraní nedostatky původního pracoviště. Bude popsán layout optimalizovaného pracoviště. Budou navrženy komponenty, které značně usnadní operátorovi práci.

4.4.1. Popis optimalizovaného stavu

Oproti rozmístění původního stavu pracoviště se zde změní umístění gitterboxu. Pracovní stůl a europaleta s kartonovou krabicí budou nahrazeny spádovým regálem. Gitterbox bude umístěn na zvedáku s odporovou pružinou. Změny jsou patrné i na layoutu (Obr. 25).



Obr. 25- Vzhled optimalizovaného pracoviště [14]

1 – Mazak Intergrex 100 –IV

4 – Spádový regál

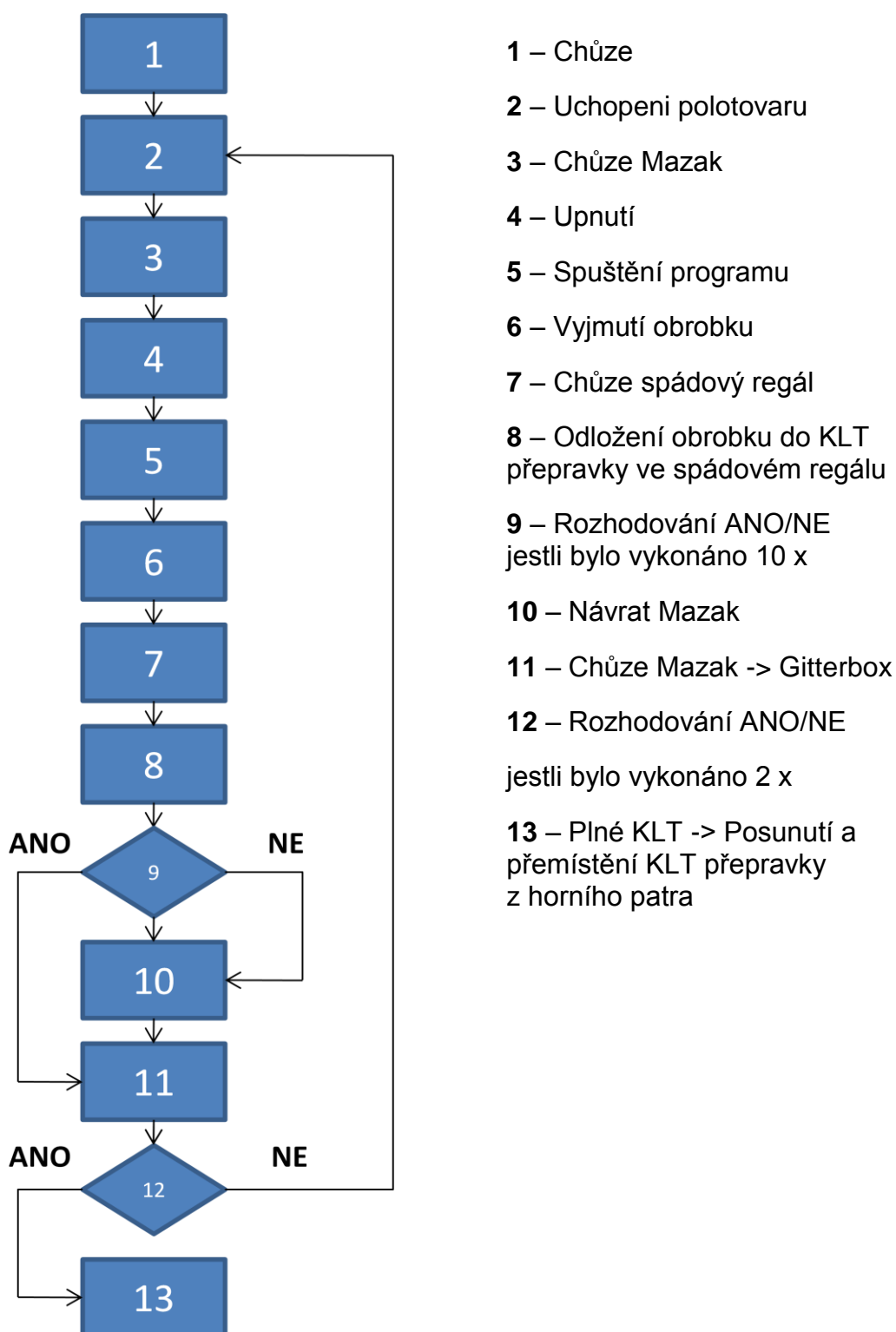
2 – Skříň na nářadí

5 – Gitterbox

3 – KLT přepravky

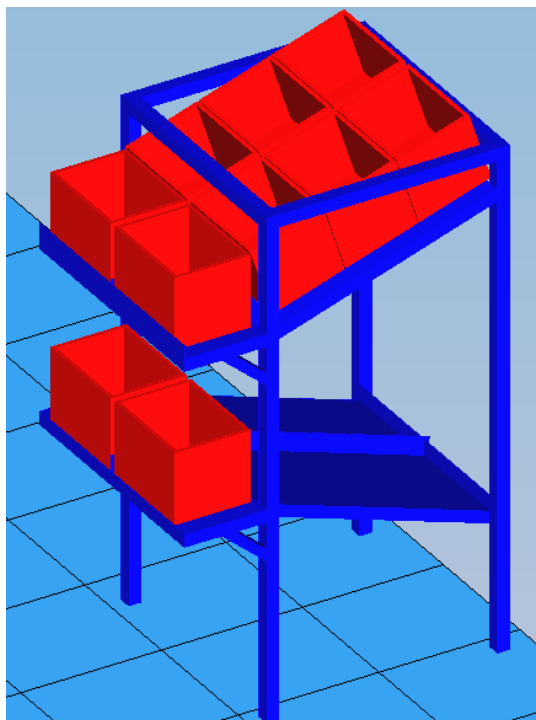
6 – Zvedák s odporovou pružinou

Vývojový diagram popisuje návaznost jednotlivých operací u optimalizovaného pracoviště (Obr. 26).



Obr. 26- Vývojový diagram optimalizovaného pracoviště

4.4.2. Popis provedeného zlepšení

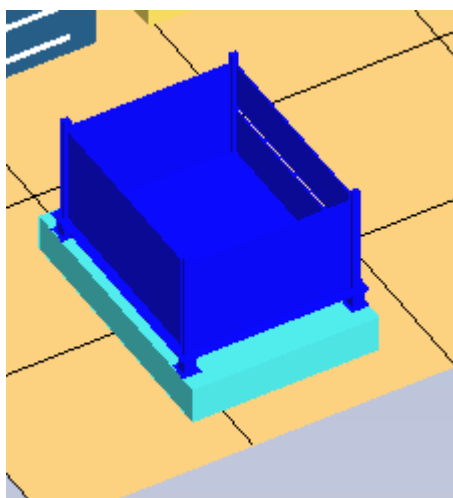


Obr. 27- Regál [14]

Tento spádový regál (Obr. 27) je navržen tak, aby co nejlépe vyhovoval po ergonomické stránce operátorovi při zakládání polotovaru šachovnicové figurky.

