

**České vysoké učení technické v Praze**

**Fakulta strojní**

Ústav strojírenské technologie



**Optimalizace svařovacího robotického pracoviště**

Diplomová práce

**2018**

**Bc. Martin Mikula**

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Mikula** Jméno: **Martin** Osobní číslo: **408777**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávající katedra/ústav: **Ústav strojírenské technologie**  
Studijní program: **Strojní inženýrství**  
Studijní obor: **Výrobní a materiálové inženýrství**

## II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

**Optimalizace svařovacího robotického pracoviště**

Název diplomové práce anglicky:

**Optimization of the welding robotic cell**

Pokyny pro vypracování:

- Teoretický popis konceptu svařovacích linek
- Popis výrobní linky a charakteristika svařovacího pracoviště, rozbor použité technologie svařování
- Analýza principu 'štíhlé výroby' - nástroje a techniky, teorie úzkých míst, druhy plynutí, normování práce
- Kapacitní propočty, optimalizace pohybů, návrh optimalizace svařovacího procesu
- Závěrečné vyhodnocení výsledků

Seznam doporučené literatury:

- [1] Jirásek, J.: Štíhlá výroba. Praha: Grada, 1998. ISBN 80-7169-394-4.
- [2] Kavan, M.: Výrobní a provozní management. Grada Publishing: 2002. ISBN 80-247-0199-5
- [3] Pires, J.N. a kolektiv: Welding Robots: Technology, System Issues and Application, Springer London, 2009
- [4] Musil, M., Moravec, J. a kolektiv. Výroba a aplikované inženýrství ve svařování, DOM-ZO 13, 2017
- [5] Firemní materiály společnosti Doosan

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

**doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D., ústav strojírenské technologie FS**


Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:


**Ing. Přemysl Němec, ústav strojírenské technologie FS**

Datum zadání diplomové práce: **23.04.2018**

Termín odevzdání diplomové práce: **10.08.2018**

Platnost zadání diplomové práce: **10.08.2018**

  
doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce

  
doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

  
prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací.  
Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

**19.7.2018**

Datum převzetí zadání



Podpis studenta

## **Prehlásenie**

Čestne prehlasujem, že svoju diplomovú prácu som vypracoval samostatne pod odborným vedením vedúceho práce a použil som iba dokumenty (literatúru, interné firemné materiály, software atď.), ktoré sú uvedené v priloženom zozname informačných zdrojov.

V Prahe dňa 10. augusta 2018

.....

Podpis

## Abstrakt

Cieľom tejto diplomovej práce bolo optimalizovať výrobný proces výložníka bagra na automatizovanom zváracom pracovisku. Výrobný proces pozostáva zo založenia zvarenca do prípravku operátorom, zo samotného zvaracieho procesu, a z vyloženia zvarenca z prípravku operátorom s následným naložením na manipulačný vozík. Celý tento pracovný cyklus bol rozdelený na tri časti a softwarovo sa optimalizoval. Popri optimalizovaní bolo nevyhnutné popísať jednotlivé princípy a metódy, ktoré sa každodenne používajú vo výrobe, oboznámiť a popísať s danou koncepciou výrobnéj linky, popísať robotické pracovisko a oboznámiť s použitým optimalizačným softwarom. Odsúhlasené požiadavky na časovú úsporu boli v rozmedzí 12 – 15 % z celkového cyklového času a aby nemusela byť realizovaná finančne a časovo náročná validácia zvarenca, optimalizácia musela prebehnúť bez akýchkoľvek konštrukčných a technologických zmien. Optimalizovaním výrobného procesu výložníka sa dosiahla značná časová úspora vo výrobnom procese, ktorá v následnej implementácii ušetrí spoločnosti Doosan Bobcat mnoho výrobných nákladov.

**Kľúčové slová:** Optimalizácia, časová úspora, robot, MAG, zváranie

Vysoká škola:	ČVUT v Prahe, FS
Ústav:	12133
Vedúci ústavu:	doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D., IWE
Názov bakalárskej práce:	Optimalizace robotického svařovacího pracoviště
Školský rok vyhotovenia:	2017/2018
Meno autora:	Martin Mikula
Vedúci bakalárskej práce:	doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D., IWE
Počet strán:	91
Počet obrázkov:	50
Počet tabuliek:	24
Počet príloh:	1

## Abstract

The topic of this diploma thesis was to optimize manufacturing process of the excavator's arm in the robotic welding stage. Manufacturing process compose of putting the weldment into appliance by human operator, of the welding process and of putting the weldment out of an appliance and giving it on a handling trolley. Manufacturing process was divided in three parts and optimized by a software. Beside optimizing was necessary to describe principles and methods, which are daily used in a production, inform and describe with a concept of production line, describe robotic workplace and to introduce with used optimizing software. The main requirements of time saving were in a scope of 12 – 15 % of the whole cycle time, and not to realize a new expensive and time – consuming validation of the weldment, there was no space for technological and designing changes. By optimizing of arm manufacturing process was achieved significant saving of time in manufacturing process, which in a following implementation will save a lot of costs to Doosan Bobcat company.

**Key words:** Optimization, time saving, robot, GMAW, welding

University:	CTU Prague, Faculty of mechanical engineering
Department:	12133
Chief of department:	doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D., IWE
Name of the bachelor's work:	Optimization of the welding robotic cell
School year:	2017/2018
Name of the author:	Martin Mikula
Chief of the bachelor's work:	doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D., IWE
Amount of pages:	91
Amount of pictures:	50
Amount of tables:	24
Amount of additions:	1

## **Pod'akovanie**

Na začiatok by som sa rád poďakoval vedúcemu diplomovej práce doc. Ing. Ladislavovi Kolaříkovi, Ph.D., za jeho odborné vedenie, čas na konzultáciach, cenné rady, a hlavne trpezlivosť pri vypracovávaní mojej práce. Poďakovanie patrí taktiež mojej rodine, za podporu počas celého štúdia.

# Obsah

<b>Zoznam použitých skratiek .....</b>	<b>9</b>
<b>Úvod.....</b>	<b>10</b>
<b>1. Teoretický popis konceptu zváracích liniek.....</b>	<b>11</b>
1.1. Rozdelenie zváracích výrobných systémov .....	11
1.2. Ciele automatizovaného zvárania.....	12
1.3. Zvárací priemyslový robot.....	12
1.4. Pohony robotov.....	13
1.5. Kinematika zváracích robotov .....	13
1.6. Zvárací zdroj robota .....	15
1.7. Systém včasného varovania .....	16
<b>2. Riadenie zváracieho robota .....</b>	<b>17</b>
2.1. Základné riadiace systémy .....	17
2.2. Charakteristika snímačov .....	18
2.3. Základné parametre zváracieho priemyslového robota.....	19
2.4. Programovanie zváracích robotov.....	20
2.5. Použitie zváracích robotov .....	21
2.6. Zváranie so spätnou väzbou .....	22
<b>3. MAG zváranie .....</b>	<b>23</b>
3.1. Základný popis technológie .....	23
3.2. Prenos kovu.....	25
3.3. Ochranná atmosféra.....	26
3.4. Prídavné materiály.....	27
<b>4. ISC metóda .....</b>	<b>27</b>
4.1. Natáčanie videozáznamov .....	27
4.2. Uchovávanie dát.....	28
4.3. Analýza DGI .....	29
4.4. Analýza DGM .....	31
4.5. Normovanie práce .....	32
4.6. Metóda predom stanovených časov .....	34
4.7. Metóda časového odhadu .....	35
4.8. MTM .....	35
4.9. MTM 2 .....	36
4.10. Využitie MTM.....	37
4.11. Aktivita .....	38
4.12. Fázy merania času .....	39

4.13.	Základy pracovných metód.....	39
4.14.	Typy výrobného času.....	41
4.15.	Práca .....	42
4.16.	Metodika analyzovania a hodnotenia pohybov .....	43
<b>5.</b>	<b>Štíhla výroba.....</b>	<b>50</b>
5.1.	Plytvanie.....	52
5.2.	Ťahový systém riadenia výroby – Kanban .....	54
5.3.	Teória obmedzení – TOC .....	55
5.4.	Metóda SMED .....	57
<b>6.</b>	<b>Kapacitné výpočty .....</b>	<b>59</b>
6.1.	Využitie .....	59
6.2.	Hlavné veličiny kapacitných výpočtov .....	59
<b>7.</b>	<b>Popis výrobnjej linky.....</b>	<b>61</b>
7.1.	Charakteristika jednotlivých pracovísk .....	61
7.2.	Robotická zvaracia bunka.....	65
7.3.	Charakteristika zvarenca .....	67
7.4.	Základný materiál.....	68
<b>8.</b>	<b>Podmienky zvaracieho procesu.....</b>	<b>70</b>
8.1.	Zvaracie parametre.....	70
8.2.	Ochranný plyn.....	70
8.3.	Prídavný materiál .....	71
<b>9.</b>	<b>Optimalizácia výrobného procesu .....</b>	<b>71</b>
9.1.	Analýza zakladania zvarenca do prípravku.....	72
9.2.	Analýza zvaracieho procesu.....	73
9.3.	Analýza vykladania zvarenca z prípravku.....	80
9.4.	Celkový ušetrený čas.....	82
	<b>Záver.....</b>	<b>85</b>
	<b>Zoznam použitých zdrojov .....</b>	<b>86</b>
	<b>Zoznam obrázkov.....</b>	<b>89</b>
	<b>Zoznam tabuliek.....</b>	<b>90</b>
	<b>Príloha – výkres zostavy zvarenca .....</b>	<b>91</b>



## Zoznam použitých skratiek

AV	adding value
BU	business unit
CAD	computer aided design
CAM	computer aided manufacturing
cca	približne
CCD	charge – coupled device
č.	číslo
GMAW	gas metal arc welding
I	elektrický prúd
MAG	metal active gas welding
MIG	metal inert gas welding
MTM	methods – time measurement
PM	prídavný materiál
resp.	respektíve
s	sekunda
SW	software
U	elektrické napätie
v	rýchlosť
WIG	wolfram inert gas welding
ZM	základný materiál

## Úvod

V modernej výrobe je stále viac kladený dôraz na rozvoj technologických procesov, výrobných zariadení a na automatizáciu, do ča najvyššej miery. Technológia zvarania nie je v tomto smere žiadnou výnimkou. Zvýšenie produktivity práce je možné dosiahnuť zavedením nových výrobných technológií, použitím výkonnejších strojov, automatizáciou a optimalizáciou už zavedených výrobných postupov.

Redukovanie podielu ľudského faktoru pri zvaraní je možné len pri vytváraní pružných výrobných systémov za použitia automatizovaných prvkov, ako sú priemyslové roboty, manipulátory a robotické komplexy.

Automatizovať je možné väčšinu zvaracích technológií na báze elektrického oblúku odporového zvarania a iných metód. K najviac rozvíjajúcim sa technológiám s možnosťou automatizácie a robotizácie, patrí práve zvaranie elektrickým oblúkom v ochrannej atmosfére plynu. Technológie ako zvaranie laserom, elektrónové zvaranie a zvaranie pod tavidlom je možné realizovať iba za predpokladu určitého stupňa automatizácie, avšak náklady posledných zmienených metód (investičné aj prevádzkové) sú omnoho vyššie. Táto diplomová práca sa bude zaoberať konvenčnými metódami zvarania pomocou elektrického oblúku, resp. optimalizáciou spôsobu automatizácie.

## 1. Teoretický popis konceptu zväracích liniek

*Automatizácia* výroby je samostatne prebiehajúci proces, riadený podľa dopredu vytvoreného programu, ktorý realizuje riadiacu a rozhodovaciu činnosť človeka.

*Mechanizácia* sa od automatizácie líši tým, že výber operácií, riadenie, zahájenie a ukončenie pracovného cyklu je zabezpečované človekom.

Zavedenie automatizácie do výrobných závodov sa uskutočňuje, hlavne kvôli redukcii nákladov na výrobu zvarencov pri zlepšovaní kvality, ktorá podlieha sprísňujúcim sa svetovým normám. [1]

*Robotizácia* zvarových procesov sa uplatňuje v hromadných, málosériových ale aj kusových výrobách. Každá optimalizácia vo výrobe musí prebiehať po stránke technologickej, ale aj ekonomickej, tak aby eliminácia ľudského faktoru vo výrobe znamenala zvýšenie spoľahlivosti, kvality ale aj výkonu. Okrem toho automatizácia a robotizácia výroby oslobodzuje človeka od fyzicky náročnej a stereotypnej práce, a taktiež mu dovoľuje nepracovať na pracoviskách, ktoré sú zdraviu škodlivé. [1]

### 1.1. Rozdelenie zväracích výrobných systémov

V závislosti na použitých zväracích technológiach je možné zväracie procesy čiastočne alebo celkovo automatizovať na základe jednotlivých stupňov automatizácie:

*Nultý stupeň* – zváranie elektrickým oblúkom obalenou elektródou, použitie upínacích prvkov a polohovadiel. Zvärací prúd má konštantnú hodnotu, zväracia rýchlosť a dĺžka oblúku závisí na ľudskom faktore. [1]

*Prvý stupeň* – technológie ručného poloautomatického zvárania, s automatickým podávaním drôtu prídavného materiálu, použitie jednoduchých prípravkov a polohovadiel. Zvärací prúd je nastavovaný na konštantnú hodnotu, zväracia rýchlosť je ovplyvnená ľudským faktorom, dĺžka oblúku je funkcia napätia a prúdu a je samočinne udržiavaná na optimálnej hodnote za pomoci ochranej atmosféry inertného alebo aktívneho plynu. [1]

*Druhý stupeň* – technológie mechanizovaného zvárania spojené s mechanickými zväracími prípravkami a polohovadlami, priebeh prúdu závisí od regulácie nastavených parametrov, zväracia rýchlosť je zvyčajne nastavená na konštantnú hodnotu, dĺžka oblúku je funkciou napätia a prúdu, zváranie v ochranej atmosfére – MIG, MAG, WIG, automatické zváranie pod tavidlom, plazma, laser... [1]

*Tretí stupeň* – automatické zváranie jednoúčelovými zváracími strojmi a priemyslovými robotmi s pružným alebo adaptívnym programovým riadením, priebeh zvaracieho prúdu je funkcia dráhy, času a vneseného tepla. Zváracia rýchlosť je funkcia času alebo dráhy a dĺžka oblúku je funkcia napätia alebo prúdu. Technológie zvárania sú rovnaké ako v druhom stupni. [1]

### **1.2. Ciele automatizovaného zvárania**

- Zvýšenie kvality zvarov, zlepšenie ich vlastností znížením vplyvu poruchových faktorov, ako sú nepresné vedenie horáka, nestabilita oblúku, kolísanie dĺžky oblúku alebo nerovnomerná rýchlosť zvárania.
- Rovnaká kvalita zvarových spojov na celom zwarenci, vyššia presnosť.
- Vyššia produktivita vo výrobe.
- Redukcia nákladov na výrobu jednotlivých dielov, podobne aj ušetrenie mzdových nákladov na zvaračov a neporovnateľne kratšia pracovná doba.
- Väčšia spoľahlivosť pri postupnosti zváracích operácií.
- Možnosť obmedzenia zváracích prác v zdravie škodlivom prostredí, ovládanie na diaľku.
- Neobmedzená variabilnosť a preprogramovateľnosť pri výrobe zvarencov. [1]

### **Najčastejšie spôsoby zvyšovania produktivity automatizovaných zváracích procesov :**

*Použitím vysoko produktívnych metód zvárania* – oblúkové zváranie v ochranných plynch dvoma drôtmi, prípadne jedným drôtom s veľkým priemerom, zváranie do úzkej medzery, proces RAPID, atď.

*Redukovanie alebo prekrývanie časov* – manipulačné, medzioperačné, operačné. Časy je možné znížiť zrýchlením pohybov za použitia rýchlejších strojov a manipulátorov, usporiadaním operačných a medzioperačných pohybov.

*Vykonávanie viacerých operácií súčasne*, prípadne konanie viacero operácií po sebe na jedno upnutie v manipulátore. [1]

### **1.3. Zvárací priemyslový robot**

Na to aby zvárací robot fungoval vo výrobe musí spĺňať nasledujúce kritéria, resp. obsahovať nasledujúce časti :

- Obsahuje mechanické časti s príslušným pohonom.

- Kinematiku, ktorá spája základ robota s výstupnou hlavicou.
- Zváracie zariadenie – zdroj.
- Riadiaci systém alebo počítač s pamäťou.
- Snímače pre interakciu s okolitým prostredím.
- Snímače pre pracovné orgány robotov. [1]

#### **1.4. Pohony robotov**

Pohyby pracovných orgánov zváracích robotov závisia od výstupov pohonov, od ktorých závisí rýchlosť a presnosť operácií. Pohony môžu byť nasledujúce:

*Hydraulický pohon* – pomerne bežný, využíva ho veľký počet robotov, k jeho výhodám patrí veľký výkon pri malých rozmeroch hydraulických prvkov, plynulé riadenie rýchlosti, ľubovoľný počet pracovných medzipolôh, malé rýchlosti pohybu bez prevodu a dobrá účinnosť a spoľahlivosť. Nevýhody – náročné dosiahnutie vyšších rýchlostí, prítomnosť hydraulického agregátu, zmena viskozity oleja v závislosti na teplote. [1]

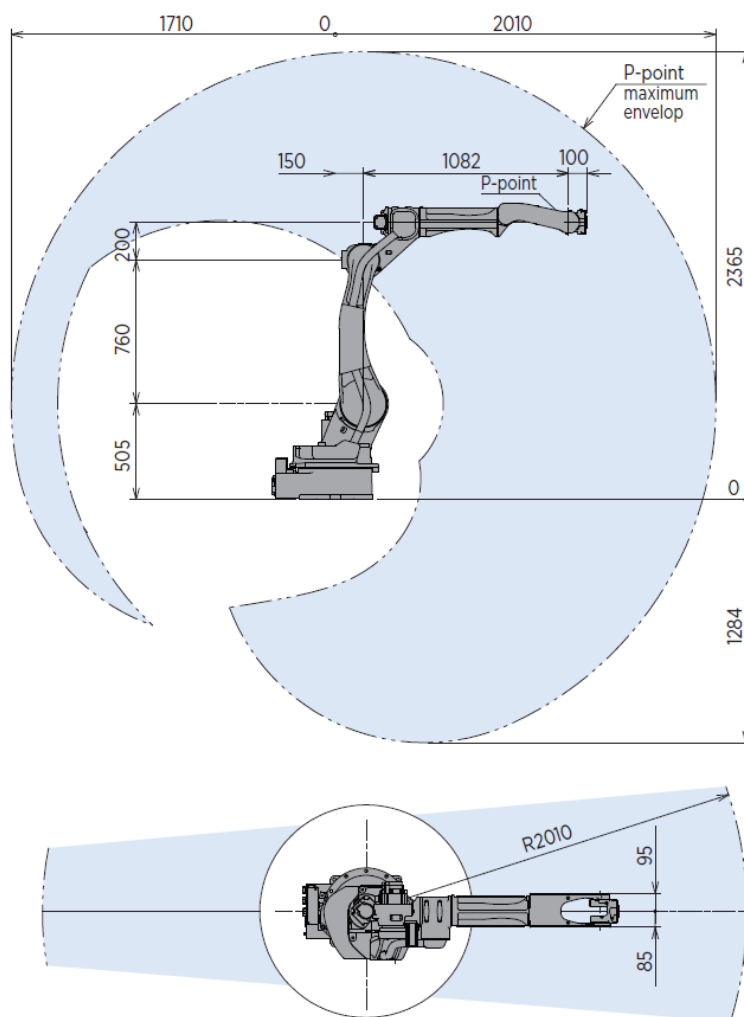
*Pneumatický pohon* – vhodnosť pre roboty a manipulátory s malými výkonmi a jednoduchými pracovnými cyklami. Jeho výhodou je ľahkosť dosiahnutia vysokých zdvihov a priamočiareho pohybu, jednoduchá konštrukcia a spoľahlivosť. Prejavujú sa aj nedostatky ako nižšia presnosť polohovania, ktorá vyplýva zo stlačiteľnosti vzduchu, problémové riadenie rýchlosti a veľké rozmery zariadenia. [1]

*Elektrický pohon* – k prednostiam patrí vysoká presnosť polohovania, vďaka numericky riadeným krokovým motorom, jednoduchý rozvod energie dostupnej z verejnej siete, konštrukcia z typizovaných prvkov, jednoduchá údržba, spojenie s riadiacimi systémami bez použitia prevodníkov energie a relatívne malé rozmery zariadenia. Problém tohto pohonu však spočíva v konaní priamočiarych pohybov. [1]

#### **1.5. Kinematika zváracích robotov**

Všetky navzájom pohyblivé prepojené časti kinematického reťazca medzi základom robota a zváracou hlavicou tvoria kinematické usporiadanie zváracieho robota. K základu robota je napojená kinematika polohovacieho a kinematika orientačného ústrojenstva. Ku kinematike polohovacieho ústrojenstva patrí pohyb prvých troch pohybových jednotiek a ku kinematike orientačného ústrojenstva je zaradený pohyb zápästia vykonávajúceho pohyb zváracej hlavice. Kinematiku robota udáva následnosť a druh kinematických väzieb. Systém kinematického usporiadania udáva operačný priestor robota, v ktorom môže zváracou hlavicou zasiahnúť do

ktoréhokoľvek bodu. Tvar a veľkosť operačného priestoru sa dá odvodiť na základe trajektórie translačných a rotačných mechanizmov, ktoré robot vykonáva. [1]



Obr. 1 – Pracovný priestor robota Yaskawa MA2010. [2]

Univerzálny priemyslový robot má šesť stupňov voľnosti, pričom k dosiahnutiu ľubovoľného bodu v priestore sú potrebné 3 stupne voľnosti, translačných alebo rotačných a k dosiahnutiu požadovanej orientácie nástroja sú potrebné ďalšie tri stupne voľnosti, prevažne rotačné. V praxi to znamená, že k dosiahnutiu pohybu zvaracieho horáku pri oblúkovom zvaraní MIG, MAG alebo TIG je potrebných 5 stupňov voľnosti, pretože horák je teleso konajúce rotačný pohyb, kde otáčanie okolo svojej osy nemá na technologický proces žiadny vplyv. Na druhej strane, pri všeobecnom pohybe zvaracích klieští pri odporovom bodovom zvaraní, je potrebných všetkých šesť stupňov voľnosti, k dostatočnému priblíženiu sa ku zvarencu zo všetkých smerov. [1]

### **Kinematické systémy polohovacieho ústrojenstva zváracích robotov:**

*Pravouhlý súradnicový systém* – tri translačné dvojice, tri lineárne pohyby v pravouhlých súradniciach  $(x,y,z)$ , kde operačný priestor je v tvare kvádra.

*Valcový súradnicový systém* – dve translačné a jedna rotačná kinematická dvojica, dva lineárne pohyby  $(x,z)$  a rotácia okolo osy  $z$ , kde operačný priestor je valcový segment.

*Sférický súradnicový systém* – dve rotačné a jedna translačná kinematická dvojica, jeden lineárny pohyb ramena v súradnici  $x$ , naklápanie ramena v rovine prechádzajúcej osou  $z$  a rotáciou okolo osy  $z$ , kde operačný priestor je guľový segment.

*Uhlový súradnicový systém* – tri rotačné kinematické dvojice, tri rotačné osy, kde operačný priestor je torusový segment. [1]

Výstup kinematického reťazca priemyslového robota je zváracia hlavica, ktorou robot pôsobí na zvarenc podľa zadanej technologickej úlohy. Na zváracích robotoch má zváracia hlavica technologickú funkciu a nesie zvárací nástroj robota. [1]

### **V závislosti na použitej technológii a podmienkach zvárania sa rozlišuje konfigurácia zváraciej hlavice:**

- Oblúkové zváranie MAG, MIG – súčasťou zváraciej hlavice je systém pre podávanie PM do zváracieho horáku a predovšetkým samotný horák. Hlavica je zapojená k riadiacemu systému pre udržovanie optimálnych zváracích parametrov.
- Odporové bodové zváranie – v zváraciej hlavici sú zabudované odľahčené bodovacie kliešte s hydraulickým ovládaním, kde zvárací transformátor je do nich zabudovaný alebo je s kliešťami spojený káblom. [1]

#### **1.6. Zvárací zdroj robota**

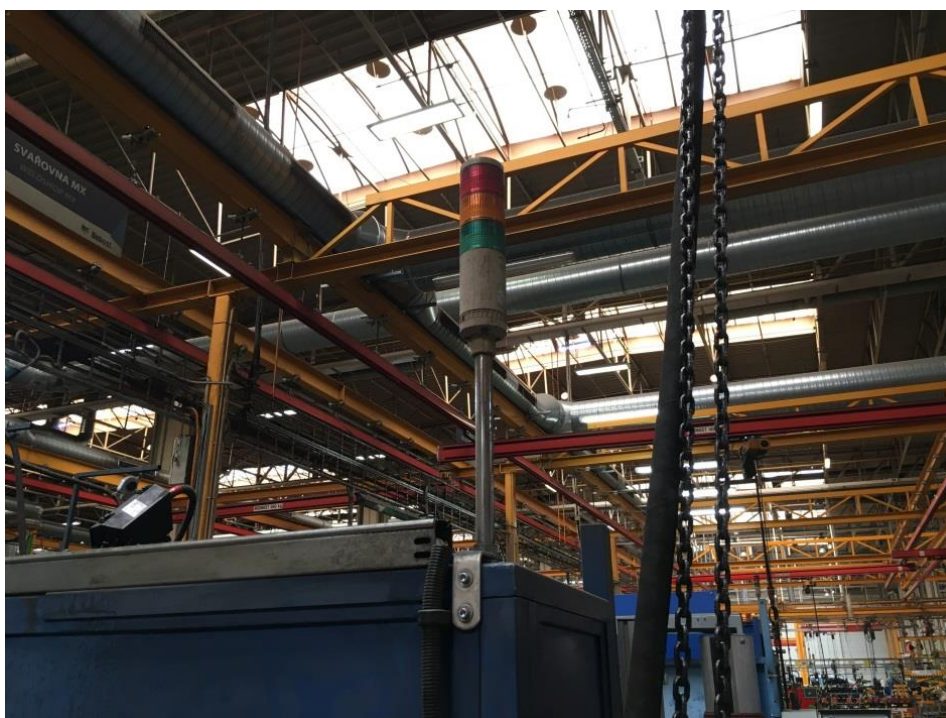
Podľa technológie zvárania sú zváracie zdroje vybavené zariadením pre tavné oblúkové a odporové zváranie. Zvárací zdroj musí byť vybavený vstupmi a výstupmi pre ovládanie riadiacim systémom robota. Pri oblúkovom tavnom zváraní sa používajú invertorové zváracie zdroje, ktoré majú v porovnaní s bežným tyristorovým zdrojom oveľa nižšiu hmotnosť, menší objem a asi 50 percentnú úsporu príkonu. Riadenie invertorového zdroja zaručujú mikroprocesory, ktoré zlepšujú dynamiku procesu a zvyšujú rýchlosť riadenia spätnou väzbou. Súslednosť jednotlivých krokov a priebeh úkonov technologickej operácie má na starosti riadiaci systém. Pri programovaní musí byť najskôr vytvorený algoritmus zváracieho cyklu,

a teda postupnosť jednotlivých operácií s inštrukciami. Následne sa algoritmus zapíše do pamäte riadiaceho systému stroja a vytvorí sa program v programovacom jazyku. Riadiaci systém realizuje kompletný zvarací proces, ktorý prebieha za požadovanej kvality závislej od predpísanej trajektórie horáka, stanovenej zvaracej rýchlosti a súčasného riadenia technologických parametrov ako sú regulácia časového priebehu zvaracieho prúdu, napätie na oblúku, dĺžka oblúku, rýchlosť podávania prídavného materiálu a prietok ochranného plynu.

[1]

### 1.7. Systém včasného varovania

V prípade, že nastane neočakávaná udalosť, ktorá zastaví celý výrobný proces, je dôležité aby boli zodpovední pracovníci čo najskôr informovaní. Medzi takéto udalosti patrí napríklad porucha na robotickom pracovisku, kedy robot prestane zárať a dôjde k prerušeniu konania práce. Pri takejto udalosti je potrebné, aby na ňu bol čo najskôr upozornený operátor, ktorý má dané pracovisko na starosti. Túto úlohu zabezpečujú svetelné a zvukové signalizačné prvky na pracovisku, ktoré v momente zastavenia zvaracieho procesu spustia poplach.



*Obr. 2 – Svetelná signalizácia na pracovisku.*

Operátor je okamžite informovaný o prerušení výrobného procesu a do niekoľkých sekúnd je schopný k pracovisku prísť a problém vyriešiť. Systém včasného varovania zohráva dôležitú úlohu v plynulosti materiálového toku.



## 2. Riadenie zvaracieho robota

### 2.1. Základné riadiace systémy

*Spevným programom* – program sa počas operácie nemení, je stály. Podľa funkčného usporiadania sa riadiace systémy delia na cyklové, súradnicové, súvislé alebo kombinované. Cyklové sú riadiace systémy, ktoré tvoria logické obvody realizované z elektrických alebo pneumatických prvkov. Súradnicové a súvislé riadiace systémy ovládajú polohovanie robotov bez spätnej väzby.

*S pružným programom* – prípadná zmena činnosti robota je možná výmenou nositeľa programu alebo priamym preprogramovaním v operačnej pamäti riadiaceho systému. Nositeľ programu môže byť okrem operačnej pamäte aj externý disk.

*Adaptívne riadiace programy* – riadiaci systém dokáže prispôbiť svoju činnosť prostrediu, pre optimálny výsledok technologickej operácie. Zmena sa týka napríklad niektorých technologických parametrov. Polohová adaptivita závisí na správnej polohe zvaracieho horáka a zvaraného spoja v reálnom čase zvarania. Systém riadenia so spätnou väzbou informuje o anomálnom priebehu zvaracieho procesu a vyrovnáva rozdiel požadovaných a snímaných hodnôt na nulu alebo hodnotu blížiacu sa nule. [1]

#### **Riadenie kinematiky pohybu zvaracieho nástroja sa delí :**

*Bodové riadenie* – pri bodovom odporovom zvaraní, postupné pohyby v osách, môžu prebiehať súčasne ale aj nezávisle po sebe. Prioritou sú priestorové body, na ktoré behom naprogramovaného cyklu musí dosiahnuť hlavica robota s čo najlepšou presnosťou. Trajektória má druhotný význam. [1]

*Súvislé riadenie* – používa sa pri oblúkovom zvaraní, pohyb prebieha po danej trajektórii, realizácia pohybu horáku robota po predpísanej krivke pri riadení pohybov v daných súradniciach. Pohyb horáku z bodu A do bodu B, prebieha podľa predom danej funkčnej závislosti bodov vzhľadom k jednotlivým súradnicovým osám. Trajektória dlhej krivky môže byť nahradená pohybom po malých priamkových úsekoch. [1]

*Adaptívne riadenie* – možná zmena programu, závislá na vyhodnotení vplyvov vonkajšieho prostredia, a teda sledovanie medzery alebo zmena zvaracích parametrov podľa rozmerov zvaru. Prídavné spätné väzby ovplyvňujú priebeh činnosti adaptívneho riadiaceho systému podľa zmien niektorých sledovaných veličín. V tomto type riadenia sa počíta so senzormi,

ktorými bude robot vybavený a bude zaznamenávať ďalšie fyzikálne veličiny ako rýchlosť, zrýchlenie a silu. [1]

Kinematika polohovadla je taktiež ovládaná riadiacim systémom zvaracieho robota. [1]

## 2.2. Charakteristika snímačov

Prenos dát a hodnôt meraných veličín do riadiaceho systému robota, prebieha prostredníctvom snímacích a monitorovacích prvkov za pomoci výstupných signálov. Tieto dáta môžu mať charakter procesovej alebo polohovej – kinematickej veličiny. Snímané veličiny pôsobia na prvky, ktoré menia zaznamenané informácie na elektrické signály, spracovávané riadiacim systémom na výstupné signály pôsobiace na ovládanie daných častí robota. Prvky na ktoré snímané veličiny pôsobia sa nazývajú čidlá. Snímač môže obsahovať jedno alebo niekoľko čidiel. Čidlá sa rozlišujú podľa funkčnosti a typu použitia. Čidlá vnútornej informácie sledujú činnosti samotného robota ako je poloha a jej zmena, prípadne otočenie alebo natočenie, rýchlosť pohybu funkčných súčasti kinematiky robota a parametre pohonu. Čidlá vonkajšej informácie sledujú pracovné prostredie, pôsobenie robota v tomto prostredí, relatívnu polohu zvaracej hlavice, zvarenec v priestore, jeho tvar a vlastnosti. Čidlami sú taktiež snímané hodnoty technologických parametrov ako prúd, napätie na oblúku, dĺžka oblúku, vnesené teplo a podávanie zvaracieho drôtu. [1]

### V závislosti na funkcií sa snímače delia na :

*Dotykové* – snímajú danú veličinu priamym dotykom so snímaným telesom, kopírujú povrch predmetu alebo hrany zvarového spoja. Zmeny, ktoré snímač zaznamená sú prevedené na elektrický signál. Patria sem napríklad mechanické, tenzometrické alebo drôtové snímače.

*Bezdotykové, indukčné* – patria sem snímače pre vedenie zvaracieho horáka pri tupých zvaroch. Fungujú na základe rozptylového poľa vzduchovej medzery vo feromagnetickú doske, pri vytvorení magnetického poľa budiacich cievok snímača. Používajú sa pre elektrický vodivé a feromagnetické látky.

*Optické* – zachytením odrazeného svetla polovodičového laseru od povrchu snímaného telesa opisujú tvar a polohu zvaru alebo sledujú obraz pomocou CCD kamery a merajú tak napríklad tvar úkosu a tvar zvarového kúpeľa. Patria sem laserové a optické snímače.

*Oblúkové* – ich úlohou je regulovať vzdialenosť zvaracieho horáka od ZM, a úprava odchyľky polohy horáka pri jeho vedení po zvare, čo zabezpečujú samoregulačné charakteristiky zvarového oblúku pre polohovú adaptivitu. [1]

### 2.3. Základné parametre zváracieho priemyslového robota

Celkový výber priemyselného robota, a jeho voľbu ovplyvňujú v značnej miere technické parametre, ktoré možno rozlíšiť na hardwarové a softwarové. [1]

#### Hardwarové parametre

*Kinematický systém* – jedna zo základných vlastností priemyselného robota, ktorá charakterizuje jeho pohybové možnosti. Dnešné zváracie roboty pracujú hlavne v uhlových súradniciach, čo znamená, že roboty majú dobré použiteľné vlastnosti ako je rýchlosť, dynamika a pri lineárnom pojazde aj relatívne veľký pracovný priestor. Dôležitým parametrom je taktiež počet stupňov voľnosti robota, ktorý udáva v kolíkych samostatných osách je schopný sa pohybovať.

*Pracovný priestor* – priestor, v ktorom je robot schopný výstupnou zváracou hlavice dosiahnuť teoretický bod počas zváracieho operácie. Je ovplyvnený kinematikou robota a udáva sa v  $m^3$ .

*Nosnosť* - zvyčajne sa udáva najväčšia hodnota predmetu na manipuláciu a teda výstupnej hlavice pri zachovaní ostatných prevádzkových parametrov robota. Je to v podstate maximálne zaťaženie hlavice a udáva sa v  $kg$ .

*Presnosť polohovania* – charakterizuje opakovanú presnosť polohovania, ktorá je závislá na veľkosti manipulovanej hmoty, rýchlosti pohybu zváracieho hlavice a tuhosti robota. Pri oblúkovom zváraní je postačujúca presnosť polohovania  $\pm 0,2 \text{ mm}$  a pri bodovom odporovom zváraní  $\pm 1,0 \text{ mm}$ .

*Rýchlosť pohybu výstupnej hlavice* – je závislá na veľkosti manipulovanej plochy, na zrýchlení a spomalení a na trajektórii. Pri lineárnom pohybe sa udáva v  $m.s^{-1}$  a pri rotačnom pohybe v  $rad.s^{-1}$ . [1]

#### Softwarové parametre

Technologické operácie, ktoré je priemyslový robot schopný vykonávať závisia od programového vybavenia riadiaceho systému. Na zváracom robote bude rozdiel v programe pre oblúkové zváranie a pre zváranie bodové odporové.

K základným softwarovým parametrom sa zaraďuje kapacita pamäte, ktorá zadáva predovšetkým počet programovateľných krokov, a teda polohových a funkčných inštrukcií.

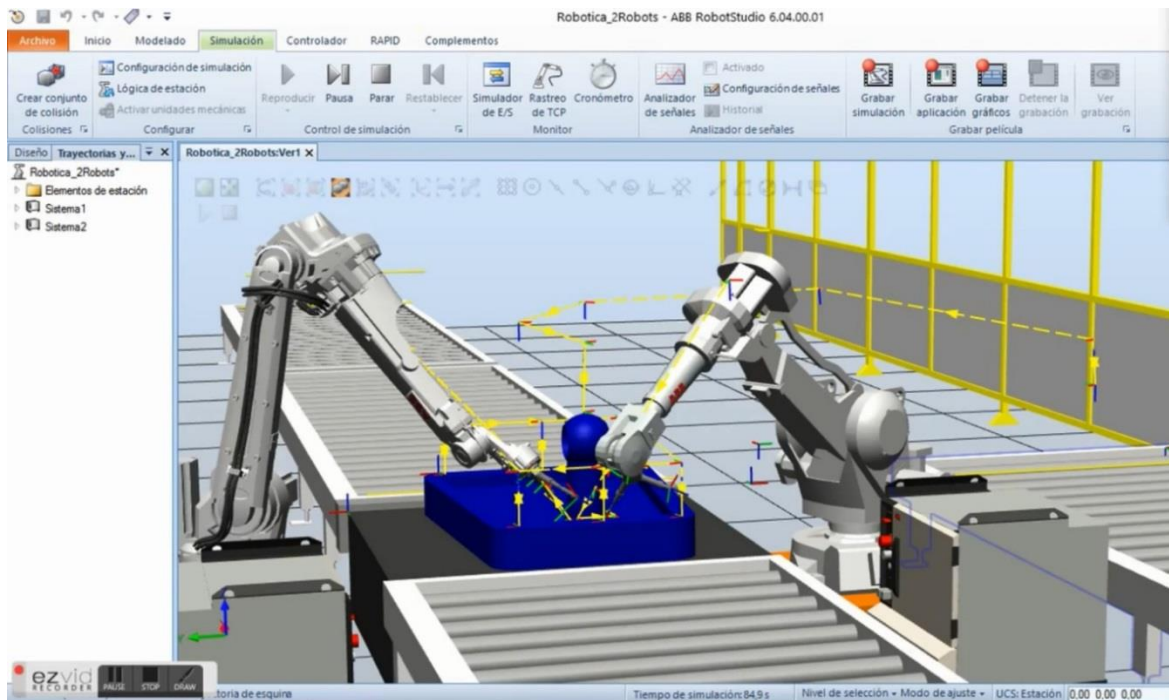
Ďalšími parametrami sú spôsoby programovania riadiaceho systému robota pre uskutočňovanie nenáročných operácií a tiež adaptívne vlastnosti priemyslového robota. [1]

#### 2.4. Programovanie zväracích robotov

Funkcie polohy a pohybu výstupnej hlavice a iných technologických parametrov, sú vďaka riadiacim systémom priemyselných robotov a manipulátorov komplexne programovateľné. Programovaním sa rozumie zadávanie a ukladanie informácií o následnosti jednotlivých činností, polohách, trajektoriách a rýchlostiach pohybov. [1]

Programovanie sa podľa časovej závislosti medzi programovaním a úkonmi robota delí:

- **On – line programovanie** – Bežne používaný typ programovania, používa sa v prípade, keď potrebuje operátor vykonať rýchlu (konkrétnu) zmenu na pracovisku. Spočíva v prvotnom predvedení záznamu a jeho následným prehratím robotom. V súčasnosti je tento typ programovania prevažne nahradený expertným systémom, ktorý je pri optimalizácii prepojený so zväracím procesom prostredníctvom procesového počítača. Tento systém dohliada a nastavuje zväracie parametre a uskutočňuje prenos dát z externých a interných snímačov. Expertný systém riadi zvärací proces za použitia procesového počítača, podľa optimalizovaných hodnôt zväracích parametrov. [1]
- **Off – line programovanie** – Programovanie vzhľadom na jeho časovú náročnosť, býva veľkým problémom hlavne pri malých sériách, kde sú zvarence často tvarovo komplikované. On – line programovanie trvá bežne 50 násobne viac, než samotný zvärací cyklus. Pre zníženie tohto času sa používa programovanie off – line, ktoré spočíva v programovaní mimo zväracieho pracoviska. Pre programovanie je podstatná geometria výrobku, ktorý je vymodelovaný v CAD systéme. Na detekciu zvarenca sa používajú vizuálne snímače a riadiace jednotky pre riadenie robota a manipulátora. Po integrácii jednotlivých elementov na numerické riadenie osí robota, prebehne analýza obrazu, kontrola chýb a plánovanie dráhy zvaru. Zložitejšie a tvarovo náročnejšie telesá sa programujú v systémoch CAD/CAM, ktorý umožňuje simulovať celkové funkcie robota. [1] Sú vytvorené virtuálne pracoviská, ktoré sú identické s reálnymi a musia byť navzájom skalibrované aby programy vytvorené v off – line programovaní boli SW kompatibilné s riadiacou jednotkou robota. K typickým SW patrí ABB RobotStudio alebo Robotmaster.



Obr. 3 – Off – line SW pre programovanie zväracích robotov ABB RobotStudio. [3]

## 2.5. Použitie zväracích robotov

Základné typy priestorového usporiadania priemyselných robotov a manipulátorov v skupinovom nasadení, používaného pri automatizácii:

- Radové, hviezdicové usporiadanie so stabilnými robotmi a manipulátormi.
- Radové usporiadanie s mobilnými robotmi a manipulátormi.
- Umiestnenie robotov a manipulátorov vo výrobných linkách.
- Kombinované usporiadanie väčších výrobných celkov. [1]

**Zariadenia pre automatizované zváranie sú koncipované a realizované ako :**

*Jednoučelové zväracie stroje* – mechanické vedenie výstupnej zvärackej hlavice voči pevnému alebo pohybujúcemu sa zvärencu, napr. automatické zváranie pod tavidlom, orbitálne zváranie atď.

*Automatické zváranie robotom* – zvärací robot je riadený programom a podľa neho vykonáva operácie na zvärenci, nastavovanie a upínanie na polohovadle prebieha ručne. [1]

## **Robotické pracovisko pre zváranie oblúkom za prítomnosti ochranných plynov tvorí :**

- Priemyslový robot so systémovo riadeným manipulátorom zváracieho horáka.
- Zvárací zdroj s automatickým podávaním PM a prívodom ochranného plynu.
- Periférne zariadenia ako automatické polohovadlo pre prekrytie manipulačných a zváracích časov, ochranné časti – skenery, bezpečnostné závary, čistiace stanice a pod.
- Energetické a dátové prepojenie pracoviska.
- Riadiaci systém pracoviska so zabezpečením väzieb mimo pracoviska. [1]

Úlohou riadiaceho systému je synchronizované ovládanie zváracích pohybov a pohybov polohovadiel tak, aby bola zaistená optimálna orientácia zvarenca v pracovnom priestore robota pre zváranie. Polohovadlá majú bežne dva a viac stupňov voľnosti, zvyčajne sú viac miestne s plochami pre upínanie prípravkov. [1]

## **Automatické zváracie pracovisko s robotom, polohovadlom a podávačom**

Manipulátor alebo podávač automaticky zabezpečuje dopravu zvarencov, umiestňovanie, upínanie a výmenu zvarencov na polohovadle. Základom pružných výrobných systémov pre modernú priemyselnú výrobu je automatizované zváracie pracovisko, niekedy vybavené dvoma aj viac zváracími robotmi pre súčasné zváranie s väčším počtom zváracích nástrojov na jednom zvarenci. Tento proces prebieha za použitia CAD/CAM technológií. Roboty sú nenahraditeľné na výrobných linkách, kde je nutné vyrábať viac typov výrobkov. Túto skutočnosť ovplyvňujú zmeny, ktoré sa objavujú v požiadavkách zákazníkov a vedú k zvyšovaniu počtu výroby v malých sériach. Zavedenie priemyselných robotov do výrobných liniek je počiatočný krok k automatizovanému výrobnému závodu. Prechod a prestavba výrobných liniek na automatizované výrobné systémy so zváracími robotmi, súvisí s relatívne vysokými investičnými nákladmi, ktoré sú však jednorazové. Následne je nevyhnutné vykonať početné technicko – organizačné zmeny. Z tohto dôvodu je pre dosiahnutie ekonomickej výroby s plánovaným ziskom nutné plánovať aj minimálnu sériu zvarencov. [1]

### **2.6. Zváranie so spätnou väzbou**

#### **Sledovanie oblúku**

U metód zvárania, ktoré prebiehajú za prítomnosti elektrického oblúku horiaceho medzi odtavujúcim sa prídavným materiálom a zváraným materiálom, je potrebné nastaviť

automatickú reguláciu dĺžky oblúku. Podávanie drôtu na zvaracích zariadeniach s konštantnou podávacou rýchlosťou, je dĺžka oblúku regulovaná zmenou odtavovacej rýchlosti drôtu s rozdielom rýchlosti podávania. Intenzita zvaracieho prúdu sa mení na zvaracom zdroji s plochou zaťažovacou charakteristikou v závislosti na zmene napätia na oblúku a ovplyvňuje odtavovaciu rýchlosť prídavného materiálu. Zvaracie zariadenie s regulovateľnou rýchlosťou podávania drôtu, a teda premenlivými otáčkami podávacích kladiek, dokážu regulovať dĺžku oblúku zmenou rýchlosti podávania, podľa snímaných odchýliek na oblúku. Zvarací zdroj má strmú zaťažovaciu charakteristiku, z dôvodu aby nedošlo ku zmenám zvaracieho prúdu vplyvom kolísania napätia. [1]

### **Sledovanie zvarovej medzery**

Pre dosiahnutie kvalitného zvarového spoja na automatických zvaracích zariadeniach je potrebné samočinné vedenie zvaracieho horáka počas zvarania. Korektné a spoľahlivé meranie polohy zvaracieho horáka v priebehu zvarania je prioritným predpokladom pre vytvorenie polohovej spätnej väzby. [1]

## **3. MAG zvaranie**

### **3.1. Základný popis technológie**

Jedná sa o jednu z najrozšírenejších metód zvarania nelegovaných a nízkolegovaných ocelí. Hlavnými dôvodmi rozšírenia tejto metódy je veľký výber prídavných materiálov, ochranných plynov, jednoduchá možnosť mechanizácie a robotizácie, početná možnosť voľby zvaracích zariadení a samotné výhody danej technológie. Pri MAG zvaraní horí elektrický oblúk medzi vinutou drôtovou elektródou a základným materiálom. Elektróda sa k ZM privádza ako prídavný materiál zvarania, pomocou posuvného zariadenia, a taví sa v roztavený kov. Ochranný plyn prúdi okolo elektródy a chráni elektrický oblúk pred atmosférickými vplyvmi. MAG zvaranie sa vyznačuje vysokou bezpečnosťou procesu a dobrou výkonnosťou odtavovania. [4,5]

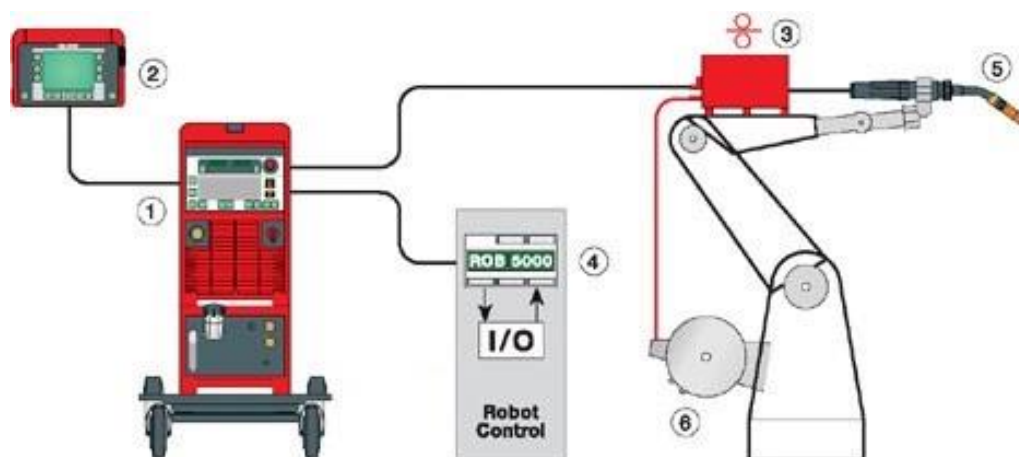
Podľa normy ČSN EN ISO 4063 sa táto metóda číselne značí:

135 – MAG (európska skratka) – **Metal Active Gas Welding**

135 – GMAW (americká skratka) – **Gas Metal Arc Welding**

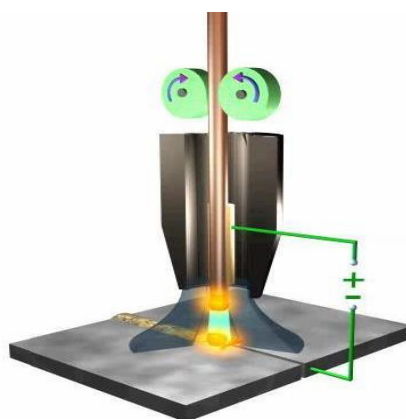
Zvaranie MAG je poloautomatické zvaranie v ochrannej atmosfére aktívneho plynu. Za poloautomatické sa považuje vďaka automatickému podávaniu drôtu, ktoré je realizované

pomocou podávacích kladiek umiestnenými v podávači alebo v horáku, z cievky s bežnou hmotnosťou 15 kg. Táto metóda je vhodná najmä na zváranie ocele. K ochrane zvarového kúpeľa sa používa aktívna ochranná atmosféra. Často sa používa aj viaczložková zmes plynu na báze argónu. Takéto zmesi sa používajú pre špeciálne účely, ako je zváranie pozinkovaného oceľového plechu. [4,6,7]



Obr. 4 – Schéma zapojenia zvaracieho systému pre metódu MAG zváranie: 1 – zvarací zdroj, 2 – diaľkové ovládanie zvaracieho zdroja, 3 - systém podávania drôtu PM, 4 – riadiaca jednotka robota, 5 - zvarací horák, 6 – zásobník drôtu PM [4,8]

Zvárať metódou MAG je možné ručne, na poloautomatizovanom pracovisku ale aj na plne automatizovanom robotickom pracovisku. Ďalší dôvod jej využitia spočíva v jej efektívite, použiteľnosti, v jednoduchosti čistenia zvarov a výbornej jakosti zvarov. Na kontrolu kvality zvarov sú používané vizuálne, rozmerové, magnetické a ultrazvukové skúšky, vyplývajúce z normy ČSN EN ISO 5817– B a ČSN EN ISO 5817– C. [39]



Obr. 5 - Schéma procesu zvárania MAG. [4,9]

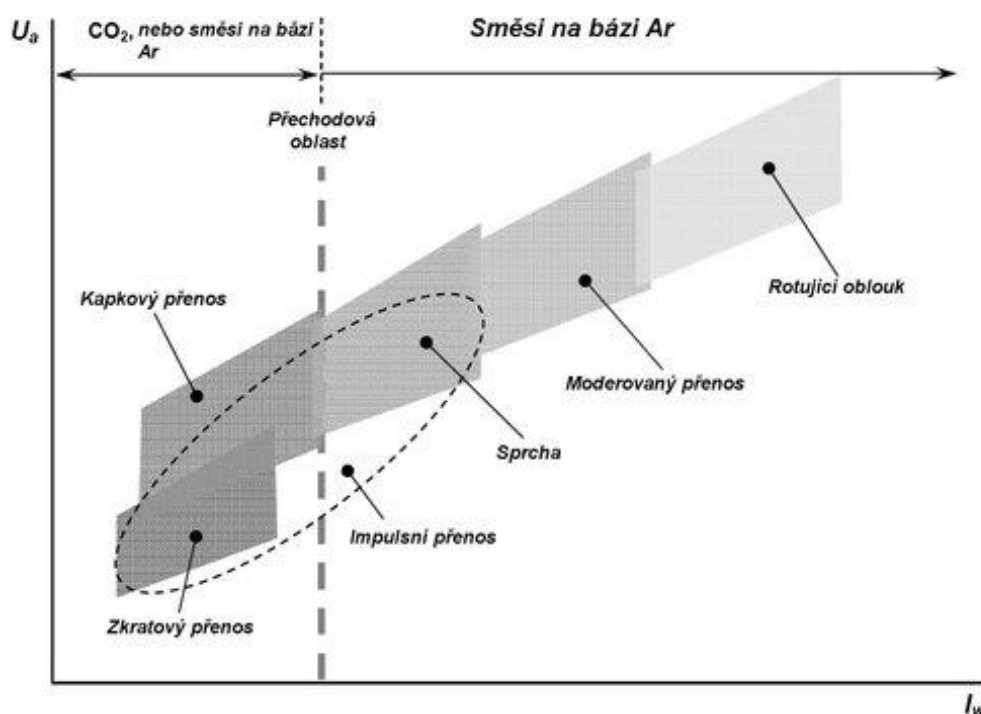
Prenos elektrického prúdu je zabezpečovaný trecím kontaktom v ústi horáku, pričom elektricky zaťažená dĺžka drôtu prídavného materiálu musí byť čo najkratšia. Medzi hlavné



zváracie parametre patrí elektrický prúd  $I$ , napätie  $U$ , rýchlosť podávania drôtu  $v$  a rýchlosť zvárania  $v_z$ . Regulácia parametrov  $I$  a  $U$  výrazne ovplyvňuje typ prenosu kovu medzi elektródou a zvarovým kúpeľom. [39]

### 3.2. Prenos kovu

Prenos kovu elektrickým oblúkom je závislý od zváracích parametrov a použitého ochranného plynu. Pre tenké plechy sa používa skratový prenos a pre väčšie hrúbky plechov sprchový. Voľba ochranných plynov závisí na druhu zváraných materiálov a má vplyv na prenos kvapiek roztaveného kovu v elektrickom oblúku, rozstrek kovu a teplotné zmeny v oblúku. Zváracie parametre, ktoré prenos značne ovplyvňujú sú  $I$  a  $U$ . [40]



Obr. 6 – Pásma prenosu kovu, závislosť  $I$  a  $U$ . [40]

#### Druhy prenosu kovu :

*Skratový* – ku skratu dochádza medzi tavným kúpeľom a kvapkou roztaveného kovu, v prípade, že sa skrat preruší dôjde k zapáleniu oblúku. Typický prenos pre zváranie obalenou elektródou.

*Kvapkový* – na jeho realizáciu sú potrebné vysoké hodnoty  $I$ , koniec elektródy sa natavuje do tvaru kvapky. Prenos je bežne použiteľný pri zváraní v ochrannej atmosfére  $CO_2$ .

*Impulzný* – používaný kvôli zníženiu rozstreku, prenos kovu je stabilný, pri pulzujúcom prúde dochádza k prenosu roztaveného kovu elektródy. Výhodou je vysoký výkon odtavovania pri nízkom vnesenom teple a k nevýhodám možno zaradiť elektromagnetické žiarenie oblúku.

*Sprchový* – vznik viacerých kvapiek pohybujúcich sa v smere osy elektródy, výhodou je nízky rozstrek. Prenos sa vykonáva pri vyšších prúdoch a dlhšom oblúku v ochrannej atmosfére s argónom.

*Moderovaný* – dôjde k nemu pri vysokých prúdoch, kvapky veľkosti elektródy rýchlo prúdia plazmatom do zvarového kúpeľa. Uplatnenie pri zváraní veľkých hrúbok pri veľkej zváracej rýchlosti.

*Rotačný* – oblúk rotuje, hodnoty I rovnaké ako u moderovaného prenosu ale hodnoty U sú vyššie. Drôt sa odporovo zohrieva skoro na teplotu tavenia a magnetické pole roztáča koniec elektródy. Ľahko sa dá dosiahnuť hlboký a široký závar. [41]

### 3.3. Ochranná atmosféra

Pri zváraní metódou MAG sa ako ochranné plyny najčastejšie používajú zmesné plyny, používa sa však aj CO<sub>2</sub>, ktorý je jediný aktívny plyn použiteľný samostatne. Je obľúbený hlavne vďaka dobrej dostupnosti a nízkej cene. Jeho nevýhodou je tvorba oxidov a karbidov, ktoré nepriaznivo ovplyvňujú mechanické vlastnosti zvarov. Navyše je použiteľný iba pre úzky rozsah optimálnych zváracích parametrov, spôsobuje veľký rozstrek, ktorého následkom je horší povrch zvarovej húsenice. Taktiež za jeho použitia nie je možné zvärať v sprchovom režime, kvôli veľkému povrchovému napätiu. Vhodný je najmä pre nelegované a nízko legované ocele. Ochranné plyny sú rozdelené a značené podľa normy ČSN EN ISO 14175. [4,10]

Tab. 1 – Hlavné skupiny ochranných plynov podľa normy ČSN EN ISO 14175. [42]

Značenie skupiny	Popis ochranného plynu
I	Inertné plyny a ich zmesi
M1, M2, M3	Oxidačné zmesi s obsahom O <sub>2</sub> a CO <sub>2</sub>
C	Vysoko oxidačné plyny a ich zmesi
R	Redukčné zmesi plynov
N	Nízkoreaktívne alebo nízkoredukčné zmesi s obsahom N <sub>2</sub>
O	Kyslík
Z	Zmesi plynov s obsahom zložiek neuvedených v tabuľke

Tab. 2 – Značenie jednotlivých ochranných plynov podľa normy ČSN EN ISO 14175 [42]

Chemická značka	Značenie podľa normy	Reaktivita
Ar	Ar	inertná
He	He	inertná
CO <sub>2</sub>	C	oxidačná
O <sub>2</sub>	O	oxidačná
N <sub>2</sub>	N	nízkoreaktívna
H <sub>2</sub>	H	redukčná

### 3.4. Prídavné materiály

Ako prídavný materiál sa najčastejšie používajú ocelové drôty, ktoré majú kvôli rafinácií a dezoxidácií prídavok Si alebo Mn. Vhodným príkladom je drôt G<sub>2</sub>Si<sub>1</sub>, G<sub>3</sub>Si<sub>1</sub> alebo G<sub>4</sub>Si<sub>1</sub>. Typické chemické zloženie drôtu G<sub>3</sub>Si<sub>1</sub> je 0,09% C, 0,9 % Si a 1,5% Mn. Charakteristický rozmer zvracieho drôtu, je jeho priemer a najpoužívanejšie veľkosti sú 0,8 mm, 1 mm a 1,2 mm. Bližšie informácie k PM sú uvedené v norme ČSN EN 13479. [4,11]

## 4. ISC metóda

### 4.1. Natáčanie videozáznamov

ISC metóda je postup, ktorého úlohou je optimalizovať výrobné procesy a zvyšovať produktivitu. Táto optimalizačná metóda obsahuje softwary ISC Methodology DGM (machine) a ISC methodology DGI (interface). Celkový proces optimalizácie začína natočením videa, ktoré je následne analyzované. Dôvodov prečo sa optimalizácia vykonáva podľa videa je viac. Medzi tie hlavné patria stále zvyšujúce sa nároky na bezpečnosť, priestor pre zvyšovanie ergonomie a potreba zavedenia štandardizácie. Nástrojom pre vytvorenie záznamov je videokamera, ktorá ponúka jednoduchosť, nízku časovú náročnosť pre natočenie videa a presnosť záznamu a následnej analýzy. Pre optimálnu kvalitu videa a jeho výpovednú hodnotu v následných analýzach je priebeh natáčania presne daný a je potrebné aby bol jeho postup dodržaný. [12]

- Výber pracoviska.
- Informovanie.
- Príchod na pracovisko.
- Natočenie videozáznamu. [12]

Technológ, ktorý postupuje podľa interného plánu oddelenia technológie zvolí pracovisko, ktoré bude optimalizované. Jeho povinnosťou je informovať o plánovanej optimalizácii operátora, ktorý na danom pracovisku pracuje, majstra vo výrobe, ktorý dohliada na dané pracovisko a BU (business unit) manažéra, ktorý je zodpovedný za všetky aktivity vedúce k dosiahnutiu stanovených predajných cieľov. Informácia o plánovanej optimalizácii pracoviska im musí byť odovzdaná najmenej jeden deň pred začatím natáčania. V prípade DGI analýzy musí byť pred natáčaním na pracovisku prítomný technológ a operátor, ktorého pracovná činnosť bude optimalizovaná. Technológ je povinný operátora s natáčaním oboznámiť a informovať ho o jeho priebehu. Video je natáčané technológom, za použitia videokamery so statívom, pričom sa snaží o to, aby boli zreteľne zachytené pohyby tela a končatín operátora. V prípade výrobného procesu prebiehajúceho na stroji sa natáčajú činnosti stroja a všetky jeho pohyby, ktoré vykonáva všetkými jeho časťami. [12]



*Obr. 7 – Vybavenie na tvorbu videozáznamov.*

#### **4.2. Uchovávanie dát**

Technológ je povinný riadiť sa súhlasom o natáčaní. Videozáznamy sú natáčané kamerou so statívom, ktorá podporuje pamäťovú jednotku (zvyčajne SD karta). Má nad týmto zariadením plnú kontrolu a zodpovednosť a je povinný zabezpečiť aby sa záznamy nedostali do nesprávnych rúk. Vytvorené záznamy je povinný nahrat' na chránený firemný server, čo zabezpečí ich ochranu proti odcudzeniu. Na firemnom serveri môžu byť zo zákona uchované maximálne dva roky, v zložke s obmedzeným prístupom, do ktorej schvaľuje prístup iba manažér oddelenia technológie. [12]

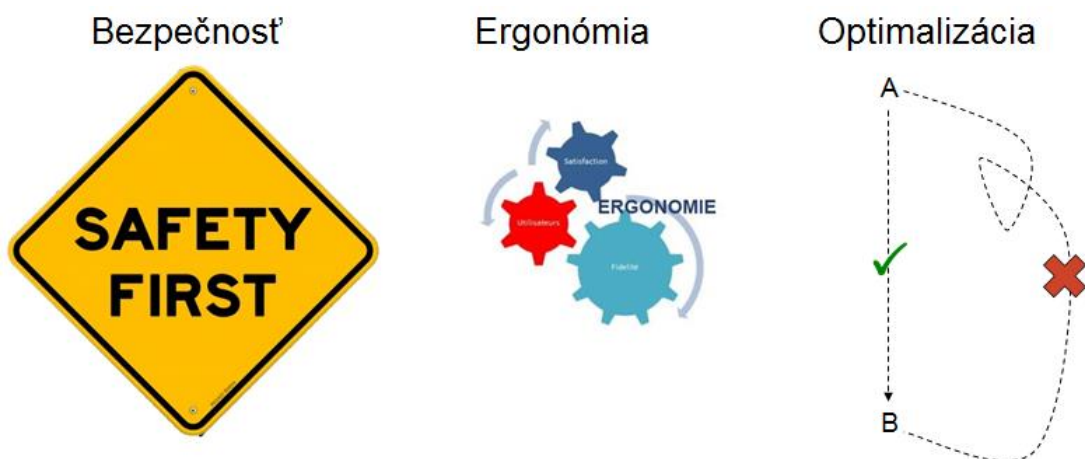
### Prenos záznamu :

- Pamäťová jednotka.
- Firemný server.
- Zložka s obmedzeným prístupom. [12]

V ďalšom kroku môže začať samotná analýza videa, pri ktorej je potrebné zvoliť na čo má byť analýza zameraná a podľa toho postupovať ďalej. [12]

### Postup optimalizácie :

- Natočenie videozáznamu
- Analýza
- Návrh procesného zlepšenia
- Implementácia [12]



Obr. 8 – Hlavné úlohy analýzy výrobných procesov. [12]

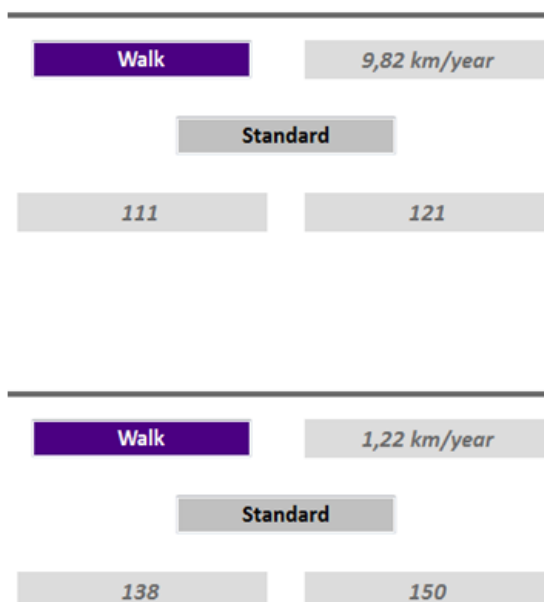
### 4.3. Analýza DGI

Pri analyzovaní ľudskej práce softwarom DGI (interface) treba uvažovať nad tým, či sa pri výrobnom procese vyskytuje nejaké bezpečnostné riziko, prípadne ho eliminovať zavedením nových podmienok. Keďže jedným z cieľov analýzy je uľahčenie práce operátorovi, ďalšou úlohou je dohliadať na podmienky pracovného prostredia z hľadiska ergonómie a teda vytvoriť pracovné podmienky, ktoré umožňujú optimálny výkon človeka a jeho pohodu. Hlavným cieľom analýzy, ktorý je predmetom praktickej časti tejto práce, je však optimalizácia výrobného procesu, ktorej úlohou bolo navrhnúť a zaviesť spôsob, akým je

možné vykonať dané činnosti jednoduchšie, pričom vznikne časová úspora v dĺžke trvania procesov pred a po optimalizácií. [12]

Analýza sa realizuje posudzovaním pohybov a činnosti operátora, a prípadnými možnosťami ich zjednodušenia. Každý pohyb ma svoj identický kód, ktorému SW prideli hodnotu v závislosti na type pohybu a vzdialenosti pri konaní pohybu. Zadefinovaním týchto pohybov SW vypočíta celkovú aktivitu operátora. Pohyby sú posudzované pomocou metódy MTM – 2. Zmenami vo výrobnom procese, prípadne zmenou pracovných podmienok sa hľadá spôsob, ako danú prácu vykonať za kratší čas. Cieľom je nájsť spôsob ako operátor prejde menšiu dráhu pri konaní jeho činností alebo zmeniť postup činností, ktoré koná, tak aby trvali kratšie. Proces natáčania videozáznamu a činností s ním spojené, už boli detailne popísané. V momente keď je natočené video uložené na chránenom firemnom serveri, môže začať samotná analýza, ktorá sa vykonáva pomocou optimalizačného softwaru DGI alebo v prípade analýzy strojného času DGM (machine).

Na nasledujúcom obrázku je príklad výsledku optimalizácie, ktorý bol dosiahnutý skrátením dráhy, ktorú musel pri jednom výrobnom procese prejsť operátor, čím sa mu značne zjednodušila práca. [12]



Obr. 9 – Príklad výsledku uľahčenia práce operátorovi pomocou analýzy DGI [12]

Pred optimalizovaním bola dráha, ktorú musel operátor prejsť za rok 9,82 km a normálny počet vyrobených kusov za jednu hodinu bol 111, optimálny 121. Po analýze jednotlivých činností a procesných zmenách sa podarilo dosiahnuť ročnú dráhu operátora 1,22 km pri

normálnom počte vyrobených kusov za hodinu 138, optimálnom 150. Z tohto príkladu vyplýva, že bola uľahčená práca operátora a zároveň bola dosiahnutá vyššia produktivita.

Implementácia alebo zavedenie nového výrobného procesu je dlhý proces, pri ktorom je potrebné vytvoriť novú výrobnú dokumentáciu, ako sú výrobné postupy a návody. Akonáhle je nový výrobný proces zavedený do výroby je potrebné vytvorenie štandardu výrobného procesu, ktorý spočíva v zavedení nových časov a noriem. [12]

#### **4.4. Analýza DGM**

Software DGM slúži na optimalizovanie strojného času, kdežto DGI sa používa na optimalizovanie ľudskej práce. Analyzovanie v týchto dvoch softwaroch, prebieha až na pár rozdielov v detailnosti popisovania pohybov pri ľudskej práci v podstate rovnako. Začína rozdelením videa na logické sekvencie, ktoré sú vytvorené podľa základných činností ktoré vykonáva stroj (pozicovanie, polohovanie, atď.) alebo operátor (zakladanie, vykladanie atď.). Tieto činnosti sú následne popisované podľa základných metód.

Pri analýze strojného času v softwari DGM je potrebné, zamyslieť sa nad tým aké pohyby stroj vykonáva a všetky ich do softwaru zadefinovať pod dohodnutými popisnými kódmi.

#### **Pri analýze strojného času sa pohyby rozdeľujú podľa funkčnosti :**

- Hlavné – pohyby s AV (adding value), napr. keď robot zvära.
- Vedľajšie – pohyby bez AV, pozicovanie robota.
- Pomocné – pohyby bez AV – otáčanie polohovadla.

#### **Podľa typu :**

- Lineárny – zn. A– pohyb po priamke z bodu A do bodu B
- Rotačný – zn. B– pohyb telesa po kružnici okolo stredu otáčania (polohovadlo)
- Symetricky – zn. C – rovnaký pohyb viacerých telies súčasne
- Pohyb v ploche – zn. XY – pohyb v dvoch osách (laser)
- Pohyb v priestore – zn. XYZ – pohyb v troch osách (pozicovanie robota)

Za jeden pohyb sa pokladá premiestnenie telesa z pozície 0 do pozície 1, a následne jeho návrat do pozície 0.

**Pri posudzovaní každého pohybu je poznať odpovede na tieto otázky :**

- Prečo sa pohyb koná ?
- Na čo pohyb slúži ?
- Dá sa eliminovať ?
- Je dlhší ako je potrebné ?
- Je možné ho zjednodušiť ?

Zásadný je rozdiel medzi prvými dvoma otázkami. Prvá otázka vyjadruje príčinu konania pohybu (priblíženie robota ku zvarencu), kdežto druhá cieľ (aby mohol vykonať zvar).

Software DGM na základe odpovedí vyhodnocuje ušetrený čas každou zavedenou zmenou a na konci vyhodnotí celkovú časovú úsporu. Procesne zmeny vychádzajú hlavne z vyššie uvedených otázok, ktorých odpovede je potrebné zapisovať do softwaru. V prípade, že sa podarí nájsť isté zlepšenie, je potrebné zapísať ako by vyzeral výrobný proces po jeho zavedení a software automaticky vygeneruje časovú úsporu dosiahnutú danou zmenou. Takýmto spôsobom sa posudzuje a analyzuje celé video. Po analýze videa je vytvorený súpis všetkých požiadaviek na zmenu výrobného procesu.