Horní patro regálu slouží pro zásobu prázdných KLT přepravek, které se odebráním předních řad sesouvají samospádem blíže k operátorovi. Ten vezme prázdnou KLT přepravku a přendá si ji do spodního patra, kde provádí samotné plnění polotovarem. Po naplnění KLT přepravy operátor do ní strčí a ta se samospádem sesune.

Uvolněním dolního patra umožní celou operaci opakovat až do poslední přepravy č. 8. K pohybu regálu slouží kolečka, která umožňují jeho přesunout dále v logistickém řetězci. Tento regál by mohl být vyroben pomocí stavebnicového systému Trilogic. Ten umožňuje nepříliš nákladnou údržbu a je možno ho v budoucnu inovovat o různá přídatná zařízení, anebo samotné díly stavebnice užít na jinou konstrukci v případě změny výrobku.



Obr. 28- Zvedák s odporovou pružinou

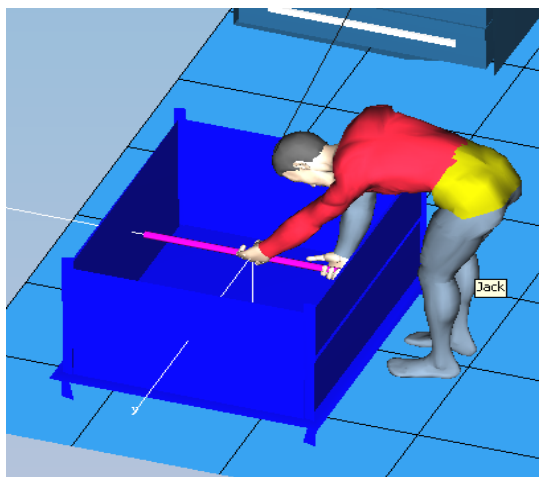
Zvedák s odporovou pružinou (Obr. 28) pohybuje s gitterboxem ve vertikálním směru. Tím jak dochází k odlehčování gitterboxu, tak ho pružiny zvedají směrem vzhůru. Pomocí tohoto zlepšení je polotovar stále optimálně vysoko umístěný. Operátor se tudíž nemusí příliš ohýbat.