#### **4.5. Normovanie práce**

Existuje mnoho dôvodov, prečo sa práca analyzuje a meria. K tým hlavným patrí, že na základe analýz je možné definovať časové normy, zvýšiť produktivitu pri minimálnych nákladoch a zvýšiť bezpečnosť na pracovisku. Ušetrené náklady sú viditeľné okamžite a implementácia je relatívne jednoduchá. Ďalším nástrojom pre zvyšovanie efektivity je kvantifikácia plytvania. Štúdium práce sa skladá z dvoch krokov, ktoré vzájomne vedú ku zvýšeniu produktivity práce. Je to štúdium metód práce a merania práce. Štúdium metód práce je v podstate analýza práce a má za úlohu zlepšiť efektivitu využitia materiálov, priestorov, strojov a zamestnancov. Prakticky je to získavanie informácií o pracovných procesoch, ktoré sú následne analyzované s cieľom objaviť vo výrobe plytvanie. Cieľom analýzy práce je nájsť najjednoduchší a časovo najmenej náročný spôsob ako vykonávať jednotlivé požadované činnosti. Pri analýze je nutné v čo najväčšej možnej miere eliminovať plytvanie, čo následne vedie k dosiahnutiu vyššej produktivity. Realizuje sa metódami na meranie práce na základe systematických postupov záznamu, v ktorých sa odhaľuje potenciál na zlepšenie. Systematicky sa skúmajú pracovné postupy s cieľom zlepšenia efektivity a definície štandardov a normovania práce. Analýza je nástroj na detekciu a elimináciu neefektivity vo výrobe. [13]

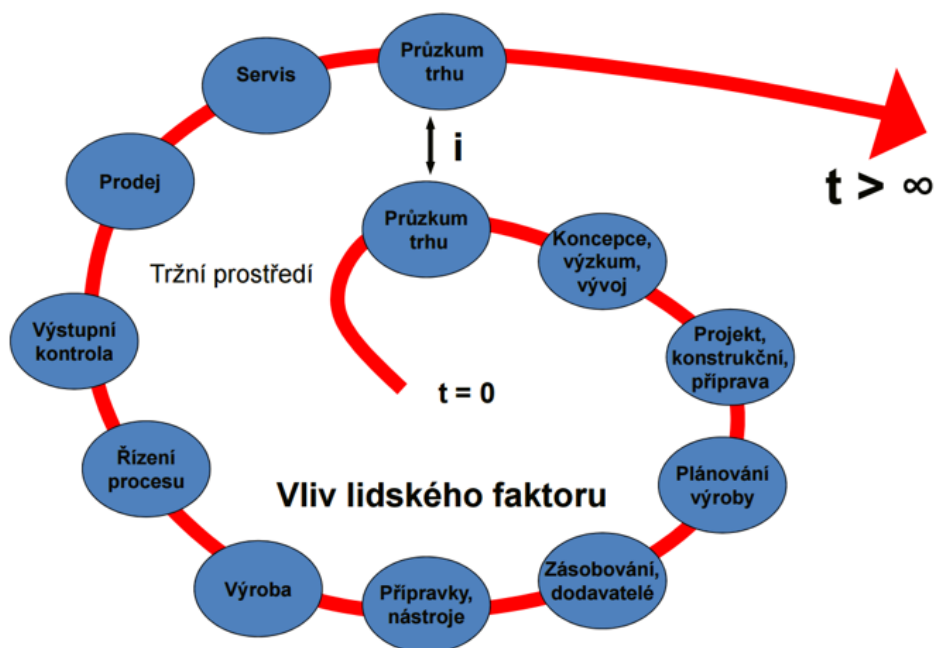


Podstatou merania práce je zlepšiť plánovanie a riadenie, ktoré tvoria základ pre systém odmeňovania pracovníkov. Je to aplikovanie techník pre určenie času potrebného na vykonanie zadanej práce kvalifikovaným zamestnancom na definovanej výkonnostnej úrovni. Hlavnou úlohou merania je normovanie práce. [13]

**Normy sa všeobecne delia na :**

- Absolútne – predpisujú a vyžadujú, sú stanovené nejakou nadradenou autoritou ( štát, zamestnávateľ, riaditeľ a pod.).
- Relatívne – popisujú normu ako niečo, čo je bežné a obvyklé (dodržiavať bezpečnostné pravidlá daného podniku). [13]

Norma alebo štandard je požiadavka na správanie sa, prípadne vlastnosti veci, človeka, stroja, ktorý udáva, čo je pre danú situáciu normálne alebo prijateľné. Normy existujú písané aj nepísané a rozdiel medzi nimi je v miere záväznosti a v rozsahu platnosti. Norma množstva, často označovaná aj ako norma výkonu predpisuje aké množstvo výrobkov (počet *ks*, *kg*, *m* a pod.) musí operátor za jednotku času, zvyčajne hodina alebo pracovná zmena, spracovať – vyrobiť, prepraviť a pod. Hlavnou normou je norma času. Normovanie má podstatný zmysel pri plánovaní a zavádzaní nového výrobku do výroby. Jedná sa o časovo a finančne veľmi nákladný proces, ktorý je cyklický, a má priamy vplyv na konečnú kvalitu hotového výrobku. Účelom je dosiahnuť čo najvyššiu kvalitu pri minimálnych nákladoch. Proces zavádzania nového výrobku príkladne popisuje Juranova špirála (obr. č.9). [13]



Obr. 10 – Juranova špirála jakosti (*i* – stupeň inovácie, *t* – čas). [13]

Podľa zákona o mzde č. 1/1992 Zb. – § 16, môže zamestnávateľ určiť množstvo práce a požadované tempo, pričom musí brať ohľad na fyziologické a psychické možnosti zamestnancov, bezpečnostné predpisy, ochranu zdravia pri práci, prirodzené potreby, jedlo a oddych. Norma spotreby práce predpisuje pracovné tempo a taktiež množstvo požadovanej práce. Z daného zákona taktiež vyplýva, že povinnosťou zamestnávateľa je zabezpečiť aby všetky spomínané podmienky a predpoklady pre plnenie noriem, boli vytvorené pred samotným zahájením práce a tiež oboznámiť zamestnancov s požadovaným množstvom práce, s pracovným tempom alebo normami spotreby práce. Všetky tieto úkony musia byť vykonané pred zahájením práce a vopred dohodnuté normy sa nesmú spätne meniť. Zamestnávateľ po konzultácii s určitým odborovým orgánom predpisuje množstvo požadovanej práce, pracovné tempo a prípadné zmeny noriem spotreby práce. Normovanie práce je v súčasnej dobe nevyhnutné. [13]

Dôvodov prečo tomu tak je, je hneď niekoľko :

- Zisk – normovanie zabezpečuje aby výrobné náklady boli menšie ako výdaje, najdôležitejší cieľ.
- Minimalizovanie výdajov.
- Optimálne využitie výrobných prostriedkov.
- Mzdové náklady – ohodnotenie za vykonanú prácu musí zodpovedať odvedenému množstvu a kvalite práce. [13]

#### **4.6. Metóda predom stanovených časov**

Vďaka metódam merania práce, umožňujú vopred stanovené časy stanoviť časy plánované, ktoré je následne možné použiť v určitých výpočtoch. Pohyby a činnosti vykonávané ľuďmi sa dajú definovať niekoľkými elementárnymi pohybmi. Pohyby, na ktorých závisí výrobný čas, je v 60% prípadoch možné definovať ako siahnuť, uchopiť, premiestniť, umiestniť alebo pustiť. Spotreba času závisí na dĺžke pohybov, potrebe kontroly pohybov, náročnosť uloženia alebo umiestnenia. Tieto veličiny sa nazývajú ovplyvňujúce veličiny. [13]

Metóda predom stanovených časov vychádza z niekoľkých základných predpokladov :

- Súvislosť medzi časom a pohybom.
- Spotreba času u kvalifikovaných zamestnancov pri jednotlivých pohyboch je rovnaká.
- Čas potrebný na výkon úlohy je závislý na spôsobe konania úlohy. [13]

Metóda predom stanovených časov je súhrn časových a pohybových štúdií (mikropohybová analýza). Jej použitie spočíva v stanovení času jednotlivých základných pohybov. Hodnotenie jednotlivých pohybov a ich časovej náročnosti vychádza z dlhodobých štúdií a je uvedené v dátovej karte. [13,15]

#### 4.7. Metóda časového odhadu

Pre čo najpresnejšie odhady časov potrebných na výrobu daných súčastí bolo zistených pár podstatných faktov. Najpresnejší časový odhad má vždy operátor, ktorý vykonáva danú prácu. Výrobný proces je rozdelený do niekoľkých menších úsekov, a časový odhad sa robí pre každý z úsekov zvlášť. Tieto jednotlivé odhadované časy sú následné sčítané. Vďaka tomuto postupu je zaručená väčšia presnosť výsledkov, okrem toho je v malých úsekoch ľahšie rozoznať veličiny, ktoré proces ovplyvňujú. Chyby vzniknuté pri nepresnom odhade daných úsekov sa vyrovnávajú v súčte. [13]

$$F = \frac{f}{\sqrt{n}} \quad [\%], \quad (1)$$

kde  $F$  je celková chyba,  $f$  (%) je priemerná chyba daných úsekov a  $n$  (-) je počet úsekov. Všeobecne platí čím väčšie  $n$ , tým menšia chyba. [13]

#### 4.8. MTM

Jedná sa o metódu merania času vo výrobných procesoch. Prvé zmienky jej využitia siahajú do roku 1930, kedy Frank Gilbreth uviedol, že každá práca sa skladá z niekoľkých základných pohybov, ktoré sa opakujú. Gilbreth rozlišoval 17 pohybov pre každú manuálnu prácu. Väčšina systémov, ktoré analyzujú predom dané činnosti a pohyby sú založené na koncepte rozdelenia práce na základné pohyby. Každý z týchto pohybov je definovaný hodnotou aktivity, ktorá je pre každý z nich iná. Viacero pohybov tvorí logickú sekvenciu, pri ktorej software vyhodnotí hodnotu aktivity na základe zadaných pohybov. [14]

Na základe Gilbrethovho princípu základných pohybov boli definované a klasifikované všetky pohyby potrebné na vykonávanie rôznych činností ako aj čas potrebný na výkon každej z nich. Všetky časové štúdiá vychádzali z analýzy videozáznamu. MTM sa najskôr rozšírilo v USA a následne v Európe, kde ho vo veľkej miere začalo používať Francúzsko. [14]

Metóda MTM (Methods – Time Measurement) alebo inak nazývaná MTM – 1 patrí medzi metódy predom stanovených časov. V roku 1940 začali inžinieri H. B. Maynard, G.

Stegemerten, a J. S. Schwab program pre zlepšovanie metód v spoločnosti Westinghouse. Začali s detailnou štúdiou vrtacích zariadení, pričom jednotlivé operácie natáčali na 16 mm videopásku s rýchlosťou 16 f/s. Ich štúdia vychádzala z použitia základných pohybov definovaných Gilbrethom, pričom si neskôr uvedomili, že tieto pohyby nie sú dostatočne praktické. Rozhodli sa preto, že pohyby zhromadia a zjednodušia, čo im umožnilo izolovať skutočné základné pohyby a stanoviť čas pre každý z nich. Keď skončili ich štúdium času a pohybov pre vrtacie operácie, uvedomili si, že nimi vytvorené tabuľky môžu byť použité univerzálne pre priemyselné operácie. Celá ich práca, skúsenosti a štúdia do roku 1948 boli vydané v ich knihe „Metódy merania času“. [14]

#### **4.9. MTM 2**

Odvedená metóda MTM – 2 bola vyvinutá Stálym medzinárodným výborom pre aplikovaný výskum asociácie MTM. Štúdium tejto metódy sa uskutočnilo s veľkým prínosom zo švédskeho segmentu, a preto je aj v súčasnosti známe ako „Švédske MTM – 2“. MTM – 2 je dátový systém druhej generácie založený na MTM – 1, ktorý pozostáva z týchto častí :

- Základné pohyby MTM – 1
- Kombinované pohyby MTM – 1 [14]

Švédsky segment MTM vykonal rozsiahlu validáciu týchto údajov, pričom dospel k záveru, že rozsah chýb v týchto analýzách je cca 5% pre 95% prípadov. Navyše toto zjednodušenie skrátilo čas analýzy v odhade o 50% v porovnaní s MTM – 1, čo sa pokladá za výrazné zlepšenie. [14]

Účelom štúdia času nie je stanoviť pevný čas, za ktorý musí človek odvieť svoju prácu a nie je to ani stanovenie priebehu, ktorý spôsobí operátorovi fyzické vyčerpanie. Konečným cieľom je stanoviť dobu vykonania práce, počas ktorej ju môže každý operátor, ktorý pozná svoju prácu, vykonať nepretržite a pohodlne. [15]

Čas je fyzikálna veličina, ktorá umožňuje nariadiť sled udalostí a na základe študovania minulosti, je možné ovplyvniť súčasnosť a budúcnosť. Na stanovenie doby potrebnej pre vykonanie práce sa pri každej úlohe používajú stopky. Proces merania času výkonu rôznych úloh sa nazýva časová štúdia. [15]



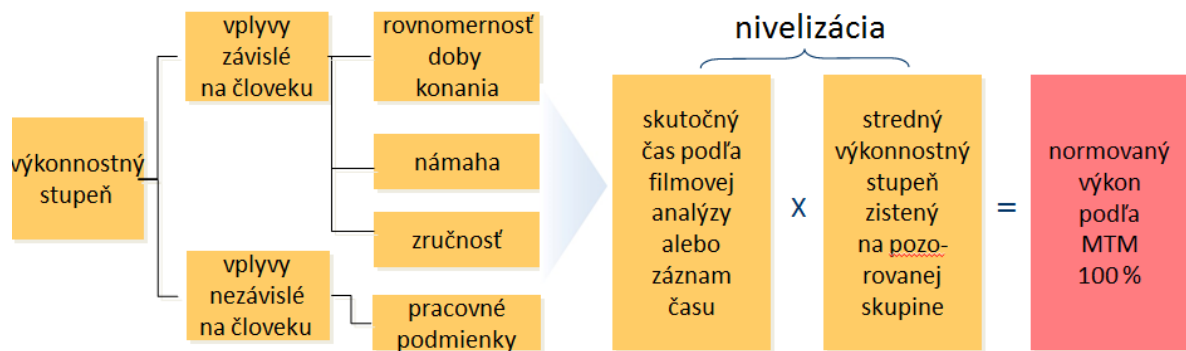
Obr. 11 – Nástrojom používaným na meranie času činností vo výrobe sú stopky. [15]

#### 4.10. Využitie MTM

Cieľom MTM analýz je uľahčiť zamestnancom prácu, vyrovnaním interpersonálnych výkonnostných rozdielov. Počas dlhodobých štúdií MTM, bola taktiež vytvorená dátová karta, ktorá, slúži ako základné merítko pre stanovenie normovaného času pri činnostiach človekom ovplyvniteľných a pre stanovenie normovaného výkonu, ktorý je popísaný ako výkon stredne zručného človeka vykonávajúceho danú činnosť dlhodobo a bez únavy. [13,15]

**Za hlavné ciele MTM analýz možno považovať :**

- Prípravné metódy – založenie účinnej metódy pred začatím výrobnjej operácie.
- Metóda zlepšenia – posúdenie existujúcich metód, vyhodnotenie neefektívnosti vo výrobe a vytváranie zlepšenia.
- Návrh výrobku – výber dizajnu, tvaru, súpis výrobného programu, analýza najnižších výrobných nákladov závislých od návrhu (symetria, manipulácia).
- Návrh nástroja a prípravku – vytvoriť účinné prípravky a rozmiestnenie, ktoré sú najlepšie pre manipuláciu a spracovanie daných výrobkov.
- Vývoj – zaškolenie personálu pre pochopenie a zlepšenie súčasných metód.
- Riešenie sporov – odstraňuje potrebu dohody o pracovnom zaťažení, stanovenie jasných a objektívnych kritérií pre alternatívy v pracovných metódach. [15]



Obr. 12 – Schéma pôsobenia faktorov, ktoré majú vplyv na pracovný výkon človeka. [13]

#### 4.11. Aktivita

Koncept aktivity je podobný konceptu pracovného rytmu. Posudzuje rýchlosť vykonania činností, úsilie a dodržiavanie zavedenej metódy. Pre vyčíslenie množstva boli definované tri úrovne :

- Nulová aktivita – nie je konaná žiadna práca.
- Normálna aktivita – rovnaká ako operátor s priemernou rýchlosťou, kráčanie po rovnom povrchu bez nesenia nákladu s okamžitou rýchlosťou 5 km/h. Kľúčová hodnota normálnej aktivity je 100.
- Optimálna aktivita – najväčšie možné množstvo práce, ktoré je možné vykonať počas každej zmeny, bez poškodenia zdravia operátora alebo jeho fyzického vyčerpania. Kľúčová hodnota normálnej aktivity je 120. [15]

Všeobecne sa dá povedať, že aktivita je výkon zamestnanca v bezrozmerných jednotkách, ktorý je použitý pri výrobe. Aktivita s hodnotou 100 je podľa softwaru MTM definovaná ako výkon stredne zručného, kvalifikovaného zamestnanca, ktorý dokáže pracovať pri tomto výkone dlhodobo bez príznakov únavy. [15] Pokiaľ zamestnanec pracuje aktivitou s hodnotou 120, jeho aktivita je považovaná za optimálnu a za svoju vykonanú prácu dostáva príplatky. V niektorých krajinách, je však aktivita s hodnotou 120 zavedená ako normálna, a teda zamestnanci musia pracovať s väčším nasadením.

#### 4.12. Fázy merania času

Pri každom meraní času musia byť splnené nasledujúce podmienky :

##### 1) Štúdium práce na mieste

Analyzovanie metódy

- Dodržiavať metódu a používať poznámky.
- Rozloženie na základné operácie. [15]

Získavanie údajov

- Vyhodnotenie aktivity.
- Nahrať zaznamenané časy.
- Počet cyklov na sledovanie a zaznamenávanie. [15]

##### 2) Analýza dát

- Výpočet normálneho času.
- Použitie doplnkov.
- Stanovenie frekvencie každého prvku.
- Výpočet bežného a optimálneho času.
- Výpočet koncentrácie [15]

#### 4.13. Základy pracovných metód

Základná operácia je podstatná a definovaná časť úlohy, ktorá môže pozostávať z niekoľkých zásadných pohybov, vykonávaných operátorom alebo strojom, pričom sú súčasťou úlohy, pri ktorej sa meria čas. [15]

**Základne typy :**

- Pravidelné alebo cyklické – vyskytujú sa v každom pracovnom cykle
- Diskrétné alebo necyklické – nemajú definovaný počet cyklov pre opakovanie ( $n$ )
- Neznáme metódy – neslúžia na vykonanie úlohy
- Strojné – prácu vykonáva stroj bez zásahu operátora
- Manuálne – prácu vykonáva operátor
- Manuálne s nepracujúcim strojom (MP) – vykonávané operátorom za pomoci stroja, pričom stroj nevytvára žiadnu prídavnú hodnotu AV

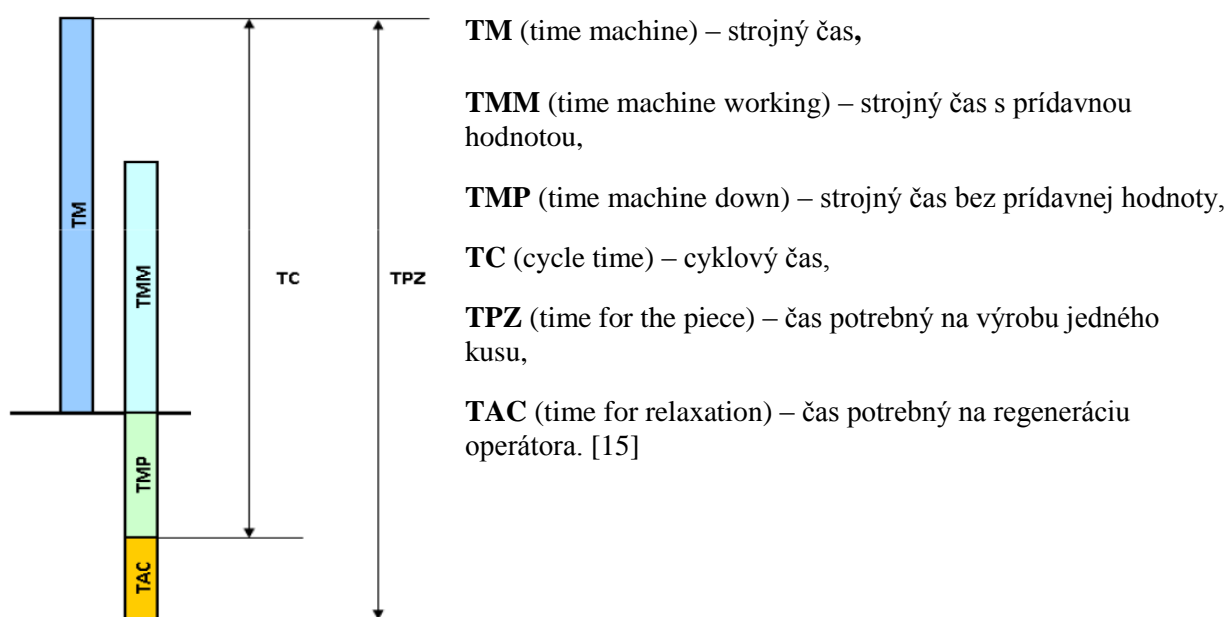
- Manuálne s pracujúcim strojom (MM) – vykonávané operátorom za pomoci stroja, ktorý koná prácu a pritom vytvára prídavnú hodnotu AV
- Konštantná – rovnaká časová hodnota pri každej úlohe
- Premenná – rovnaká súčiastka, napriek tomu rozličné hodnoty časov, ktoré závisia na fyzikálnych vlastnosti výrobku, procesu alebo zariadenia. [15]

### Pravidlá základov

- Jednoduchosť v rozoznaní a označení počiatkových a koncových bodov.
- Musia byť krátke, ľahko identifikovateľné a ľahko merateľné
- Rozlišovanie konštantných typov od premenných.
- Rozlišovanie cyklických typov od necyklických a neznámych.
- Rozlišovanie strojných typov od manuálnych.
- Rozlišovanie manuálnych s nepracujúcim (MP) a pracujúcim strojom (MM). [15]

### Základný pracovný cyklus

Napriek veľkej snahe o automatizáciu modernej výroby, existuje stále mnoho činností, ktoré sú vykonávané pracovníkom manuálne. Medzi tento typ procesov patrí aj výrobný proces výložníka, kedy pracovný cyklus prebieha počas určitého času – cyklový čas. Tento čas pozostáva zo strojného času, ktorý sa rozlišuje na čas, kedy stroj vytvára prídavnú hodnotu (zváranie), a čas kedy ju nevytvára (polohovanie robota, zakladanie zvarenca do prípravku, atď.). [15]



Obr. 13 – Rozdelenie výrobného cyklu na jednotlivé časy.



Aby bol získaný celkový čas na výrobu jedného kusu výložníka, je potrebné k týmto časom pripočítať čas činností vykonávaných operátorom, a čas potrebný na regeneráciu alebo odpočinok operátora. Súčet všetkých týchto časov vypovedá o kapacite daného pracoviska, prípadne o stanovení plánovaného výrobného množstva. Podrobné znázornenie jednotlivých časov je zobrazené na obr. 13.

### Časové jednotky

Pri MTM analýzach je hlavnou meranou veličinou čas. Na meranie času činností ľudskej práce, bola kvôli štandardizácii, pre všetky MTM softwary celosvetovo stanovená všeobecná jednotka – TMU (Time Measurement Unit). Čas je následne prevádzaný z jednotiek TMU do sekúnd. Kľúčové hodnoty v jednotkách TMU, v porovnaní so sekundami sú uvedené v tabuľke 3. [13,15]

Tab. 3 – Kľúčové hodnoty TMU jednotiek a ich prevod na sekundy [15]

1 TMU = 0,00001 hod	1 hod = 100 000 TMU
1 TMU = 0,0006 min	1 hod = 1666,7 TMU
1 TMU = 0,036 s	1 hod = 27,8 TMU

### Postup pre prepočet jednotiek TMU do sekúnd

Väčšina softwarov MTM obsahuje funkciu na prepočet času v jednotkách TMU do sekúnd.

Pri prepočte postupujú podľa nasledujúceho postupu :

1. Súčet jednotiek TMU.
2. Delenie číslom 10.
3. Delenie číslom 2,77.
4. Výsledný čas v sekundách. [14]

#### 4.14. Typy výrobného času

- Normálny čas – čas potrebný na vykonanie úlohy pri normálnej úrovni aktivity.
- Štandardný čas – normálny čas + časové prídavky.
- Optimálny čas – čas potrebný na vykonanie úlohy pri optimálnej úrovni aktivity s pripočítaním časového prídavku.