5. Hodnocení a porovnání

V této kapitole budou popsány kritické pracovní polohy u původního stavu pracoviště a porovnáno se srovnatelnými polohami u optimálního řešení pracoviště. Dále budou porovnány zjištěné hodnoty z celého průběhu simulace u jednotlivých pracovišť pomocí jednotlivých ergonomických metod OWAS, LOWBACK, RULA.

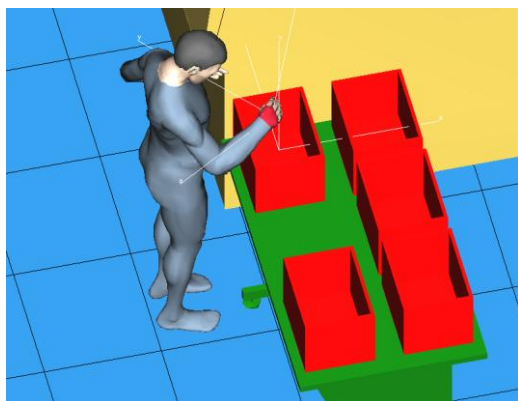
5.1. Porovnání původního a optimalizovaného stavu

Původní stav pracoviště



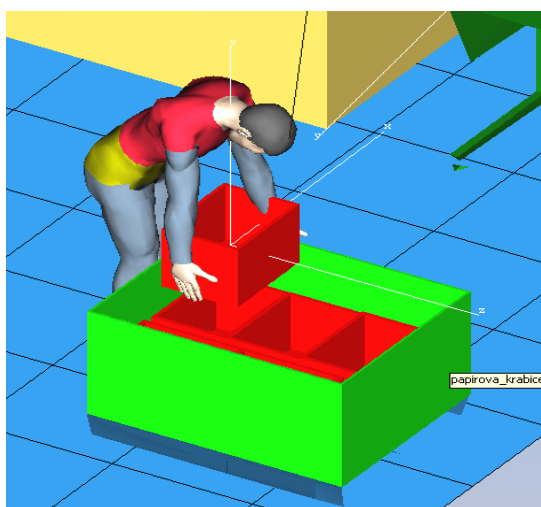
Obr. 29- Uchopení [15]

Poloha gitterboxu je pro operátora nepříznivě nízko. Musí se příliš ohýbat jak je patrné z obrázku 29. Takové shýbání povede při několikanásobném opakování během pracovní doby k značnému namáhání operátorových zad s rizikem trvalých následků. Toto tvrzení dokazuje výsledek simulace. Podle analýzy OWAS (červeně zbarvené partie) je třeba provést korektivní opatření okamžitě.



Obr. 30- Zakládání obrobku do KLT přepravy [15]

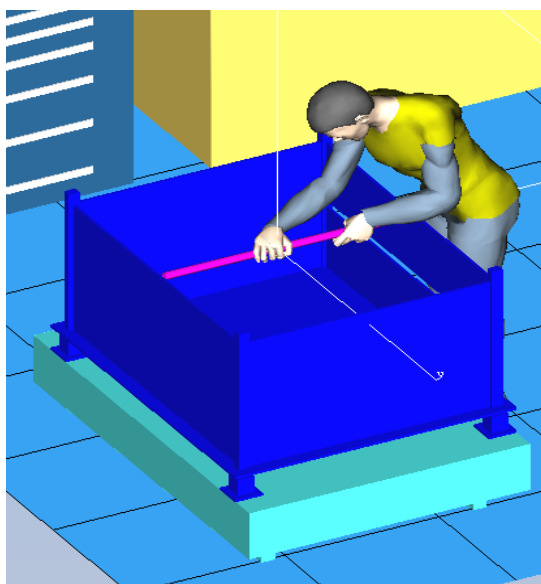
Zakládání obrobku do přepravy KLT není fyzicky náročná podle analýzy RULA. Poukazuje jen pouze na špatnou polohu zápěstí (Obr. 30).