- Očakávaná, normálna a štandardná výroba – úroveň výroby dosiahnutá prácou pri normálnej aktivite s pripočítaním časových prídavkov.
- Optimálna výroba – úroveň výroby dosiahnutá prácou pri optimálnej aktivite s pripočítaním časových prídavkov. [15]

#### 4.15. Práca

Množstvo práce vykonanej operátorom s normálnou úrovňou aktivity, počas jednej hodiny s využitím jeho prídavkov, bez strát akéhokoľvek druhu, sa nazýva „štandardná ľudská hodina“ ( $1Hh/E$ ). Z dôvodu, že táto jednotka je pre niektoré diely priveľká taktiež sa používajú jednotky štandardná ľudská minúta ( $'h/E$ ) a štandardná ľudská sekunda ( $''h/E$ ). Je dôležité, aby sa nezamieňalo meranie času s meraním práce. Množstvo štandardných ľudských hodín, ktoré dokáže operátor odpracovať počas jedného roka je označované ako „ekvivalent“ ( $IMOD_{eqv}$ ). Vo firme, v ktorej sa pracuje 250 dní v roku, počas 8 hodinových pracovných zmien s absenciou 8 %, aktivitou 127 a stratou 85 hodín, sa  $IMOD_{eqv}$  rovná 2000 Hh/E. [15]

$$MOD_{eqv} = 250 \text{ dní} \times 8 \text{ hod} = 2000 \text{ Hh/E}$$

Aby však bol vypočítaný skutočný ekvivalent  $IMOD_{real}$ , musia byť v ekvivalente zohľadnené straty podniku a absencia a aktivita operátora. Výpočet bude vyzeráť nasledovne :

$$1 \text{ } MOD_{real} = 1 \text{ } MOD_{eqv} \times (1 - \text{Absencia}) \times \text{Aktivita} \times \text{Straty hodín} \quad [\text{Hh/E}] \quad (2)$$

$$1 \text{ } MOD_{real} = 2000 \times (1 - 0,08) \times 1,27 \times 0,85 = 1986 \text{ Hh/E}$$

Hlavný problém pri výpočte počtu zamestnancov je určiť koľko  $Hh / E$  na jedného operátora je možné vyrobiť v skutočných výrobných podmienkach spoločnosti a taktiež aj poznať aké množstvo práce ( $Hh / E$ ), bude potrebné pre daný výrobný program. [15]

#### Vyčerpanie

Únava je spôsobená fyzickou prácou, mentálnou prácou alebo podmienkami prostredia v ktorom je práca vykonávaná. Je definovaná ako reverzibilné zníženie funkčnej kapacity orgánov ako dôsledok úsilia alebo iných príčin vyskytujúcich sa v práci alebo prostredí. Bežný čas na vykonanie úlohy musí byť navýšený o čas zotavenia sa. Dôsledkom koordinačnej únavy je nerovnomerný výkon pohybov. Únava alebo vyčerpanie môže byť aj

subjektívne, pokiaľ neexistuje žiadna objektívna príčina (nuda, nedostatočná motivácia). Navýšenie času pre obnovenie z únavy sa nazýva „časový prídavok“. [15]

### Systémy hodnotenia pracovných časov

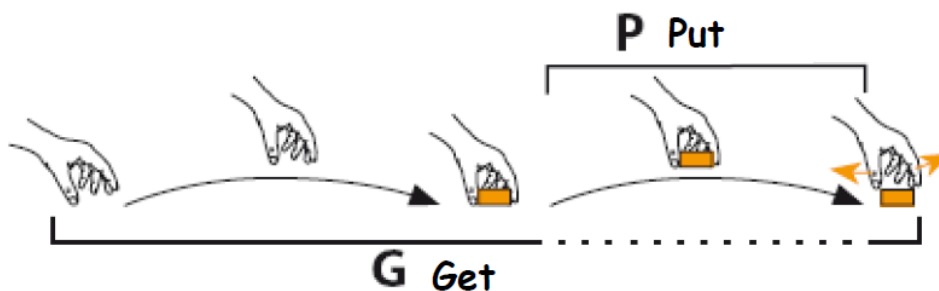
Existujú rôzne systémy časových štúdií, ktorých použitie závisí na skúmaných vlastnostiach :

- Klasické meranie pomocou stopiek – používa sa na prácu, ktorá sa opakuje a je sériová.
- Vopred stanovené časy – analyzuje pracovné metódy na základe štúdia mikropohybov, ktoré boli predtým vyhodnotené podľa pohybu, náročnosti a vzdialenosti. Táto metóda je vhodná pre analýzu práce, ktorá je krátka a opakuje sa, obzvlášť ručná práca. Nie je nutné sledovať operáciu a je možné predvídať čas celého procesu. Najpoužívanejšie metódy sú WORK FACTOR a MTM.
- Pracovné vzorky – systém používaný na meranie skupín ľudí alebo strojov. Zvyčajne sa používa na štúdium koncentrácie, hodnotenia a štandardizácie operácií v skladoch alebo pri iných procesoch, ktoré sa neopakujú. Taktiež sa používa pri funkciách, ktoré je ťažko vyhodnotiť, napríklad v administratíve. [15]

#### 4.16. Metodika analyzovania a hodnotenia pohybov

Pri analýze ľudskej práce pomocou metódy MTM – 2 sa rozlišuje niekoľko elementárnych pohybov, ktoré sa po sebe opakujú. Každý z nich je skrátene označovaný jedným písmenom, čo značí skratku pre danú činnosť z anglického jazyka. [14]

K najčastejšie vyskytujúcim a stále opakujúcim sa pohybom, patria pohyby G – get, vo význame uchopiť a P – put, s významom premiestniť. Bez predchádzajúceho pohybu G, nemôže prebehnúť pohyb P. [14]

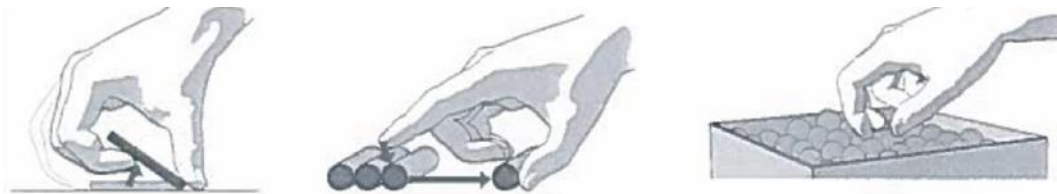


Obr. 14 – Schematické znázornenie pohybu G (uchopiť) a pohybu P (premiestniť). [14]

## Pohyb G (get) - uchopenie

Pohyb G je používaný pre dosiahnutie predmetu rukou alebo prstami s následným uchopením, pričom neskôr dôjde k uvoľneniu predmetu. Začína priblížením ruky k predmetu, vrátane uchopenia a kontrolovania predmetu s následným pustením predmetu. Pohyb G sa ďalej delí na tri typy :

- GA – najjednoduchší pohyb, vykonaný pohybom ruky, pričom dôjde k jednoduchému kontaktu s predmetom bez zavretia dlane alebo uchopenia prstami (dotknutie sa zvarenca pri premiestňovaní žeriavom, uchopenie páky pri upnutí a odopnutí prípravku, uchopenie predmetu kvôli jej nasmerovaniu ...). [14]
- GB – najčastejší pohyb, kedy dôjde k uchopeniu predmetu tým, že dlaň alebo prsty sa zavru iba raz, používa sa pri predmetoch bežných veľkostí (uchopenie kľúča, ovládača od žeriavu, atď.). [14]
- GC – pohyb, ktorý sa používa na uchopenie veľmi malých predmetov, pričom dlaň alebo prsty sa musia zavrieť viac krát, platí pre úzke predmety položené na stole, uchopenie malého predmetu z veľkej kopy (papierové listy, malé skrutky, atď. ). Po uchytení, týmto spôsobom nedochádza k pohybu R (regrasp) – prechyteniu. [14]



Obr. 15 – Uchopenie. [14]

Ďalšou podstatnou veličinou pri pohyboch je vzdialenosť. Každý vykonaný pohyb operátora prebieha za pomoci pohybov tela a pohybu ruky, ktorá sa hýbe po určitej trajektórii. Jej dráha je odhadovaná, pomoc pohybu tela sa tu nepočíta. Veľkosti dráh môžu byť rôzne, všeobecne sa však rozlišujú do 5 cm, do 15 cm, do 30 cm, do 45 cm a do 80 cm. Kódy s ktorými software počíta sú 5, 15, 30, 45 a 80. [14]

Ďalší typ uchopenia, ktorý je používaný pri dvíhaní ťažkých predmetov je označovaný písmenami GW (get weight).

- GW – pohyb vyžaduje zapojenie svalov ruky a ramena, kvôli kontrole nad ťažkým predmetom. Začína uchopením predmetu, pokračuje napnutím svalov pre optimálnu kontrolu nad bremenom, končí vo chvíli keď je operátor pripravený s predmetom

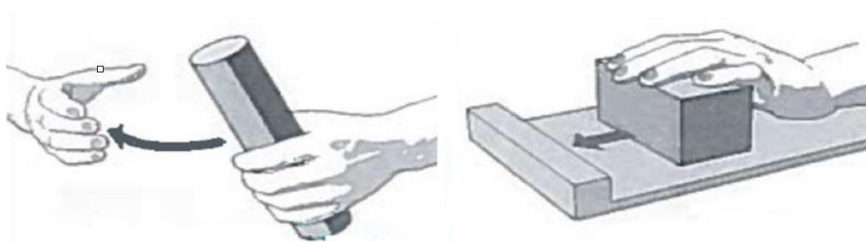
hýbat' a premiestňovať ho. Pokiaľ je hmotnosť na každej ruke menšia ako 2 kg, nejedná sa o uchopenie GW. Pokiaľ je uchopená hmotnosť väčšia ako 2 kg, v softwari sa volí možnosť pridať 1 TMU za každý kilogram, vrátane prvých dvoch. V prípade že hmotnosť je držaná oboma rukami, hodnota GW je polovičná. Pre posuvný pohyb je hodnota GW 40 % držanej hmotnosti, pokiaľ je držaná jednou rukou a 20 %, pokiaľ je držaná oboma rukami. [14]

Rotácia zápästia, ktorá vzniká pri uchopovaní sa nepopisuje, pretože je vyvolaná pohybom G a patrí k nemu. Výmena predmetu z jednej ruky do druhej je popisované ako GB 5. [14]

### **Pohyb P (put) – premiestnenie**

Tento pohyb slúži na premiestnenie predmetu na špecifické miesto, s použitím rúk alebo prstov. Začína v momente, keď je predmet uchopený, pod kontrolou a pripravený na začatie zmeny polohy. Obsahuje každý pohyb a usmernenie, potrebné k umiestneniu predmetu na danú pozíciu. Končí vo chvíli, keď je predmet umiestnený na vopred danom mieste. Možnosti pohybu P sa rozdeľujú na :

- PA – od začiatku do konca jednoduchý pohyb, používaný na odobratie alebo potiahnutie predmetu s jeho následným umiestnením na pozíciu s približnou presnosťou. Je to voľný pohyb, ktorý je vykonávaný bez zaváhania a zároveň je to najpoužívanejší pohyb P. [14]
- PB – premiestnenie predmetu na danú pozíciu so značnou voľnosťou, ťažko rozoznateľná, záleží na náročnosti umiestnenia do danej pozície, jedná sa o pohyb so sústredením, nekonajú sa žiadne opravné pohyby. [14]
- PC – jedná sa o pohyb, vykonávaný pri umiestnení do veľmi presnej pozície, s drobnými neúmyselnými korekciami. Tieto neúmyselné pohyby sa zvyčajne vyskytujú pri náročnej manipulácii spojenej s presným nastavovaním, asymetriou alebo obtiažne dosiahnuteľným umiestnením. [14]

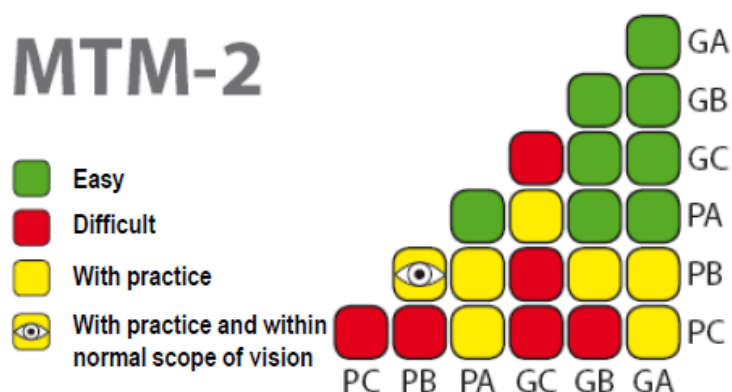


*Obr. 16 – Premiestnenie. [14]*

Podstatným faktom je, že krátke nedobrovoľné pohyby, vykonávané pri korekciách, nie sú označované za pohyby PA. Pohyby PA majú daný cieľ, zatiaľ čo korekčné pohyby sú nedobrovoľné. Rovnako ako pri pohyboch G, je veľkosť pohybov odhadovaná z pohybov rúk, bez pomoci pohybov tela. Veľkosti pohybov sa taktiež viažu k hodnotám 5, 15, 30, 45, 80 a sú to jediné kódy, ktoré software rešpektuje. [14]

- PW – pohyb spojený s premiestnením predmetu, v závislosti na jeho hmotnosti. Začína v momente keď sa predmet začne pohybovať, zahŕňa dostatočný čas potrebný na premiestnenie hmotnosti daného predmetu. Končí vo chvíli, keď predmet zastaví. V prípade, že hmotnosť v každej ruke je menšia ako 2kg, nejedná sa o pohyb PW. Pri hmotnosti medzi 2 – 5 kg, v softwari sa volí možnosť pridať 1 TMU a definuje sa ako pohyb PW 5. V prípade pohybu pri hmotnosti medzi 5 – 10 kg sa v softwari volí možnosť pridať 2 TMU a klasifikuje sa ako pohyb PW 10. [14]

V pohybe P sa neberie do úvahy sila, ktorá je potrebná pre namontovanie dielov. Pokiaľ je potrebná sila, klasifikuje sa písmenom A (apply force).



Obr. 17 – Tabuľka náročnosti jednotlivých typov pohybov. [14]

### Pohyb R (regrasp) – prechytenie

Jedná sa o manuálnu akciu, ktorá slúži na prechytenie alebo zmenu spôsobu držania predmetu neseného v ruke. Začína keď súčasť držaná v ruke začne meniť svoju pozíciu, zahŕňa všetky sprevádzajúce pohyby dlane a prstových svalov a končí v momente keď je súčasť pevne držaná v ruke a je umiestnená v novej pozícii. Prechytenie sa klasifikuje do softwaru iba jedenkrát, aj v prípade že nastane viac krát po sebe.

Pokiaľ sa pri prechytení zároveň aplikuje aj sila, tento pohyb nie je klasifikovaný ako pohyb R ale ako pohyb A. Z tohto dôvodu sa nemôže stať že vznikne kombinácia alebo postupnosť

kedy sa vykonávajú pohyby R a A po sebe. Ak ruka úmyselne stráca kontrolu nad predmetom a následne ho znova chytí, potom bude pohyb klasifikovaný ako G, nie ako R. [14]

Po klasifikovaní pohybu prechytenia a jeho zapísaní, pridá software šesť časových jednotiek TMU. [14]



*Obr. 18 – Prechytenie. [14]*

### **Pohyb A (apply force) – použitie sily**

Táto akcia vyžaduje silové pôsobenie na predmet, vyvolané svalmi. Začína v momente, keď sa časť tela, ktorá bude pôsobiť silou, dotkne predmetu. Pohyb zahŕňa pôsobenie zvyšujúcej sa, kontrolovanej sily, reakčný čas pre uvoľnenie a samotné uvoľnenie. Končí v momente keď časť tela, ktorá pôsobila silou je stále v kontakte s predmetom ale v uvoľnenom stave. [14]

Aby sa jednalo o pohyb A, predmet sa počas silového pôsobenia nepohne viac ako 6 mm. Pohyb môže byť vykonaný ktoroukoľvek časťou tela a dá sa rozoznať podľa viditeľného sústredenia pri pôsobení sily. Veľkosť tohto pohybu pri zapísaní do softwaru je 14 TMU. [14]

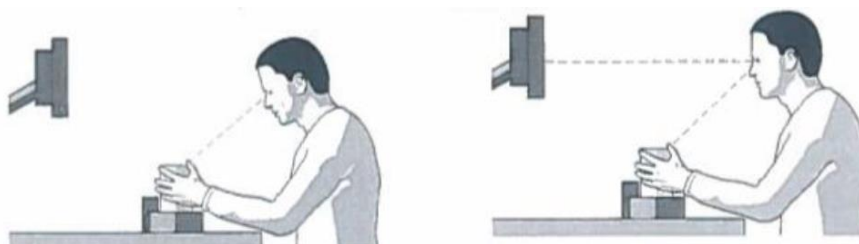


*Obr. 19 – Použitie sily. [14]*

### **Pohyb E (eye) – sledovanie očami**

Jedná sa o akciu vykonávanú pri rozoznávaní určitých vlastností zameraných na predmet alebo zmenu kontroly zrakom z jednej sledovanej veci na druhú. Akcia začína vo chvíli, keď všetky ostatné činnosti zastavia a operátor čaká na rozoznanie funkcií spojených s predmetom. Akcia zahŕňa reakčný čas pri zmene sledovaných vlastností a celý proces mentálneho sústredenia, končí v momente keď sa môžu začať ďalšie akcie alebo pohyby.

Rozsah sledovania jednej funkcie pokrýva oblasť 10 cm vo vzdialenosti 40 cm od očí. Reakčná doba na rozpoznanie vlastností je postačujúca iba na jednoduché zistenia (napr. Je časť modrá alebo zelená?). Pri klasifikovaní akcie E, software pripočíta 7 TMU. [14]

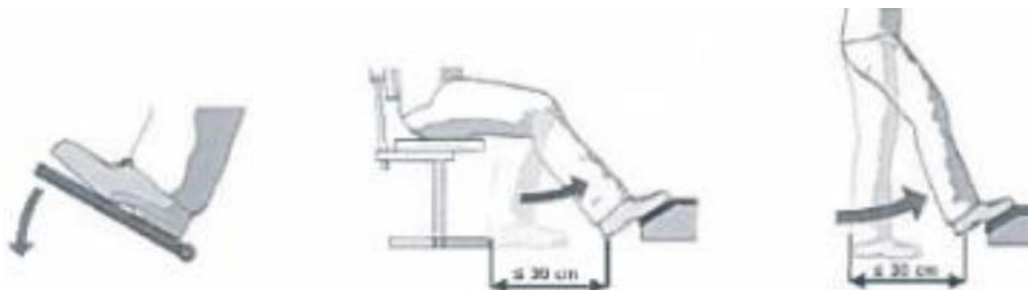


Obr. 20 – Sledovanie očami. [14]

### **Pohyb F (foot) – pohyb chodidla**

Krátky pohyb chodidla alebo nohy, ktorý nie je určený na premiestnenie celého tela. Začína s odpočíváním chodidla alebo nohy a patria sem pohyby nie väčšie ako 30 cm, napríklad pohyby bokov, kolien alebo chodidiel. [14]

Koniec je vo chvíli keď je chodidlo v novej pozícii. Pokiaľ je pohyb nôh vykonávaný s cieľom robiť kroky, nejedná sa o akciu F. Pri klasifikácii pohybu software pridá 9 TMU. [14]

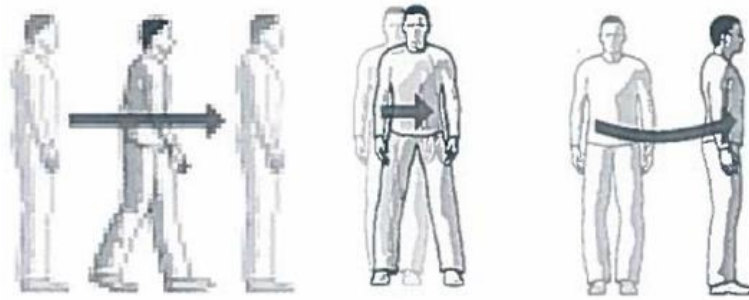


Obr. 21 – Použitie chodidla.[14]

### **Pohyb S (step) – použitie krokov**

Jedná sa o pohyb nohy s cieľom zmeniť polohu celého tela alebo pohyb nohy väčší ako 30 cm. Začína, keď je noha v kludnom stave a obsahuje pohyb nohy so zámerom pohybu celého trupu. Končí s nohou v novej pozícii. Pri zadefinovaní pohybu do softwaru, je pridaná časová hodnota 18 TMU. [14]



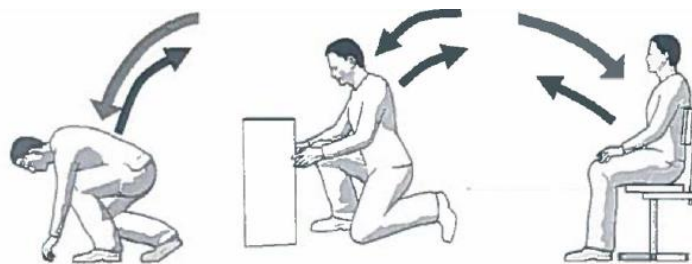


Obr. 22 – Pohyb pomocou krokov. [14]

### Pohyb B (bend and arise) – zohnúť a vystrieť sa

Pohyb je definovaný ako zohnúť sa po predmet a následne sa vystrieť do vzpriamenej polohy. Začína, tým že trup je vo vzpriamenej polohe, následne dôjde k presunu trupu a ostatných častí tela do polohy, ktorá sa viac nedá označiť ako vertikálna. Táto poloha umožní že operátor rukami dosiahne pod alebo pred úroveň svojich kolien. Akonáhle vykoná akciu kvôli, ktorej sa zohol, vracia sa trupom aj ostatnými časťami tela späť do vertikálnej polohy. Pohyb končí, keď je operátor znovu vo vzpriamenej polohe.

Môže sa stať, že operátor si pri ohýbaní kľakne na obe kolená a následne sa znovu vystrie do vzpriamenej polohy. V takomto prípade sa pohyb klasifikuje ako 2B s dvojnásobkom potrebného času a vyššou hodnotou aktivity. Pri definovaní pohybu B, software pridá 61 TMU. [14]



Obr. 23 – Zohnutie a následne vystretie sa. [14]

### Pohyb C (crank) – otočiť

Jedná sa o pohyb predmetu krúživým pohybom o viac ako pol otáčky, za použitia ruky alebo prstov. Začína s rukou položenou na predmete a obsahuje každú činnosť potrebnú k vykonávaniu krúživého pohybu s predmetom. Končí s rukou položenou na predmete, vo chvíli, keď je otáčanie ukončené.

Za každú otáčku akéhokoľvek priemeru je nutné pridať 15 TMU. Toto pravidlo platí pre nepretržité aj prerušované otáčanie. Počet otáčok sa zaokrúhľuje nahor alebo nadol, na

najbližšie celé číslo. Pravidlá, ktoré platia pri definovaní pohybov GW a PW, platia taktiež pre pohyb C. PW sa aplikuje na každú otáčku, či už kontinuálnu alebo prerušovanú. GW sa aplikuje jedenkrát pre kontinuálne série a raz pre každú otáčku, pokiaľ je prerušovaná. Ak sa pri konaní pohybu vyskytnú korekcie, definuje sa pohybom P. [14]



*Obr. 24 – Krúživý pohyb rukou. [14]*

## **5. Štíhla výroba**

Štíhla výroba je súhrn metód, nástrojov a princípov sústredených na výrobu – výrobné pracovisko, linky, strojné zariadenia, pracovníci. Cieľom je stabilná, flexibilná a štandardizovaná výroba. Účelom je skrátenie priebežnej doby elimináciou plytvania v dodávateľsko – odberateľskom reťazci. [16]

Pojem štíhla výroba definuje vysokú ekonómiu času a vysoké zhodnotenie kapitálu a práce. Princíp štíhlej výroby spočíva v poznaní ceny času, ceny pracovného tempa a ceny rýchlosti. V podstate ide o materializáciu tohto poznania, vďaka uplatneniu v mnohých podnikoch vo svete. [17]

**Táto teória zahŕňa všetky podmienky konkurencieschopnosti, medzi ktoré sa zaraďuje :**

- Cena.
- Kvalita.
- Inovácia.
- Rýchlosť výroby. [17]

**Neustále sledovanie výrobných časov má dva dôvody :**

- Obrat znásobuje sily a prostriedky čo znamená, že existuje tendencia tempo práce, výroby a predaja neustále zvyšovať.
- Nevyhnutnosť pracovať, vyrábať a predávať, dodržiavať včasnosť výroby, pretože oneskorenie výroby znehodnocuje vynaložené sily a zdroje. [17]

### Čas (pohyb) pozostáva z :

1. Rýchlosti – pracovné tempo.
2. Včasnosti.

Štíhlosť popisuje riadenie výroby vybudovanému na čase. Pre uskutočňovanie rýchlych rozhodnutí, je potrebné akceptovať návrhy viacerých zamestnancov a rozvíjať jasný postoj k práci. [17]

Tab. 4 – Princípy zaisťujúce štíhlosť/hybnosť výroby. [17]

Zjednodušenie	Dosiahnutie zjednodušenia
Eliminovať všetky činnosti, ktoré nevytvárajú AV, sú nevyužité a nadbytočné.	Zdieľanie informácií, nové zistenia z vedy, výskumu a inžinierstva.
Zjednodušiť usporiadanie firmy, unifikovať a rušiť útvary, skracovať cesty riadenia.	Benchmarking, úsilie byť medzi najlepšími, nepredlžovať procesy bez potenciálu.
Jednať okamžite.	Dodávať včas.
Zlepšovať konkurenčné výhody a pozíciu na trhu.	