Obr. 31- Zakládání KLT přepravky do kartonové krabice [15]

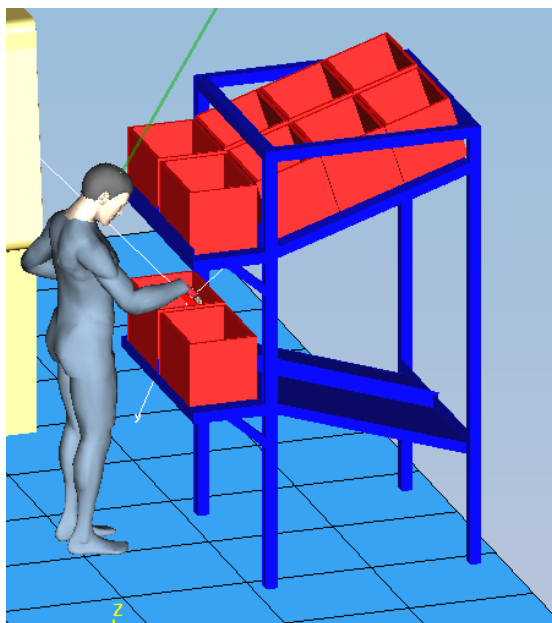
Daleko větší problém představuje přesunutí plné KLT přepravky vážící cca 6 kg. Při přenášení vzniká statická práce svalů a tím dochází k odkysličení cév a to vede k rychlé tělesné únavě operátora. Na poslední problém poukazuje obrázek 31. Přílišné shýbání s těžkou přepravkou je nutné ihned optimalizovat.

Optimalizovaný stav pracoviště



Obr. 32- Gitterbox u optimalizovaného stavu [15]

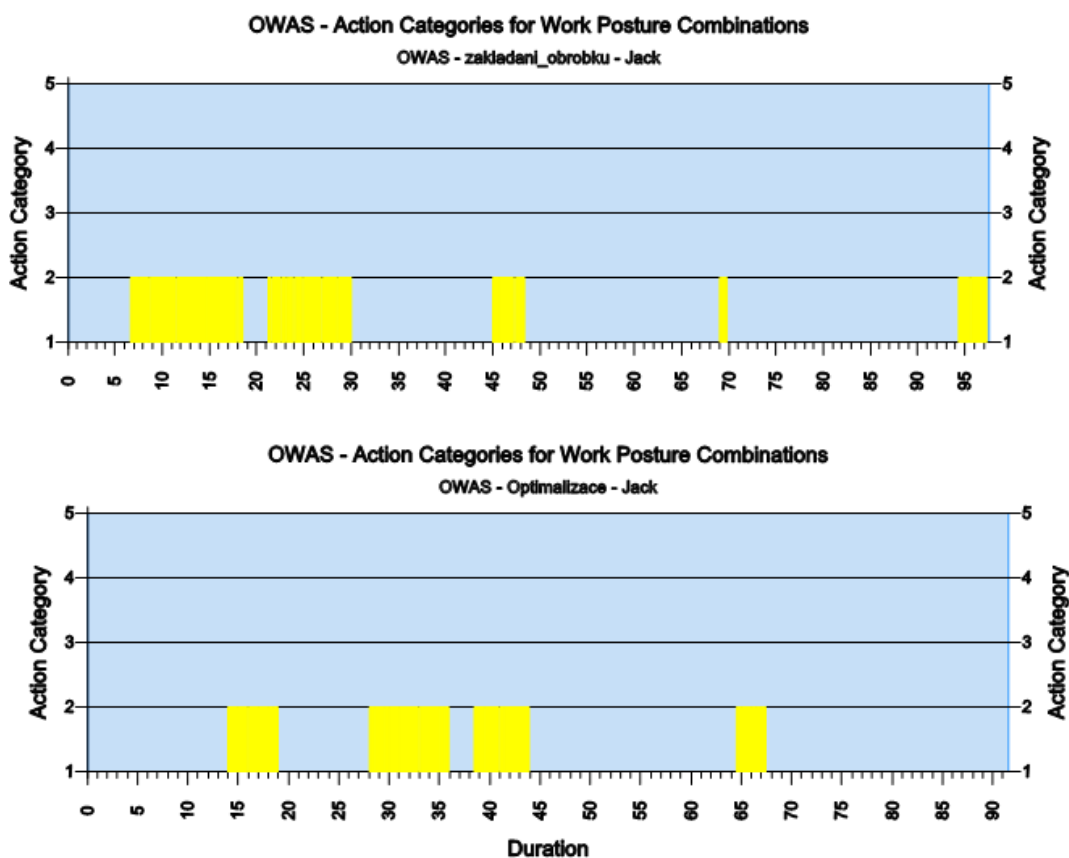
Problém nízkého umístění gitterboxu byl vyřešen pomocí zvedáku s odporovou pružinou. Ten umožní že gitterbox bude stále v optimální výšce a operátor se tedy nebude muset příliš ohýbat i při stavu, kdy je polotovar v gitterboxu v nejnižší poloze. Metoda OWAS (Obr. 32) nám znázorňuje přijatelnou polohu těla při uchopování polotovaru bez rizika přílišného namáhání zad.