Súhrn štíhlosti a hybnosti má dve strany rovnakého úsilia, obe majú spoločný cieľ – posilniť konkurencieschopnosť podniku a posilniť jeho postavenie na trhu. Pokiaľ nie sú splnené tieto finálne kritéria, proces zoštiehľovania nemôže fungovať. [17]

Výrobný proces je sled operácií, ktorý je v ideálnom prípade plochý, nepretržitý, plynulý a tesne naviazaný reťazový dej. V konečnom štádiu je zhutnený do komplexného produktívneho aktu. Pri rozdelení výrobného procesu na jednotlivé operácie, z ktorých každá je vykonávaná inou technikou, na inom pracovisku, s iným pracovníkom, vytvorí sa mnoho prestávok, striedania, nového ukončovania a začínania, na ktoré sú utrácane náklady, zdroje a čas. [17]

Výrobný spôsob štíhleho podniku prichádza s tendenciou k eliminácii zbytočných strát :

- Zlúčením operácií
- Plochým tvarom – zmeny v hierarchickom usporiadaní, hlásenie zdola a príkazy zhora
- Nepretržitosťou
- Riadením spredu [17]

Toto sú základné požiadavky moderného priemyslu, ktoré tvoria akýsi návod na zmeny vo výrobných procesoch. Súčiastka, ktorá musí pri výrobe prejsť zhruba dvadsiatimi pracoviskami, a je ňou manipulovaná s prestávkami od jedného k druhému pracovisku, musí byť obrobená. [17]

Prvá možnosť je, že prejde celý sled po sebe idúcich pracovísk a bude obrobená, druhá je, že tieto operácie budú vykonané na jednom obrábacom centre s malými obrábacími strojmi v jeho okolí. Diel sa takmer nehne z miesta a jeho výroba bude trvať podstatne kratšie. Tento výrobný postup ukazuje, že nie sú potrebné hlásenia z „vyšších miest“, aj keď monitorovanie pracoviska nebude zbytočné. Dopredné riadenie znamená, že všetky činnosti výrobného procesu smerujú ku skompletovaniu výrobku a každou ďalšou činnosťou je výrobok bližšie k dokončeniu. [17]

### **5.1. Plytvanie**

Za plytvanie je považované všetko, čo nepridáva hodnotu výrobku a zvyšuje náklady. Patria sem procesy, činnosti a aktivity, ktoré je pre snahu o znižovanie výrobných nákladov nevyhnutné eliminovať. Je však potrebné analyzovať každú činnosť zvlášť a prehodnotiť jej postavenie vo výrobnom procese, prípadne jej dôležitosť a potrebnosť. [16]

**Hlavnou metódou štíhlej výroby je redukcia troch typov plytvania :**

- Muda – práca bez prídavnej hodnoty
- Muri – preťaženie
- Mura – nerovnomernosť

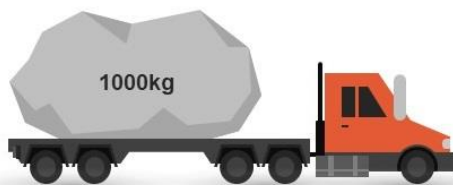
Jednotlivé typy plytvania sa vo výrobe vyskytujú spolu a previazane, nie je možné ich izolovať. Pre dosiahnutie čo najväčších finančných úspor je potrebné s nimi neustále bojovať a redukovať ich vplyv na výrobu. Pri zameraní sa na tieto tri typy plytvania dôjde k systematickému odhaľovaniu problémov. [18,19]



**MUDA**  
PLYTVANIE



**MURA**  
PREŤAŽENIE



**MURI**  
NEVYVÁŽENOSŤ

*Obr. 25 – Jednoduché znázornenie typov plytvania. [20]*

**Vo výrobe sa najčastejšie vyskytujú nasledujúce druhy plytvania :**

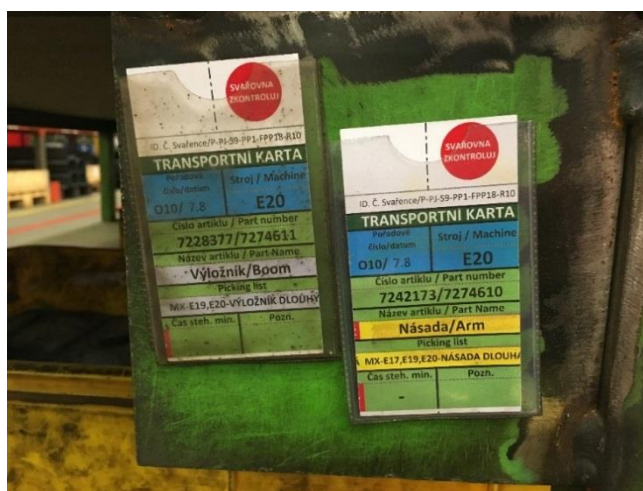
- Transport – náklady, ktoré neprinášajú výrobku žiadnu AV, spôsobené nevhodným layoutom závodu, potrebné obmedziť pohyb premiestnením pracovísk a zariadení bližšie k sebe.
- Skladovanie – nadbytočné skladové zásoby predlžujú dobu prípravy produkcie a zaberajú zbytočné miesto. Riešením je hladký tok medzi pracovnými centrami, ktorý zlepši zákaznicke služby a zníži skladové náklady. Problémom je taktiež malé množstvo zásob na sklade, pretože môže dôjsť k obmedzeniu predaja.
- Pohyby – ergonomické podmienky na pracovisku, zbytočné každodenné pohyby operátora spôsobené zlou organizáciou a layoutom pracoviska. Potreba odstrániť nadbytočne pohyby a zlepšiť ergonómiu. [18]
- Čakanie – spotreba času pri čakaní na spracovanie a ďalšiu operáciu. Je nevyhnutné znižovať dobu na čakanie a maximalizovať dobu s vytváraním AV. Nutné usporiadať procesy tak, aby sa dosiahol plynulý procesný tok a skrátila sa doba čakania.
- Nadprodukcia – výroba produktu pred objednávkou od zákazníka. Pre závod zapríčiňuje vysoké náklady, bráni hladkému toku materiálu, znehodnocuje kvalitu a produktivitu, čo vedie k predlžovaniu doby na prípravu produkcie, k nákladom na skladovanie a zníženie efektivity pri zisťovaní vád. [18]

- Spracovanie – použitie drahých a vysoko presných zariadení na miestach, kde postačia bežné nástroje. Nevhodné spracovanie zbytočne zvyšuje výrobné náklady, je nutné ho obmedziť investovaním do menších zariadení, tvorbou výrobných buniek alebo analýzou jednotlivých krokov.
- Vady – kvalitatívne nedostatky, ktoré majú priamy vplyv na hospodárenie podniku, vedú k prepracovaniu výrobku, čo znamená vysoké náklady. Taktiež to súvisí s nákladmi na izoláciu skladových zásob, spätnú kontrolu skladov, prepracovanie časových plánov a stratu kapacity. Vady je možno minimalizovať procesom neustáleho zlepšovania. [18]

Podľa najnovších štúdií sa uvádza aj ôsmy typ plytvania, a to je nedostatočné využitie zamestnancov. Spočíva v tom firmy zamestnávajú pracovníkov kvôli ich šikovnosti a sile ale nedávajú priestor ich kreativite. To je považované za problém, z dôvodu, že by sa mohlo výrazne prispieť k redukcii vyššie uvedených siedmich druhov plytvania. Identifikácia a eliminácia siedmich druhov plytvania je prvým krokom aby sa obyčajného podniku, stal podnik šťihly. Spoločnosti si plne uvedomujú že ich zákazníci sú ochotní platiť iba za prídavnú hodnotu, a nie za plytvanie. [18]

## 5.2. Ťahový systém riadenia výroby – Kanban

Podstata metódy ťahového riadenia – Kanban spočíva v prehľade vnútro podnikových dodávateľsko – odberateľských vzťahov, pretože každé pracovisko vie, pre koho čo v danej chvíli vyrába, a čo k tomu od koho potrebuje. Je to systém odovzdávania objednávok riadený za účasti kartičiek, kedy kartička s objednávkou je po dodaní vymenená za kartičku s dodacím listom. [22,23]



Obr. 26 – Kanban kartičky na manipulačných vozíkoch so zvarcami.

### **Výhody ťahového systému riadenia :**

- Znižovanie zásob - K hlavným výhodám ťahového systému výroby, sú nižšie požiadavky na veľkosť skladových priestorov, spôsobené dodávaním dielov do výroby tesne pred použitím. Výrobky sa nestávajú zastaralými, pretože obmena výrobkov ako aj zmeny dizajnu dielov, môžu byť okamžite zahrnuté do konečného výrobku.
- Pokles plytvania – výroba a dodávanie komponentov podľa potreby znamená, že sa nevytvára nadprodukcía. Nedochoádza tak ku plytvaniu a znižujú sa náklady na skladovanie.
- Flexibilita výroby – V prípade dopytu po produkte ťahový systém výroby zabezpečí, že v sklade nebudú nadbytočné zásoby. Je zaistená flexibilita nad rýchlo sa meniacim dopytom.
- Zvýšenie produkcie – Pokiaľ vo výrobe nastane problém, tok kanban sa zastaví (karty, zásobníky, palety, atď.). Miesto poruchy je viditeľné okamžite a je možná ich rýchla náprava. Čakacia doba dodávok materiálu sa znižuje a prístupnosť sa zlepšuje, čo má za následok zvýšenie produkcie, pri použití rovnakých zdrojov. [22]

Jedná sa o jednu z hlavných metód manažmentu štíhlej výroby, ktorá slúži k synchronizácii tokov. Je hlavným znakom ťahového výrobného systému, ktorý riadi tok práce za použitia materiálu podľa skutočných požiadaviek zákazníka. Nejedná sa o plánovací systém ale metódu riadenia výroby. [22]

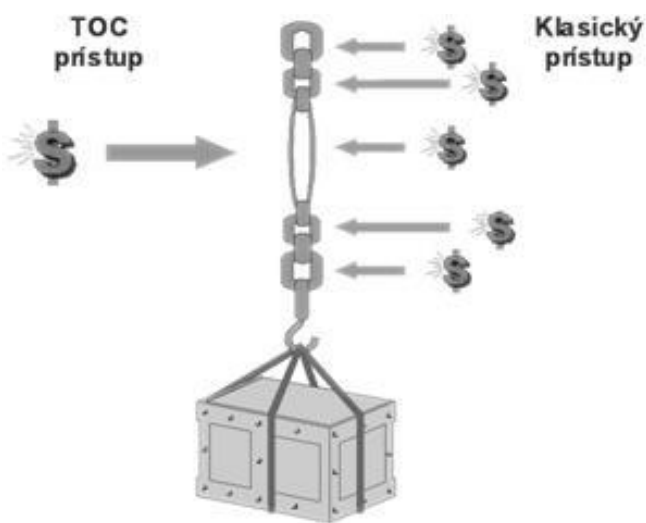
### **5.3. Teória obmedzení – TOC**

TOC (theory of constraints) je myšlienka, ktorá vychádza z predpokladu, že cieľom podniku je dosahovať maximálny možný zisk, a popisuje spôsoby ako ziskovosť podniku zvýšiť. Hovorí, že každý systém ma aspoň jedno miesto, ktoré stojí v ceste za dosiahnutím vyššieho zisku – úzke miesta. [24]

### **Najčastejší výskyt úzkych miest :**

- Výrobné zdroje – Nedostatok personálu, financií, zariadení.
- Marketing – Nízky dopyt, nevyužité kapacity.
- Riadenie – Predpisy zabraňujúce vyššej efektívite.
- Čas – Dlhá doba dodávky a prípravy spôsobujúca odchod zákazníkov.
- Postoj personálu – Nezáujem, zlá komunikácia a neochota. [24]

Táto teória vníma podnik ako reťazec zložený zo silných a slabých článkov, kde cieľom každého podniku by malo byť investovanie do prvkov, ktoré zapríčiňujú obmedzenie prietoku v podniku. [24]



Obr. 27 – Obrazné znázornenie teórie obmedzenia. [25]

Investovanie do akýchkoľvek iných prvkov nemá vplyv, a predstavuje stratu. Výkonnosť systému je možné zvýšiť nasledovne :

1. Nájsť obmedzenie systému.
2. Zistiť ako obmedzenie maximálne využiť.
3. Prispôbiť ostatné veci, obmedzeniu v systéme.
4. Navýšiť kapacitu obmedzenia.
5. Celý proces zopakovať. [24,26]

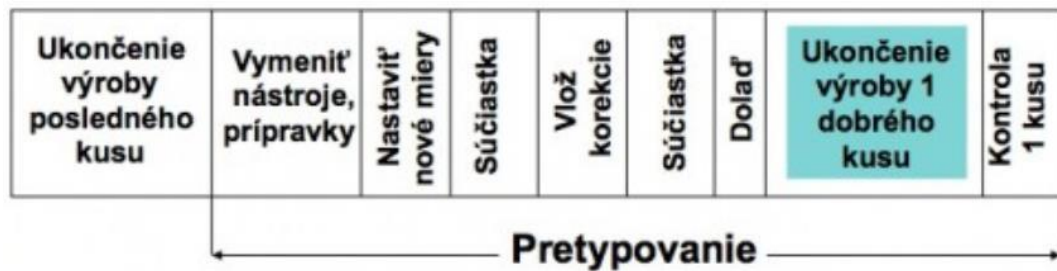
Snaha o elimináciu úzkych miest, ktoré bránia zvyšovaniu prietoku je vynakladaná z dôvodu maximalizácie zisku, minimalizácie zásob a minimalizácie prevádzkových nákladov. Teória obmedzenia je cestou k vývoju špecifického riešenia pre odstránenie problémov, do danej doby považované za neriešiteľné. Aplikáciou tejto teórie sa môže prísť na prielomové riešenia súčasných procesov ako aj sprostredkovanie úplne nových nikdy nepoužitých riešení. [24,26]



## 5.4. Metóda SMED

Metóda SMED (single minute exchange of dies) sa zaoberá redukciou času prestavby výrobného profilu (zariadenie, stroje) pri zmene výrobného programu (výrobky, sortiment). Táto metóda sa používa na pracoviskách, ktoré sú úzkymi miestami, kde často dochádza k prestavbe zariadenia a tým sú vytvárané výrazné časové straty. [27]

Cieľom metódy je redukovať čas potrebný na pretypovanie zariadenia, od posledného vyrobeného kusu výrobku A, po prvý dobre vyrobený kus výrobku B. [27]



Obr. 28 – Schéma činnosti pri pretypovaní výrobného zariadenia. [27]

Prvým krokom je výber zariadenia, úzkeho miesta, ktoré je kľúčové z pohľadu výroby. Detailná analýza procesu prestavby sa vykonáva na videozázname, z dôvodu lepšieho rozoznania činností. Následne je prestavba rozpracovaná do formulára na jednotlivé činnosti, pričom ku každej z nich je pridelený čas, počet pracovníkov a použité náradie. [27]

### Činnosti, ktoré operátor vykonáva sa rozdeľujú :

- Externé – vykonávané počas produkcie zariadenia, nejedná sa o prestoj (príprava náradia, prípravku, atď. ).
- Interné – vykonávané počas odstávky zariadenia, prestoj (výmena zápusťky na lise, hľadanie nástrojov). [27,28]

### Analýza pretypovania stroja

Metóda SMED spočíva v prevedení všetkých interných činností na činnosti externé a teda aby sa v ideálnom prípade vykonávali všetky činnosti za chodu stroja. [28]

Standard přetypování stroje			
Pracoviště: MCV 120 30		Výrobek: 1.300 5 015153 2	Operace: 30 0516
P.č.	Činnost pracovníka	Doba trvání (min)	Činnost Int./Ext.
1.	Přehrání programu do stroje	1:35	externí
2.	Stahování programu	3:25	externí
3.	Upravení programu dle parametrů stroje	2:35	externí
4.	Přichystání a studium dokumentace a seřizovacího listu	0:55	externí
5.	Výměna sklíčidla	1:40	interní
6.	Nastavení programu dle seřizovacího listu	5:31	interní
7.	Příprava nástrojů	15:56	externí
8.	Upínání nástrojů	7:22	interní
9.	Přesné měření	7:30	interní
10.	Najetí nulového bodu	3:37	interní
11.	Založení a výroba 1. kusu	27:00	interní
12.	Kontrola 1. kusu	9:24	interní
Datum:		Vypracoval:	Schválil: Číslo: 1/2008

Obr. 29 – Analýza přetypování stroje.

**Dosiahnuť zníženie času prestavenia je možné dosiahnuť len určitými zmenami :**

- Organizačné – organizačné zmeny v pretypovaní zariadenia, nízke vstupné náklady dokážu znížiť čas prestavby o 20 – 30 % (príprava náradia v externom čase).
- Technologické – potrebné investície do konštrukčných zmien (eliminácia potreby náradia, unifikácia šróbových spojov). [27,28]

### Prínosy zavedenia metódy

K hlavným efektom zavedenia metódy SMED je jednoznačne zníženie nákladov na výrobu a zároveň zvýšenie flexibility výrobnéj linky alebo zariadenia. Taktiež sa znižuje potreba ďalších zariadení, znižujú náklady na výrobnú dávku a zvyšuje sa stabilita a plynulosť výrobného procesu. [28]

## 6. Kapacitné výpočty

### 6.1. Využitie

Medzi dôležité úlohy projektanta pri spracovávaní technologického projektu pri návrhu výrobného systému, patria kapacitné výpočty, ktoré určujú množstvo priechodnosti a výrobných kapacít – potreba zamestnancov, výrobných plôch, strojov, skladov, dopravných a manipulačných prostriedkov. [29]

Hlavným zmyslom kapacitných výpočtov je stanovenie množstva všetkých potrebných prostriedkov pre splnenie výrobného plánu a porovnanie s aktuálnym stavom všetkých dostupných prostriedkov. [30]

**Existujú dva spôsoby akými sú posudzované výrobné postupy :**

1. Prioritný je výrobný plán – pomocou výpočtov sa zisťujú výrobné kapacity na jeho splnenie.
2. Prioritná je výrobná kapacita – hľadá sa výrobný plán, pri ktorom budú optimálne využité výrobné kapacity a budú splnené ekonomické ciele podniku. [30]

Základný vzorec pre výpočet kapacity je [29] :

$$\text{Počet strojov} = \frac{\text{Celkové kapacitné požiadavky na stroj [Nh]}}{\text{Efektívny časový fond stroja [h]}} \quad [-] \quad (3)$$

### 6.2. Hlavné veličiny kapacitných výpočtov

Veličiny, ktoré majú priamy vplyv a sú posudzované pri kapacitných výpočtov sú dve :

- Časový fond.
- Časové normy strojov – kapacitná norma prácnosti operácie a výrobu.

#### Časový fond

- Kalendárny časový fond – vyjadruje ho počet dní v roku
- Nominálny časový fond – určí sa odpočítaním nepracovných dní v roku
- Efektívny časový fond – vyjadruje dobu, ktorú má daný pracovník alebo stroj k dispozícii pre prácu. Najpoužívanejší vzorec pre výpočet efektívneho časového fondu zariadenia je :

$$T_{ef} = p \cdot h \cdot \left(1 - \frac{t_{pr}}{100}\right) \quad [h], \quad (4)$$

kde  $T_{ef}$  je ročný efektívny časový fond stroja,  $p$  je počet pracovných dní v roku,  $h$  – počet pracovných hodín za deň a  $t_{pr}$  je podiel [%] plánovaných prestojov v nominálnom časovom fonde. [30]

### Časové normy zariadenia

Vyjadrujú čas potrebný na produkciu určitej výrobnej jednotky alebo na výkon nejakej určitej operácie. Tento čas je označovaný ako norma prácnosti a vzťahuje sa k danej operácii, súčiastke alebo výrobku. Je vyjadrený v normominútach [Nmin] alebo normohodinách [Nh]. [30]

**Normovaná pracnosť sa vypočíta zo vzorca :**

$$t_{op} = \frac{t_k}{60} + \frac{t_d}{60 \cdot d} \quad [Nh/kus] \quad (5)$$

kde  $t_{op}$  je pracnosť operácie [Nh],  $t_k$  je čas na výrobu jedného kusu [Nmin],  $t_d$  je dávkový čas [Nmin] a  $d$  je výrobná dávka [kus].

Súčet normovaných prácností všetkých operácií tvorí normovanú pracnosť súčiastky a súčet normovaných prácností všetkých súčiastok a množstva času montáže tvorí normovanú pracnosť výrobku. [30]

Výrobnú kapacitu strojov je možné vypočítať na základe normovanej pracnosti výrobku. Výpočet výrobnej kapacity strojov pri výrobe jedného druhu výrobkov bude vyzerat nasledovne :

$$Q_k = \frac{T_{ef} \cdot n \cdot k_s}{t_{op}} \quad [-] \quad (6)$$

kde  $n$  je počet strojov v skupine a  $Q_k$  je počet výrobných skupín.

Kapacitné výpočty v podstate riešia vzťah medzi predpísaným výrobným programom a výrobným profilom plánovanej výroby. Vo väčšine podnikov sa kvôli širokému sortimentu výrobkov sa pre vyjadrenie pracnosti používajú výkonové jednotky (Nh, Nmin), ale môžu sa vyskytnúť aj jednotky naturálne (kus, kg, atď.). [30,31]

## 7. Popis výrobnéj linky

### 7.1. Charakteristika jednotlivých pracoviškov

Zváracia výrobná linka pozostáva z niekoľkých pracoviškov, pričom výrobný proces zvarenia výložníka, prebieha na troch z nich. Polotovár, vo forme presne vypálených a vylisovaných plechov je dodávaný pomocou manipulačných vozíkov pohybujúcich sa vo výrobnéj linke. Jednotlivé zvaracie pracoviska sú umiestnené kontinuálne za sebou v smere materiálového toku. Premiestnenie zvarenia medzi nimi, je zabezpečované priemyselným žeriavom.



*Obr. 30 – Výrobná linka so zvaracími pracoviskami.*

Na prvom pracovisku prebieha manuálna činnosť operátora, ktorá spočíva v tom, že operátor premiestni jednotlivé časti zvarenia z manipulačného vozíka do prípravku, do ktorého ich založí a následne upne, čo zabezpečí presnú polohu jednotlivých plechov, potrebnú pre požadované finálne rozmery zvarenia.

Pre zachovanie okrajových podmienok, tzn. súososť dier v odliatku na oboch koncoch zvarenia a funkčných dier na vrchole zvarenia, sú cez dvojice protiľahlých dier umiestnené rozperné valce, cez ktoré je prestrčený poistný kolík uzamknutý závlačkou. Úlohou rozperných valcov je zaistenie presnej polohy a vzdialenosti jednotlivých plechov pri zvaraní. Umiestnenie rozperných valcov je zobrazené na obr. 31.



*Obr. 31 –Rozperné valce s poistnými kolíkmi.*

Po tom, ako sú plechy polotovaru upnuté v presnej polohe, operátor ich postupne privarí v určitých bodoch (nastehuje), čím vznikne jeden veľký zvarenec.



*Obr. 32 – Pracovisko pre nastehovanie zvarenca.*

V tomto momente je výrobný proces zvarenca výložníka na prvom pracovisku hotový, čo znamená, že ďalšou úlohou operátora je uvoľniť zvarenec v prípravku, upnúť zvarenec na hák priemyselného žeriavu, a jeho pomocou vybrať zvarenec z prípravku. Vo chvíli, keď je zvarenec upnutý na žeriav, nasleduje jeho premiestnenie na ďalšie pracovisko.

Výroba zvarenca na druhom pracovisku pokračuje tým, že operátor znova založí zvarenec pomocou žeriavu do prípravku, a v presnej polohe ho upne.