Obr. 33- Spádový regál [15]

Spádový regál (Obr. 33) je ergonomicky optimální řešení, které nahradí pracovní stůl a europaletu s kartonovou krabicí. Odpadne přebytečná chůze s KLT přepravkou mezi pracovním stolem a europaletou. Odkládací plocha spádového regálu je v optimální výšce a proto tím se zakládání usnadní. Operátor není tedy nucen provádět nepřírozený až bolestivý pohyb paží.

5.2. Porovnání u metody OWAS

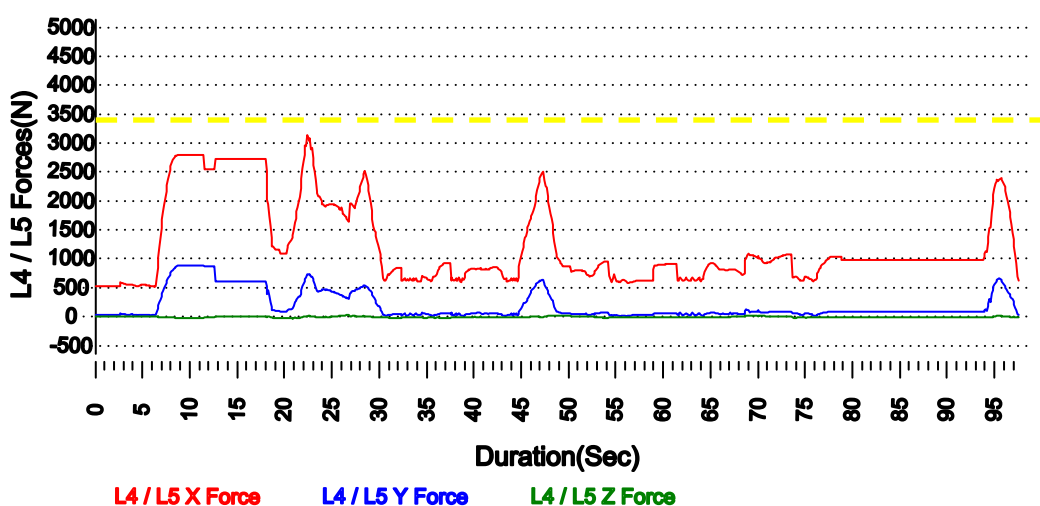


Graf 1 - Porovnání u metody OWAS [15]

Grafy metody OWAS popisují původní (Graf 1 nahoře) a optimalizovaný stav pracoviště (Graf 1 dole), které vznikly jako výsledky reportů v programu Process Simulate. Grafy ukazují kategorii závažnosti daného procesu v závislosti na čase. U obou pracovišť se dostaneme nanejvýš na druhou kategorii závažnosti. Optimalizací omezíme výskyt druhé kategorie ergonomické závažnosti. Výsledný průběh grafu tedy dokazuje, že optimalizace ulehčí operátorovi od fyzické pracovní zátěže.

5.3. Porovnání u metody LOWBACK

Provedená analýza LOWBACK v Process Simulate nám vytvořila několik statistických reportů, které vyjadřují různé silové a momentové zatížení mezi 4. a 5. bederním obrátem v jednotlivých osách X, Y a Z v závislosti na čase.