*Obr. 33 – Použitý typ prípravku.*

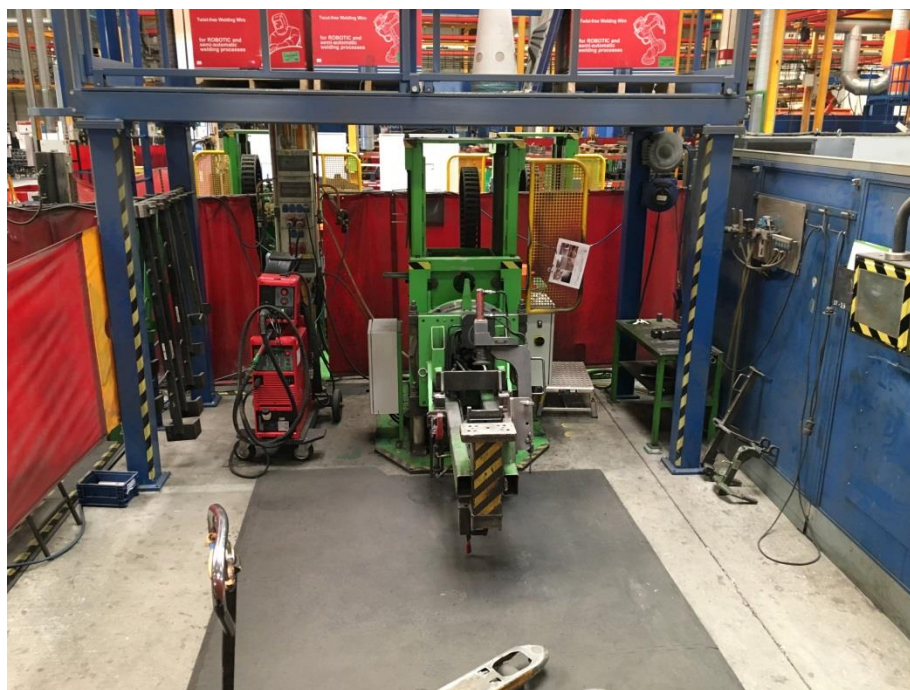
Predtým sa však musí uistiť či je prípravok nastavený na správny typ zvarenca a pokiaľ tomu tak nie je, musí ho prestaviť. Po upnutí vyberie z pracoviska hák žeriavu, zatahne na pracovisku závoru proti UV žiareniu, a na ovládacom paneli spustí zvárací program pre daný typ zvarenca.



*Obr. 34 – Pohľad na automatizovanú robotickú bunku.*

Po spustení beží celý zvarací proces automaticky, a činnosť operátora je potrebná až pri vyložení zvarenca z pracoviska a jeho premiestnení na posledné pracovisko.

V momente, keď zvarací program robota skončí a zvarací proces je ukončený, nasleduje manuálne premiestnenie zvarenca operátorom za pomoci žeriavu na tretie pracovisko. Úlohou tohto pracoviska je očistenie povrchu od kovových guličiek spôsobených rozstrekom elektrického oblúku a zabrúsenie ostrých hrán na zvarenci.



*Obr. 35 – Pracovisko pre obrúsenie hrán a očistenie zvarenca od rozstreku.*

Zmyslom čistenia kovových guličiek je lepšia priľnavosť, kvalitatívne vlastnosti a predajný potenciál hotového výrobku. Brúsenie ostrých hrán sa vykonáva z esteticko – kvalitatívneho hľadiska, čím je myslené praktické využitie koncového výrobku a možnosti potencionálnych úrazov zapríčinených ostrými hranami výrobku, a ďalším dôvodom je technologické hľadisko, kde obrúsené hrany znamenajú menšiu pravdepodobnosť vzniku korózie.

Tieto činnosti sú vykonávané ručne operátorom, pričom nástroje, ktoré používa sú uhlová brúska a škrabka. Po vykonaní týchto operácií je výrobný proces zvarenca dokončený, a zvarenec môže byť odoslaný do lakovne.

Následne je zvarenec operátorom premiestnený na manipulačný vozík vo výrobnéj linke, ktorý ho dopraví na spracovanie povrchovou úpravou.



## 7.2. Robotická zvaracia bunka

Automatizované programovo ovládané pracovisko, tvorí uzavretú robotickú zvaraciu bunku, ktorej systém pozostáva zo :

- Zvárací zdroj – Fronius TransPlus Synergic 5000.
- Dvojica zvaracích robotov – Yaskawa MA2010.
- Systém podávania drôtu PM.
- Prídavný materiál – zvarací drôt G<sub>4</sub>Si<sub>1</sub>.
- Zvárací horák.
- Čistiaca stanica .
- Polohovadlo – Yaskawa WH1000.
- Prípravok pre upnutie zvarenca.
- Ovládací panel.



*Obr. 36 – Pohľad na celkové vybavenie zvaracieho pracoviska.*

Na tomto pracovisku prebieha automatizovaný zvarací proces výroby zvarenca výložníka, pri ktorom sú dvojicou robotov zvarané spoje zaručujúce mechanické vlastnosti hotového výrobku.



*Obr. 37 – Dvojica zváracích robotov Yaskawa MA2010.*

Trajektória týchto zvarov, je prevažne priamka alebo oblúk (krivka). Rotačné polohovadlo zaručuje prístupnosť zváracích hlavíc robotov, ku všetkým miestam zvarenca, ktoré je potrebné zvariť. Spustenie a ukončenie zváracieho procesu je nutné vykonať manuálne na ovládacom paneli. Po spustení, pracuje celý program automaticky až do konca zváracieho procesu, minimálne v prípade, že sa nevyskytne žiadna neplánovaná porucha. Po ukončení zváracieho programu, je zvarenec v prípravku manuálne uvoľnený operátorom, a znova je upnutý na hák žeriavu a následne ním premiestnený na posledné pracovisko, kde prebehne čistenie zvarenca od následkov rozstreku a brúsenie ostrých hrán.



*Obr. 38 – Zvárací zdroj so stanicou na čistenie horáka.*

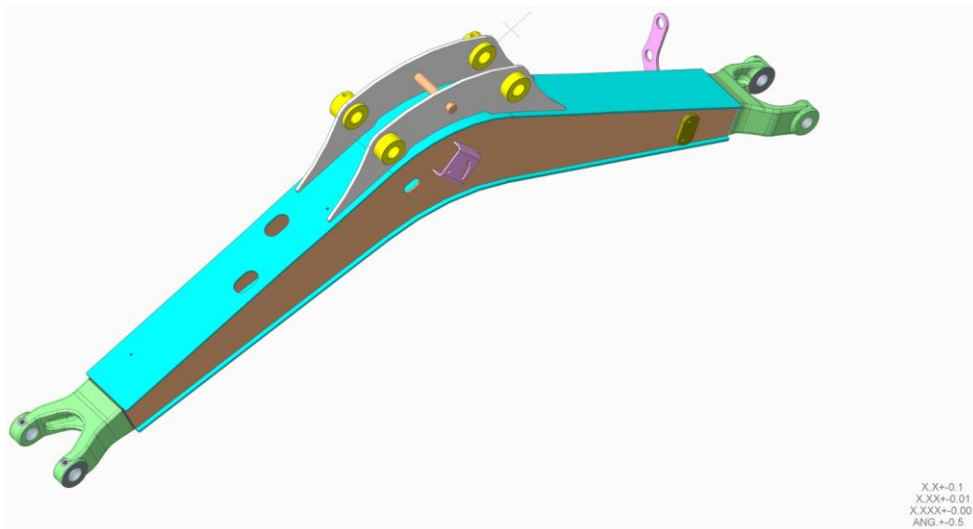
### 7.3. Charakteristika zvarenca

Optimalizácia výrobného procesu prebehla na diele výložníka bagra, ktorého hmotnosť je 54 kg, pričom sa jedná o zvarenec zvarovaný zo 14 menších súčastí. Výložník bol na predchádzajúcom pracovisku ručne „nastehovaný“ operátorom a následne bol premiestnený do automatizovaného robotického pracoviska, kde bol proces zvárania dokončený.



Obr. 39 – Zvarenec upnutý v prípravku.

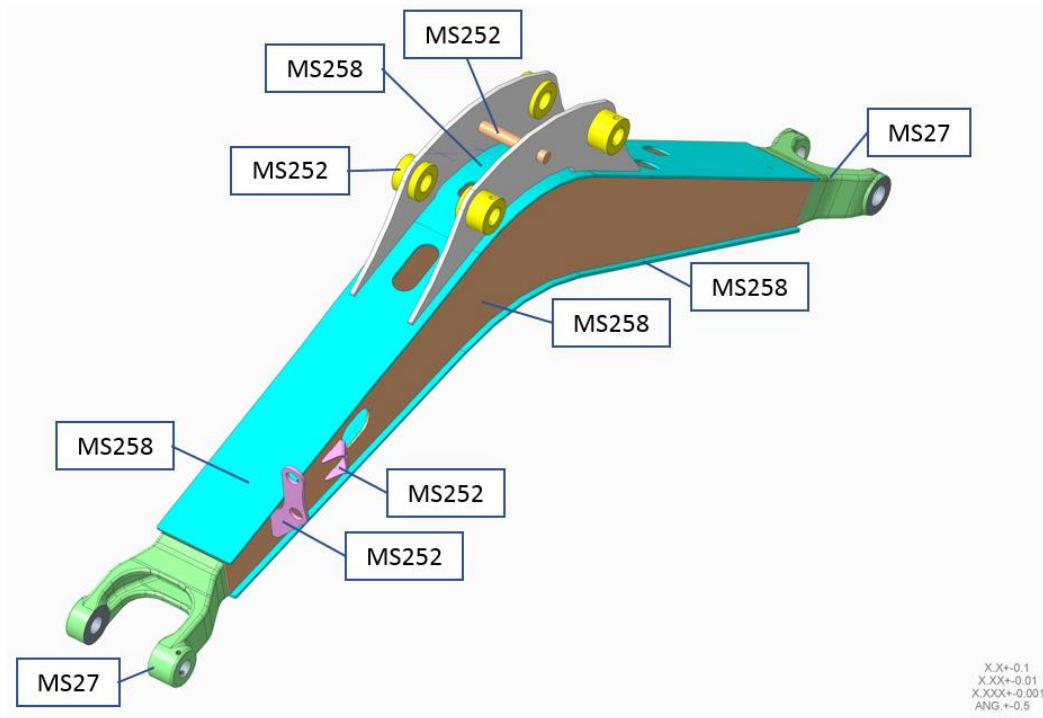
Väčšina súčastí bola vypálená laserom z plechu o hrúbke 6 mm ale taktiež sa vo zvarenci vyskytujú odliatky a diely, ktoré boli obrábané. Na obe konce zvarenca výložníka boli privarené odliatky s dierami pre hriadeľ, z materiálu MS 27. Rotačne obrábané puzdra boli z materiálu MS252 a ostatné použité vypálené plechy sú kombinácia materiálov MS252 a MS258.



Obr. 40 - 3D model zvarenca, pre ktorý bol optimalizovaný výrobný proces.

## 7.4. Základný materiál

V najväčšom množstve sú použité práve materiály MS252 a MS258. Ich použitie je vidieť na nasledujúcom obrázku.



Obr. 41 – Použitie jednotlivých materiálov znázornené na 3D modeli zvarenca.

**Materiál vypálených plechov a obrobkov** – Konštrukčná, za tepla valcovaná oceľ s vyššou medzou sklzu, používaná na tvárnenie za studena, určená pre ploché výrobky, vhodná pre zvarané, nýtované a šróbované spoje. [32] Materiály sú uvedené podľa amerických noriem.

### MS252

Tab. 5 – Chemické zloženie materiálu MS252. [33]

C	Mn	P	S	Al	Si	Cu	Ni	Cr	Mo	V	Ti	N
[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
0,15	1,00	0,035	0,035	0,12	0,30	0,20	0,20	0,15	0,06	0,008	0,025	0,014

Tab. 6 – Mechanické vlastnosti materiálu MS252. [33]

Re [MPa]	Rm [MPa]	A[%]
205 - 345	340 – 475	26

Materiál ekvivalentný chemickým zložením a mechanickými vlastnosťami ako MS252, je podľa európskej normy ČSN EN 10025 – S235J2.

### MS258

Tab. 7 – Chemické zloženie materiálu MS258. [34]

C	Mn	P	S	Al	Si	Cu	Ni	Cr	Mo	V	Ti
[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
0,22	1,35	0,04	0,04	0,12	0,04	0,20	0,20	0,15	0,06	0,005	0,005

Tab. 8 – Mechanické vlastnosti materiálu MS258. [34]

Re [MPa]	Rm [MPa]	A[%]
310 – 450	410 - 550	24

Materiál ekvivalentný chemickým zložením a mechanickými vlastnosťami ako MS258, je podľa európskej normy ČSN EN 10149 – S315MC.

**Materiál odliatkov** – vysokopevnostná nízkolegovaná oceľová liatina s vysokou pevnosťou, vhodná pre použitie v konštrukčných aplikáciách.



Obr. 42 – Odliatok privarený ku zvarencu.

## MS27

Tab. 9 – Chemické zloženie materiálu MS27. [35]

C	Si	Mn	P	S	Al	Cr	Cu	Mo	B
[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
0,30	0,50	1,60	0,04	0,045	0,05	0,50	0,30	0,30	-

Tab. 10 – Mechanické vlastnosti materiálu MS27. [35]

Re [MPa]	Rm [MPa]	A[%]
415	620	20

## 8. Podmienky zvaracieho procesu

### 8.1. Zvaracie parametre

Zvarací proces prebieha za použitia nominálnych zvaracích parametrov, kde elektrický prúd  $I = 290 \text{ A}$ , napätie  $U = 23 \text{ V}$ , rýchlosť podávania drôtu prídavného materiálu  $v = 10 \text{ cm/min}$  a rýchlosť zvarania  $v_z = 45 \text{ cm/min}$ .

### 8.2. Ochranný plyn

Zvarací proces na automatizovanom robotickom pracovisku prebiehal za účasti ochrannej atmosféry plynu od firmy Linde, s označením CORGON 10, ktoré udáva dvojzložkovú zmes, tvorenú 90 % Ar + 10 % CO<sub>2</sub>. Plyn je vhodný pre zvaranie uhlíkových a oceľových zliatin metódou MAG. K jeho najväčším prednostiam patrí redukcia tvorby trosky a minimalizácia rozstreku, čo znamená nižšie náklady na čistenie zvaru a z toho vyplývajúca časová úspora na čistenie trosky. Povrch po zvarení oxiduje len minimálne, a preto nie je problém následné lakovanie zvarenca. CORGON 10 je plyn použiteľný pre ručné zvaranie ale aj automatizovanú prevádzku. Najvhodnejší je pre zvaranie plechov v hrúbke 1 – 8 mm ale použiť ho, je možné aj mimo tento rozsah. [36] Výhody jeho použitia je možné zhrnúť nasledovne :

- Nízke náklady na čistenie – malé množstvo trosky.
- Nízka oxidácia povrchu.
- Nízky rozstrek.
- Menej výparov – lepšie pracovné prostredie. [36]

### 8.3. Prídavný materiál

Použitý PM bol zvärací drôt  $G_4Si_1$  ( $SG_3$ ) od firmy Sidergas s označením S7, o priemere  $d = 1,2 \text{ mm}$ , ktorý má kvôli dezoxidácií a rafinácií prísady Mn a Si. Jedná sa o pomedený oceľový drôt na zväranie ocele v ochrannej atmosfére plynu. Prednosťou daného PM je vysoká kvalita pri zachovaní najlepšieho pomeru cena/výkon. Oproti bežnému drôtu  $G_3Si_1$  má tento materiál vyšší podiel Mn a Si, čoho dôsledkom sú lepšie mechanické vlastnosti zvarového kovu. Drôt  $G_4Si_1$  je najčastejšie používaný za prítomnosti čistého  $CO_2$  alebo zmesi Ar +  $CO_2$ . Najčastejšie chemické zloženie drôtu  $G_4Si_1$  je 0,08 % C, 1,7 % Mn a 1 % Si. [37,38]

Tab. 11 – Vlastnosti drôtu prídavného materiálu  $G_4Si_1$ .

Značenie	Teplota tavenia [°C]	Medza sklzu $R_{p0.2}$ [MPa]	Medza pevnosti $R_m$ [MPa]	Ťažnosť A5 [%]
$G_4Si_1$ ( $SG_3$ )	1500	500	600	26

## 9. Optimalizácia výrobného procesu

Za použitia pôvodného neoptimalizovaného výrobného procesu výložníka, bola počas jednej osem hodinovej pracovnej zmeny uskutočniteľná výroba ôsmich kusov zvarenca výložníka. Realizáciou uskutočnenej optimalizácie jednotlivých výrobných procesov, bol vytvorený návrh, ako počet vyrobených kusov zvýšiť.

Celý výrobný proces zvarenca výložníka na pracovisku s dvojicou zväracích robotov, bol zaznamenaný na videozáznamy technológom, za použitia videokamery so statívom.

Záznamy bolo nutné upraviť podľa požiadaviek softwarov ISC Methodology :

- Konverzia videa do formátu *.avi*.
- Strih videozáznamu – zmyslom je skrátiť video a zbaviť sa časti videa ktoré nespádajú do výrobného procesu. Označenie približného začiatku výrobného procesu a približného konca.

Výrobný proces na danom pracovisku bol zaznamenaný na tri videá, čo znamenalo tri analýzy. Analyzovalo sa teda manuálne založenie nastehovaného zvarenca do prípravku operátorom, samotný zvärací proces dvojice robotov a manuálne vyloženie hotového zvarenca operátorom, až po uloženie na vozík postupujúci vo výrobnej linke.

Zvárací proces s dvojicou robota bol analyzovaný v softwari ISC Methodology DGM, a založenie zvarenca s jeho vyložení z prípravku, ktoré bolo vykonané operátorom, bolo analyzované v softwari ISC Methodology DGI.

Meranie času činnosti operátora, tzn. zakladanie a vykladanie zvarenca z prípravku, bolo kvôli opakovateľnosti uskutočnené tri krát a z nameraných časových údajov bol vypočítaný aritmetický priemer. Doba trvania zvaracieho procesu bola meraná iba raz, pretože sa jedná o numerický riadený proces. Výsledné spriemerované a na celé čísla zaokrúhlené časy hlavných činnosti výrobného procesu zvarenca, sú uvedené v tabuľke 12.

Tab. 12 – Rozdelenie výrobného procesu na logické časti.

	Zakladanie zvarenca	Zvárací proces	Vykladanie zvarenca
Čas [s]	69	1389	86
Celkový čas [s]	1544		

### 9.1. Analýza zakladania zvarenca do prípravku

Vo videu, ktoré bolo analyzované pomocou softwaru ISC Methodology DGI musel byť označený začiatok a koniec cyklu. Následne bolo rozdelené na sekvencie podľa logických činností. Každá zo sekvencií bola zvlášť analyzovaná a jej výsledkom bola hodnota aktivity za daný čas. Cieľom popisu týchto pohybov je skrátiť, prípadne eliminovať niektoré činnosti operátora, čím sa mu uľahčí práca a zníži celkový čas.

Založenie zvarenca do prípravku prebiehalo za bežného pracovného tempa operátora, s použitím činností bežných pre rutinné založenie zvarenca do prípravku. Po analyzovaní jednotlivých sekvencií sa hodnoty aktivity pohybovali v rozmedzí 90 – 102, pričom priemerná hodnota aktivity bola 98.

Tab. 13 – Hodnoty výsledných aktivít jednotlivých sekvencií zakladania zvarenca do prípravku.

Sekvencia	Čas sekvencie [s]	Čas sekvencie [TMU]	Aktivita [-]
<b>Konverzia prípravku</b>	9	246	96
<b>Uloženie zvarenca</b>	33	934	102
<b>Upnutie zvarenca</b>	12	321	97
<b>Spustenie robota</b>	15	383	90
Súčet	69	1884	98

Pozn. – TMU – vid' kapitola 4, podkapitola 4.13



Podobné hodnoty aktivity sú zaradované medzi vysoké a vyplýva z nich, že operátor pracuje s vysokým pracovným tempom a nasadením. Jediná možnosť optimalizácie v tomto prípade, bola vyradenie niektorých pohybov operátora, prípadne uľahčenie nejakej činnosti operátorovi. Pri podrobnom analyzovaní sa však, neprišlo na žiadnu podobnú možnosť, ktorá by v danom pracovisku a za daných pracovných podmienok bola realizovateľná a proces založenia zvarenca do prípravku, tak ostal bez úprav a teda aj bez úspory času.

Tab. 14 – Výsledky optimalizácie zakladania zvarenca do prípravku.

Pôvodný čas [s]	Čas po optimalizácií [s]	Ušetrený čas [s]	Zlepšenie [%]
69	69	-	-

## 9.2. Analýza zväracieho procesu

Samotná analýza videí ma mnoho postupnosti, ktoré museli byť dodržané pre získanie správneho výsledku aktivity a následnej možnosti optimalizácie a zníženia celkového cyklového času výrobného procesu. Prvý krok analýzy spočíva v ostrihaní videa tak, aby obsahovalo len úkony, ktoré sa budú v danej analýze posudzovať. Akonáhle bolo video ostrihané na požadovaný rozsah, vložili sa do neho značky – začiatok a koniec cyklu, ktoré vymedzili celkovú veľkosť daného cyklu. Tieto značky sú do videa vkladané s presnosťou na 1 snímku (f), ktorá má zvyčajne v sekundách veľkosť 0,033 sekundy ale závisí od parametrov záznamového zariadenia.

Následne bol daný úsek videa rozdelený na rôzne logické sekvencie, z ktorých každá popisovala iný druh úkonu. Hlavné rozdelenie pohybov bolo na pohyby s prídavnou hodnotou – AV (adding value), ktoré vyjadrovali pohyb robotov pri zváraní a ostatné pohyby bez prídavnej hodnoty, kde patrili pohyby robotov, keď nezávali a rotácia polohovadla. Na základe analýzy strojných časov boli analyzované pohyby, ktoré robot vykonával. Sekvencie, kedy robot nepracoval, pretože sa vyskytla porucha, ktorá zastavila celý zvärací proces, neboli analyzované ale označené ako *DISCARD*. Počas natáčania videa nastala takáto porucha dva krát a obe ramená robotov ostali pri zváraní stáť v jednej polohe bez toho aby bol zapálený elektrický oblúk. Preto boli vytvorené dve sekvencie, spojené s nečakanou poruchou, kedy obe ramená robotov zastavili a to sekvencia *DISCARD*<sub>2</sub>, ktorá je dlhá 343 s a sekvencia *DISCARD*<sub>3</sub> s dĺžkou 44 s. Tieto sekvencie sa v analýze nebrali do úvahy, a neovplyvňovali žiadne výsledky.