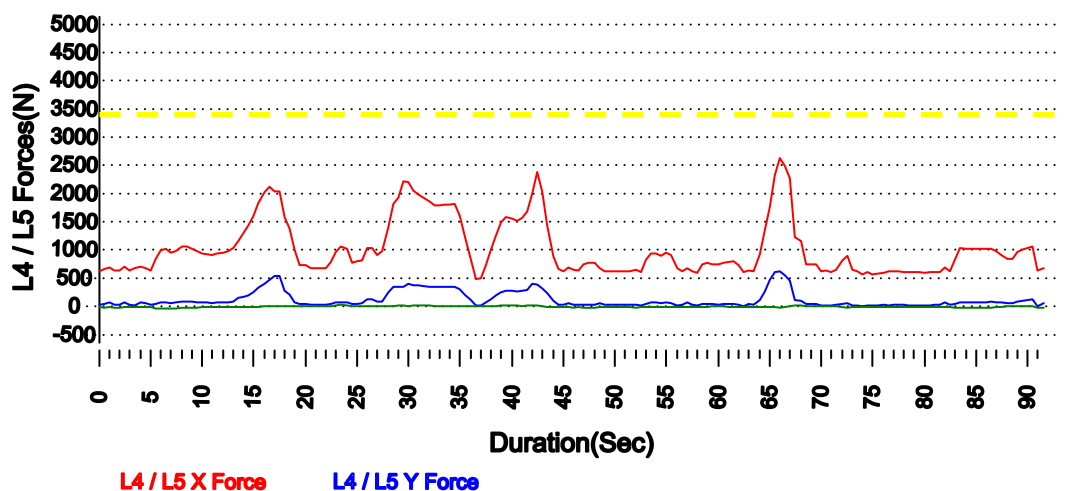


Graf 2- Vliv síly mezi 4. a 5. obrátem- původní stav [15]

Graf 2 nám popisuje průběh zatěžující síly mezi 4. a 5. obrátem u původního stavu pracoviště. Největší silové zatížení představuje síla působící v ose X a to mezi 6. až 28. sekundou procesu. V tomto intervalu síla dosahuje velikosti až 3100 N. Tento časový interval odpovídá operaci vyjmutí polotovaru z gitterboxu a následné přesunutí a upnutí polotovaru v obráběcím centru Mazak.

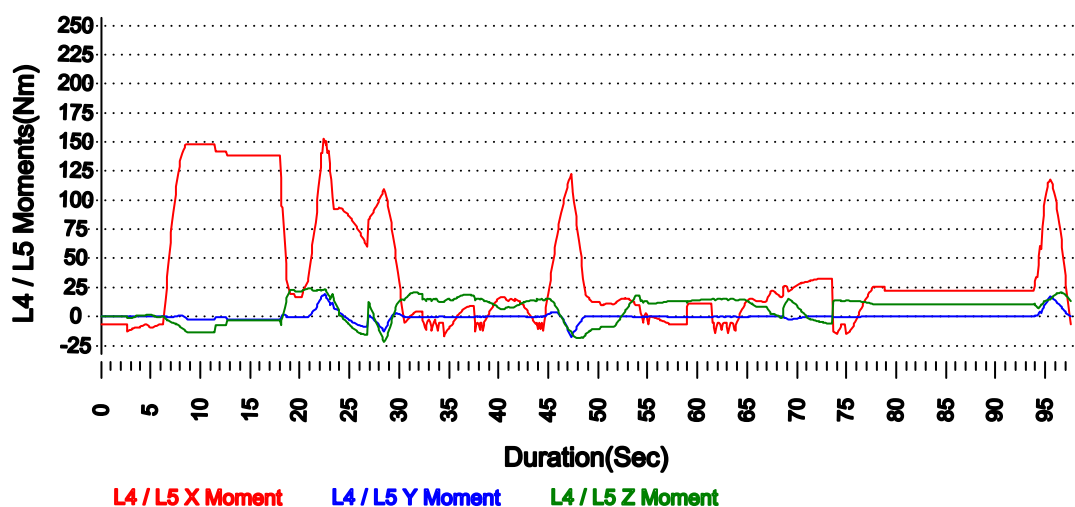
Průběh grafu 3 nám popisuje průběh zatěžující síly mezi 4. a 5. obrátem u optimalizovaného pracoviště. Největší význam zde hraje opět zatížení v ose X, ale

extrém křivky nedosahuje takových hodnot zatěžující síly jako u původního stavu pracoviště.

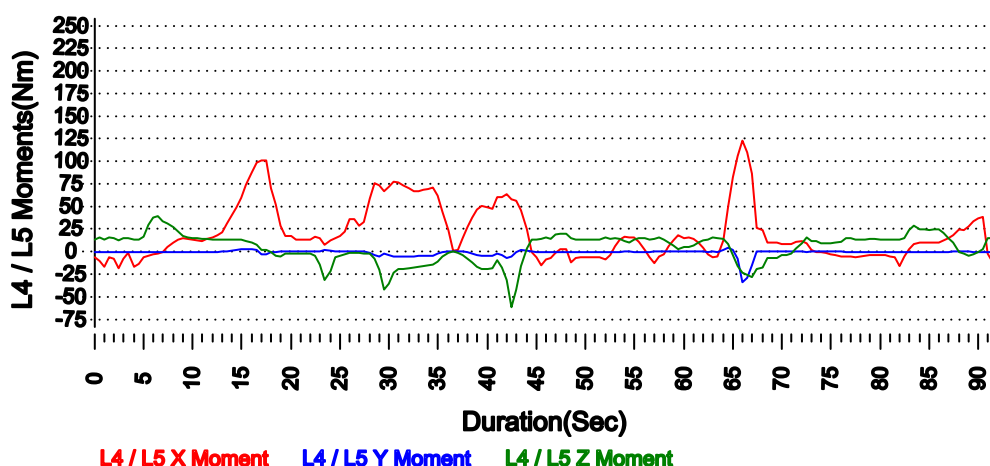


Graf 3- Vliv síly mezi 4. a 5. obrátek- optimalizovaný stav [15]

Podle grafu 4 je největší moment síly v časovém intervalu 5. až 18. sekundě a to v ose X. Moment nabývá mezi 4. a 5. obrátek velikosti až 150 Nm. Vznik tohoto momentu si lze představit následujícím způsobem. Operátor má při zvedání polotovaru natažené horní končetiny a tím vytváří velké rameno působící síly. Potřebné ohnutí zad toto rameno ještě prodlouží. To i při malé hmotnosti zvedaného břemene vytváří velké momentové zatížení.



Graf 4- Vliv momentu síly mezi 4. a 5. obrátek- původní stav [15]

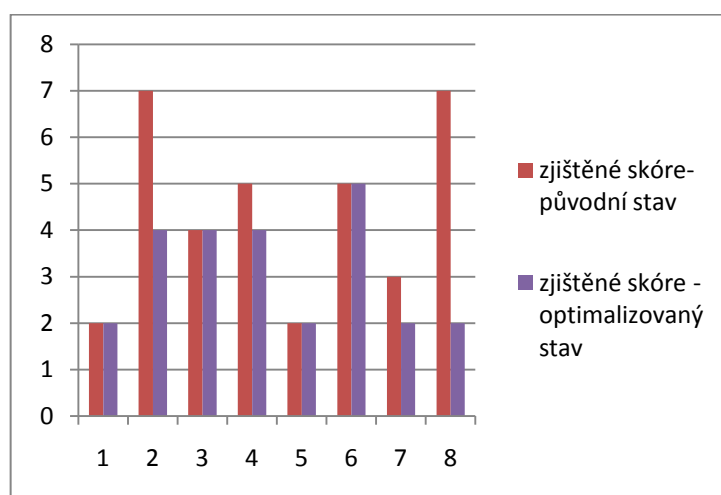


Graf 5- Vliv momentu síly mezi 4. a 5. obrátek – optimalizovaný stav [15]

Vlivem zvýšení polohy gitterboxu nenabývá moment (Graf 5) takových hodnot jako u předchozího případu, protože operátor se nemusí tolik ohýbat a tím nevytvoří tak velké rameno momentu síly.

5.4. Porovnání u metody RULA

Graf 6 ukazuje rozdíl v hodnotách skóre u jednotlivých pracovních poloh. Vodorovná osa čísluje operace (viz. Tab. 4) a svislá osa popisuje velikost skóre.



Graf 6- Porovnání pracovních poloh metodou RULA

Tab. 4 – Operace

operace 1	chůze ke gitterboxu
operace 2	vyjmutí polotovaru
operace 3	přesun polotovaru
operace 4	upnutí polotovaru
operace 5	spuštění programu
operace 6	vyjmutí obrobku
operace 7	chůze k odkládku polotovaru
operace 8	odložení obrobku

Hodnoty skóre vznikly skórováním jednotlivých poloh operací. Hodnotili se horní končetiny (poloha paže, předloktí, zápěstí) a držení těla (poloha trupu, krku, natočení krku). Přičemž z grafu plyne, že u operace 2 a 8 je nutno procesy ihned optimalizovat a to se pomocí již zmíněných opatření podařilo.

6. Závěr

Ergonomický faktor hraje v pracovním procesu podstatnou roli. Je dlouhodobě známo, že pracovník, kterému se vykonává práce snadněji, pracuje výrazně efektivněji, než kdyby tomu tak nebylo. Odstraněním nedostatků pracoviště přináší pro podnik snížení nákladů na vyplacení nemocenských dávek a nákladů na proškolení nového pracovníka. Zlepšením kvality výroby vede ke snížení zmetkovitosti.

V této práci byl popsán návrh řešení problému, který má ulehčit od fyzické zátěže operátorovi obráběcího centra Mazak Integrex 100-IV. Po pečlivém pozorování stavu současného pracoviště bylo zjištěno několik vážných nedostatků, které vedou ke značné únavě organismu operátora, a proto bylo následně navrženo pracoviště, které by mělo vzniklé problémy řešit a odstranit. Obě pracoviště byly simulovány v programu Process Simulate z digitální továrny Tecnomatix od společnosti Siemens. Simulační výsledky jednotlivých ergonomických analýz poukazují na kritické polohy procesů, které byly pozorovány a vyhodnoceny. Vyhodnocení jasně dokazuje, že návrh optimalizovaného řešení splňuje cíle zadání a vykonávaná práce operátora obráběcího centra Mazak se tedy výrazně ulehčí.

Seznam literatury

- [1] ERBAN, Václav. *Fyziologie práce a ergonomie*. Technická univerzita v Liberci : TUL, 2003. 160 s. ISBN 80-7083-767-5.
- [2] KRIŠŤÁK, Jozef . *Ipaslovakia* [online]. 2009 [cit. 2010-04-08]. Www.ipaslovakia.sk. Dostupné z WWW: <http://www.ipaslovakia.sk/slovník_view.aspx?id_s=145>
- [3] KRIŠŤÁK, Jozef . *Ipaslovakia* [online]. 2009 [cit. 2010-04-08]. Www.ipaslovakia.sk. Dostupné z WWW: <http://www.ipaslovakia.sk/slovník_view.aspx?id_s=146>
- [4] *Www.indevagroup.cz* [online]. 2007 [cit. 2010-04-08]. Indeva. Dostupné z WWW: <<http://www.indevagroup.cz/cs-CZ/ergonomie-manipulaci-materiálem.html>>.
- [5] *Www.dynamicspace.at* [online]. 2009 [cit. 2010-04-08]. Dynamicspace. Dostupné z WWW: <<http://www.dynamicspace.at/dynamicspace/cs/04/01/05/index.html>>.
- [6] KRIŠŤÁK, Jozef. *Ipaslovakia* [online]. 2009 [cit. 2010-04-08]. Www.ipaslovakia.sk. Dostupné z WWW: <http://www.ipaslovakia.sk/slovník_view.aspx?id_s=163>.
- [7] *Www.engin.umich.edu* [online]. 2010 [cit. 2010-04-08]. University of Michigan. Dostupné z WWW: <<http://www.engin.umich.edu/dept/ioe/3DSSPP/&ei=EMmTS827G4nknAPJysSNCw&sa=X&oi=translate&ct=result&resnum=2&ved=0CA8Q7gEwAQ&prev=/search%3Fq%3Dmetoda%2B3D%2BSSPP%26hl%3Dcs%26lr%3D%26sa%3DN>>
- [8] *Cdesign* [online]. 2008 [cit. 2010-04-11]. Www.cdesign.zive.cz. Dostupné z WWW: <<http://cdesign.zive.cz/Clanky/Automobilky-objevuji-virtualni-realitu/sc-3-a-121647/default.aspx>>.

- [9] HANYŠ, Pavel. *Projekt aplikace metodiky EAWS ve společnosti DENSO Manufacturing Czech* [online]. SVOČ, 2009. 13 s. Oborová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Dostupné z WWW: <http://web.fame.utb.cz/cs/docs/Pavel_Hanys_prispevek.pdf?PHPSESSID=04d3ccc54034dbee10915866f1ad3d2e>.
- [10] KRIŠŤÁK, Jozef. *Www.ipaslovakia.sk* [online]. 2009 [cit. 2010-04-11]. IPA Slovakia. Dostupné z WWW: <http://www.ipaslovakia.sk/slovník_view.aspx?id_s=152>.
- [11] KRIŠŤÁK, Jozef. *Www.ipaslovakia.sk* [online]. 2009 [cit. 2010-04-11]. IPA Slovakia. Dostupné z WWW: <http://www.ipaslovakia.sk/slovník_view.aspx?id_s=163>.
- [12] MANLIG, František. *Katedra výrobních systémů* [online]. 2000 [cit. 2010-05-24]. *Www.kvs.tul.cz*. Dostupné z WWW: <http://www.kvs.tul.cz/cz/aktivita/centrum_simulace/materialy/pocitacova%20simulace%20obecne/00_mm.pdf>.
- [13] SIXTA, Josef; MAČÁT, Václav. *LOGISTIKA : teorie a praxe*. Brno : CP Books a.s., 2005. 315 s. ISBN 80-251-0573-3.
- [14] Process Designer, nástroj digitální továrna Tecnomatix, Siemens Product Lifecycle Management Software Inc.
- [15] Process Simulate, nástroj digitální továrna Tecnomatix, Siemens Product Lifecycle Management Software Inc.
- [16] Studijní materiály katedry Výrobních systémů TU v Liberci