### Medzi najčastejšie poruchy vyskytujúce sa pri zváracom procese patrí :

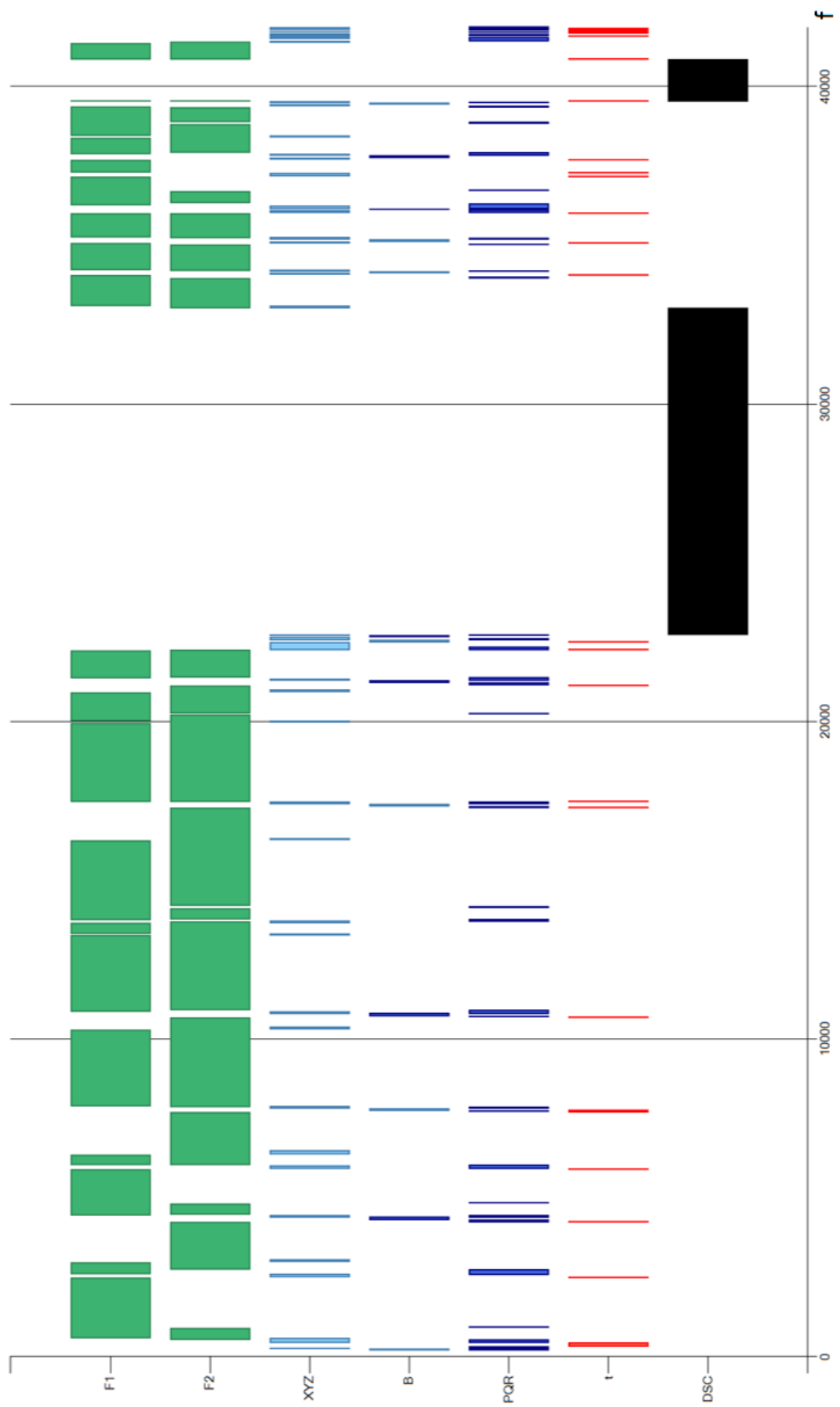
- Chyba zapálenia oblúku robota (troska)
- Kolízia horáka s prípravkom
- Chyba senzorov
- Upnutie/odopnutie zvarenca
- Odvíjanie zväracieho drôtu

Pohyby v priestore spojené s pozicovaním, kedy robot nezváral boli označené ako *XYZ* a *PQR*. Funkčné pohyby s prídavnou hodnotou, a teda samotné zváranie bolo označené ako *F1* a *F2*. Rotačný pohyb prípravku bol označený písmenom *B* – v smere hodinových ručičiek kladný, v protismere záporný. Tieto dopredu zadefinované skratky boli používané počas celej analýzy, a boli nimi popisované jednotlivé činnosti, pohyby a sekvencie. Do analýzy videa sa vkladali značky, ktoré video rozdelili na jednotlivé sekvencie a tie boli následne podrobne posudzované a skúmané.

Po dokončení prvej časti analýzy, kedy boli detailne popísané činnosti a pohyby, ktoré na zváracom pracovisku prebiehali, bol výstupom analýzy prehľadný časový plán jednotlivých úkonov, ktoré prebiehali. Z toho časového plánu je jasne rozpoznateľné, ktorý robot kedy zváral, kedy došlo k pozicovaniu ramien robotov, kedy došlo k rotácií polohovadla a kedy nastala nečakaná porucha keď roboty prestali pracovať.

Tab. 15 – Legenda s vysvetlením jednotlivých farieb v nasledujúcich časových plánoch.

Farba	Značenie	Popis
	<i>F1</i>	Robot 1 – AV pohyb (zváranie)
	<i>F2</i>	Robot 2 – AV pohyb (zváranie)
	<i>XYZ</i>	Robot 1 – pohyb bez AV (polohovanie)
	<i>PQR</i>	Robot 1 – pohyb bez AV (polohovanie)
	<i>B</i>	Polohovadlo – pohyb bez AV (+ v smere hodinových ručičiek )
	<i>t</i>	Oneskorenie
	<i>DISCARD</i>	Neanalyzovaný úsek



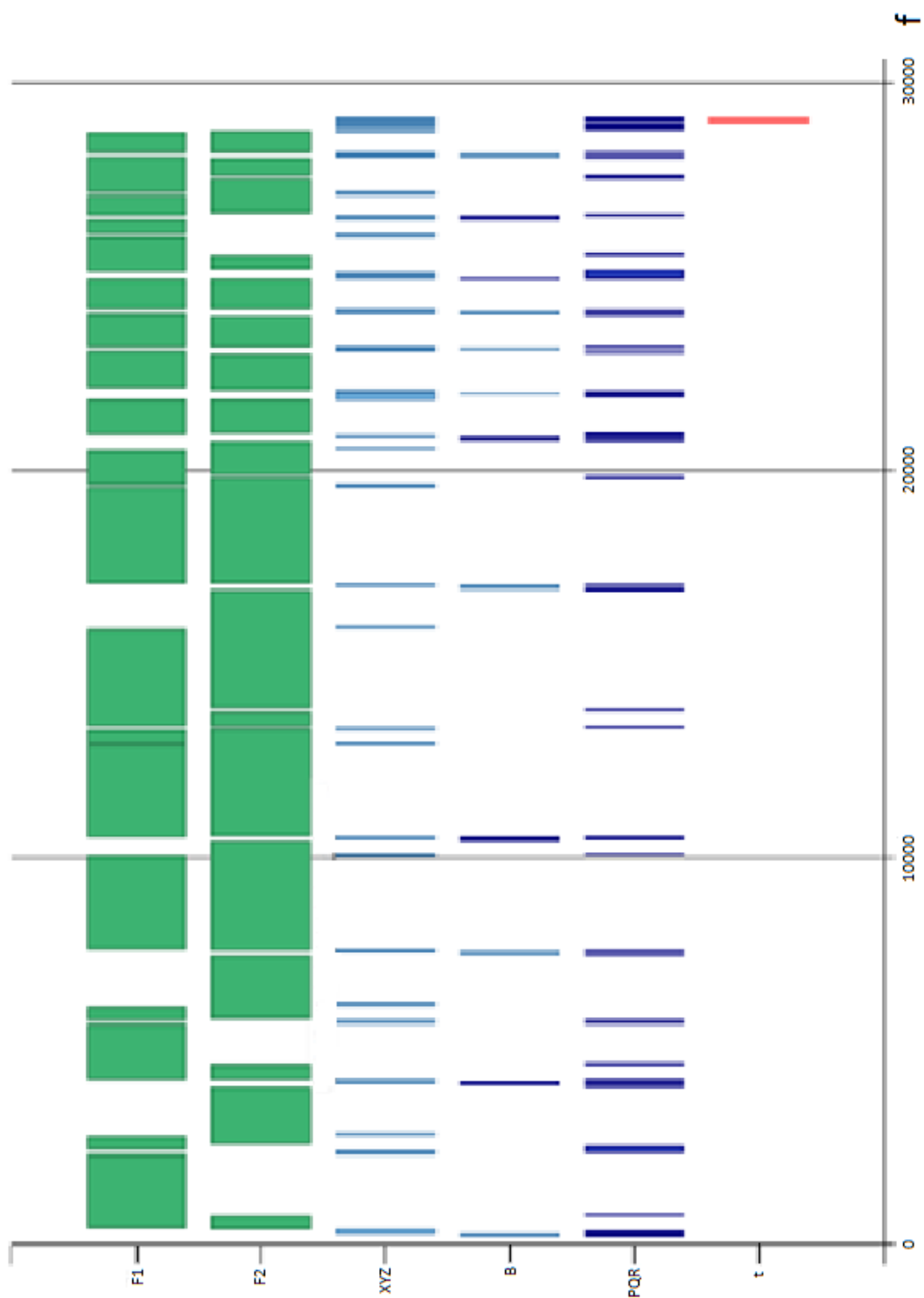
Obr. 43 – Časový plán zväracieho procesu pred optimalizáciou.

S pomocou detailného prehľadu v časovom pláne týchto činností, nasledovalo hľadanie úzkych miest vo výrobnom procese, avšak žiadne obmedzenia tu nájdené neboli. Pri pokračovaní v analýze došlo k posudzovaniu jednotlivých sekvencií, pričom sa v každej z nich hľadala možnosť ako danú činnosť zjednodušiť, urýchliť, prípadne eliminovať. Podľa navolených možností software vyhodnocoval časovú úsporu, ktorá vznikne danou zmenou. Do každej sekvencie, v ktorej prebehla nejaká zmena bolo potrebné uviesť dôvod prečo k danej zmene došlo, a na čo je táto zmena dobrá.

V sekvenciách muselo byť následne uvedené ako je potrebné zmeniť program podľa, ktorého robot pracuje alebo ako má po novom robot vykonávať dané činnosti so zadanými zmenami. Činnosti a pohyby, ktoré prebiehali v pracovnom priestore robota boli podrobne skúmané a odôvodňované s cieľom nájsť priestor pre zjednodušenie alebo časovú úsporu.

Sekvencie, kedy oba roboty bezdôvodne nepracovali boli eliminované. Taktiež boli eliminované pohyby robotov, ktoré sa ukázali ako zbytočné (nájazdy, prejazdy). Vyradením týchto pohybov sa dosiahlo zlepšenie 2,74 %, čo v praxi znamená ušetrenie času 38 sekúnd. Tento primárny ušetrný čas sa podarilo dosiahnuť iba skrátením dráh a prestojov.

Pri dokončení prvej časti analýzy, software automaticky vygeneroval nový časový plán po optimalizácii, s tým že sekvenciu označenú ako *DISCARD* nebral do úvahy (neprináša časovú úsporu). V nasledujúcom časovom pláne (obr. 44) je zobrazený pracovný cyklus so započítanou časovou úsporou 38 sekúnd.

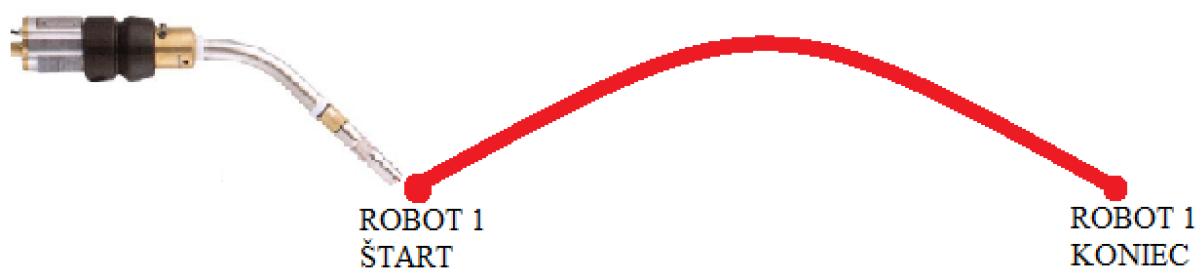


Obr. 44 – Časový plán po eliminovaní zbytočných pohybov.

Tab. 16 – Výsledok časovej úspory po skrátení prejazdov a eliminácii prestojov.

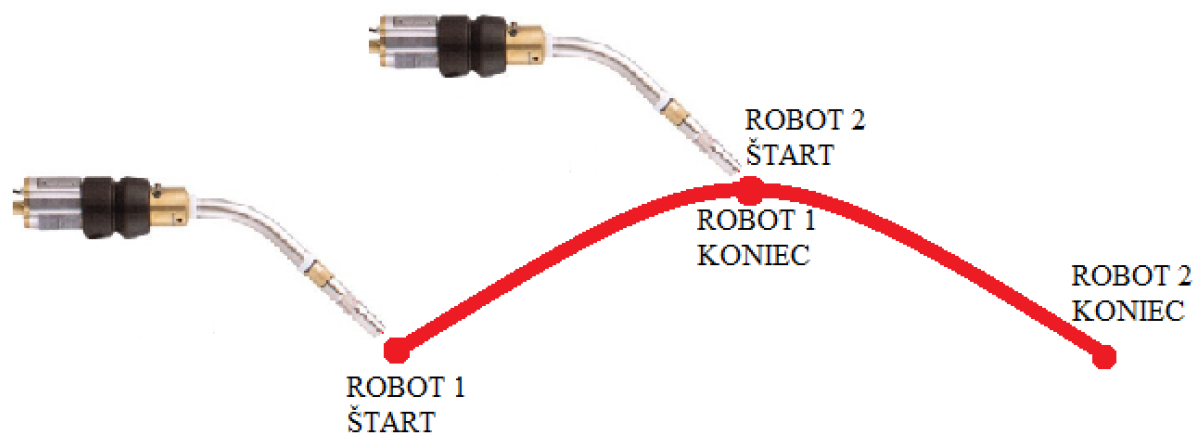
Pôvodný čas [s]	Čas po optimalizácií [s]	Ušetrený čas [s]	Zlepšenie [%]
1389	1351	38	2,74

V ďalšom kroku tejto analýzy nasledovalo zosúladienie pohybov dvojice robotov, ktoré spočívalo v eliminácii situácií, kedy jeden robot zváral a druhý bezdôvodne stál. V takýchto prípadoch sa postupovalo preskladaním daných pohybov robotov tak, aby sa pri danom zvare, kedy pracoval iba jeden robot, zamestnal aj robot druhý. Prakticky to vyzeralo tak, že pri zváraní zvaru s trajektóriou oblúku, začal druhý robot zvärať v jeho strede a skončil na konci oblúku, a prvý robot začal na začiatku a skončil v strede oblúku. Pred toutou zmenou bola celá dĺžka oblúku zváraná jedným robotom, ako je demonštrované na obr. 45.



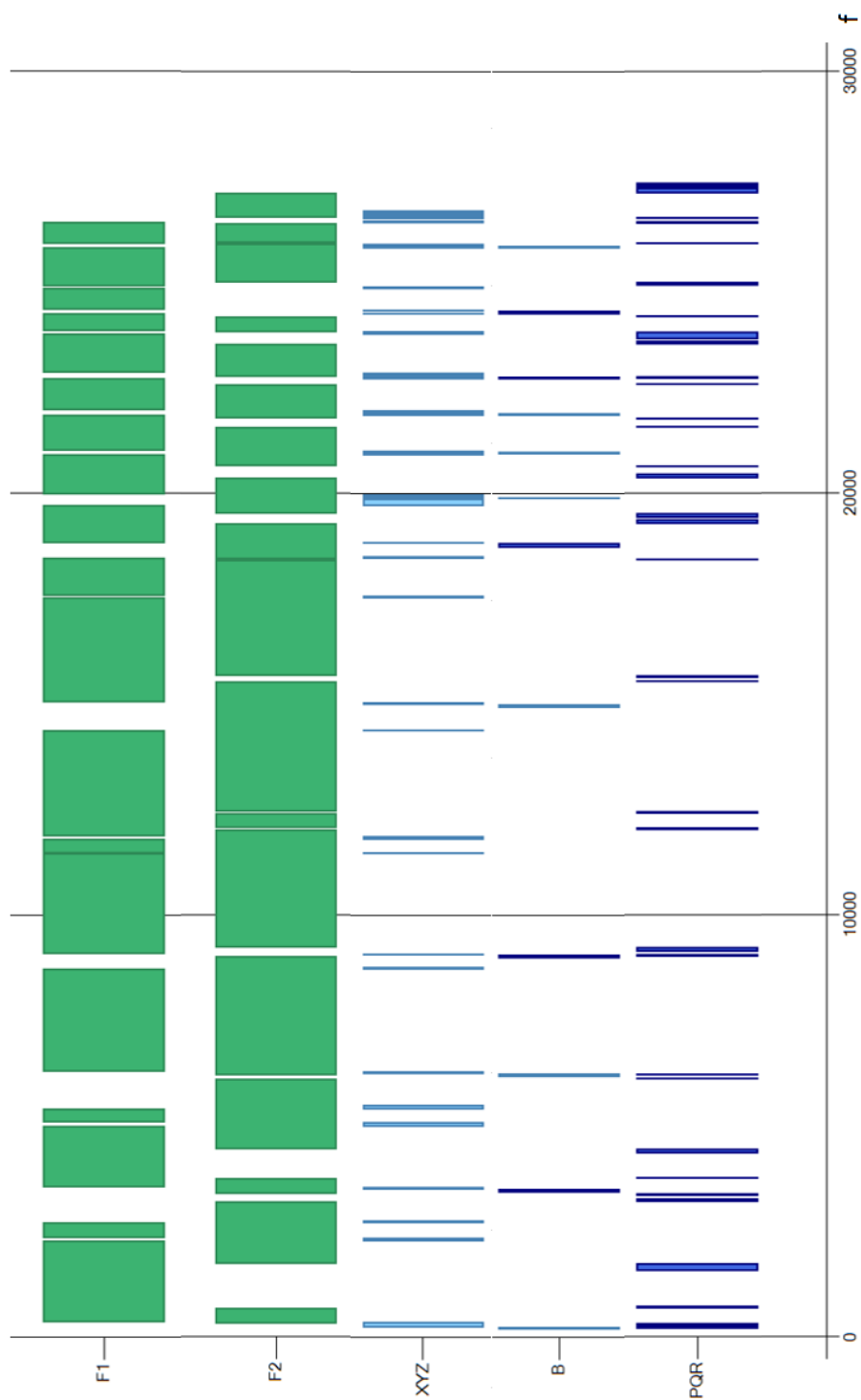
Obr. 45 – Znáznornenie pôvodného zváracieho postupu, pri zvare s trajektóriou v tvare oblúku.

Táto zmena zaručila úsporu zhruba polovice času a jej zavedenie taktiež prispeje ku zníženiu tepelných deformácií. Prenastavovanie pohybov robotov bolo potrebné vykonať dva krát. Najskôr sa prispôboval robot 1 k pohybov, ktoré konal Robot 2 a v ďalšom kroku boli synchronizované pohyby robota 2, k pohybov robota 1.



Obr. 46 – Znáznornenie optimalizovaného zváracieho postupu so zapojením oboch robotov.

Výsledkom optimalizovania týchto dvoch postupov bola úspora času, ktorá vznikla na robotovi 1 a úspora času vzniknutá na robotovi 2. Po zosúladiení pohybov oboch robotov sa podarilo dosiahnuť úsporu na prvom robotovi 11,84 % a na druhom 9,74 % .V následných výpočtoch sa brala do úvahy menšia úspora, ktorá v časovej jednotke znamenala ušetrený čas 98 s.



Obr. 47 – Časový plán po preskladaní pohybov robotov.

Tab. 17 – Výsledok časovej úspory dosiahnutej zosúladením pohybov dvojice robotov.

Pôvodný čas [s]	Čas po optimalizácii [s]	Ušetrený čas [s]	Zlepšenie [%]
1351	1253	98	7,25

Po sčítaní časovej úspory, ktorá sa dosiahla redukciov pohybov a prestojov, čo značí 38 sekúnd a časovej úspory dosiahnutej zosúladením pohybov oboch robotov, to je 98 sekúnd, bola dosiahnutá úspora 136 sekúnd. Tento časový údaj značí celkovú časovú úsporu vo zväracom procese dvojice robotov.

Celkovú časovú úsporu bolo nutné odčítať od pôvodného času zväracieho procesu, ktorý činí 1389 sekúnd. Odčítaním bola dosiahnutá výsledná doba zväracieho procesu, a to 1253 sekúnd. Porovnaním týchto dvoch časov, bolo vypočítané percentuálne časové zlepšenie zväracieho procesu a jeho hodnota je 9,8 %.

Tab. 18 – Výsledné hodnoty zväracieho procesu po optimalizácií.

Pôvodný čas [s]	Čas po optimalizácií [s]	Ušetrený čas [s]	Zlepšenie [%]
1389	1253	136	9,8

### 9.3. Analýza vykladania zvarenca z prípravku

Video vyloženia zvarenca z prípravku bolo analyzované za rovnakých podmienok a za rovnakých postupností ako v prípade analýzy zakladania zvarenca do prípravku. Video bolo rozdelené na štyri logické sekvencie z ktorých každá dosahovala vysokú aktivitu, čo znamenalo, že pracovné nasadenie operátora je optimálne. Po analyzovaní jednotlivých sekvencií sa hodnoty aktivity pohybovali v rozmedzí 92 – 107, a priemerná hodnota celkovej aktivity bola 99.

Tab. 19 – Hodnoty výsledných aktivít jednotlivých sekvencií vykladania zvarenca do prípravku.

Sekvencia	Čas sekvencie [s]	TMU	Aktivita
<b>Odopnutie zvarenca</b>	18	473	92
<b>Vyloženie zvarenca</b>	15	437	107
<b>Odstránenie prípravkov</b>	32	829	94
<b>Odloženie na vozík</b>	21	617	105
Suma	86	2356	99

Priestor pre časovú úsporu bol nájdený v postupnosti jednotlivých krokov a v procesnej zmene na výrobnjej linke. Pôvodný predpísaný proces vykladania zvarenca operátorom začína v momente, kedy operátor odopne vizuálnu bariéru, ktorá uzatvára zväracie pracovisko



s robotom. Operátor následne kráča k ovládacímu panelu pracoviska kde zvolí ukončenie zvaracieho programu na robotoch a vypne bezpečnostné systémy, aby mohol v zapätí vstúpiť do pracovného priestoru robota.

V tejto postupnosti bola nájdená možnosť optimalizácie pomocou zmeny procesných úkonov. Po optimalizácii je daná postupnosť krokov operátora tým, že na začiatku musí vypnúť zvarací program na ovládacom paneli, pričom následne odopne bariéru a kráča k robotovi aby odopol zvarenec z prípravku. Táto zmena následnosti krokov skráti operátorovi dráhu, ktorú musí prejsť aby sa dostal k robotovi a tiež ušetrí čas. V ďalšom kroku bola zmenená poloha vozíka umiestneného vo výrobní linke, ktorý sa pôvodne nachádzal niekoľko metrov od pracovného stola, kde operátor odstraňoval zo zvarenca nástroje potrebné pre dodržanie okrajových podmienok, to sú tyče pre súososť dier na koncoch zvarenca.



*Obr. 48 – Pôvodná poloha manipulačného vozíka pohybujúceho sa vo výrobní linke.*

Po optimalizácii bola poloha vozíka pohybujúceho sa vo výrobní linke zmenená a umiestnený bol v blízkosti pracovného stola na odstraňovanie nástrojov zo zvarenca. Táto zmena ušetrila operátorovi približne 9 krokov, čo znamenalo znova aj úsporu na čase.



Obr. 49 – Zmenená poloha manipulačného vozíka, umiestnenie vedľa pracovného stola s nástrojmi.

Celková časová úspora procesu vykladania zvarenca z prípravku operátorom, v ktorej je započítaná zmena jednotlivých postupností pri otváraní pracovného priestoru robota a zmena polohy vozíka vo výrobnjej linke, bola pomocou softwaru dosiahnutá 17 sekúnd.

Tab. 20 – Výsledky optimalizácie vykladania zvarenca z prípravku.

Pôvodný čas [s]	Čas po optimalizácií [s]	Ušetrený čas [s]	Zlepšenie [%]
86	69	17	19,8

#### 9.4. Celkový ušetrený čas

Aby bol zistený celkový ušetrený čas pre výrobu zvarenca výložníka, bolo nevyhnutné vedieť koľko trval pôvodný výrobný proces. Pri zakladaní zvarenca do prípravku sa počas tvorby videa operátor neplánovane otočil na jeho spolupracovníka, čím vznikla sekvencia ktorá nepatrí do výrobného procesu a bola označená ako *DISCARD<sub>1</sub>*. Doba tejto sekvencie je 1 sekunda a v nasledujúcich výpočtoch bola táto dĺžka odpočítaná z celkového cyklového času výrobného procesu.

Celkový predbežný čas bol získaný zo súčtu jednotlivých cyklových časov zakladania, zvarania a vykladania zvarenca, teda hodnôt, ktoré sa ľahko získali zo softwaru. Po sčítaní týchto troch časov jednotlivých cyklov, bol výsledný čas pôvodného výrobného cyklu

1545 s. Tento časový údaj však obsahuje aj časy úsekov, ktoré neboli analyzované a boli označené ako *DISCARD*, a preto bol označený iba ako predbežný cyklový čas. Pre dosiahnutie výsledného cyklového času je teda nevyhnutné aby dĺžka týchto sekvencií bola z predbežného času výrobného procesu odčítaná. V Predbežnom čase sa vyskytli dve sekvencie typu *DISCARD*, pričom dĺžka sekvencie *DISCARD<sub>1</sub>* je 1 sekunda, dĺžka sekvencie *DISCARD<sub>2</sub>* je 343 sekúnd a sekvencia *DISCARD<sub>3</sub>* je dlhá 44 sekúnd.

Tab. 21 – Prehľad jednotlivých časov sekvencií označených ako *DISCARD*.

	<i>DISCARD<sub>1</sub></i>	<i>DISCARD<sub>2</sub></i>	<i>DISCARD<sub>3</sub></i>
Čas [s]	1	343	44
<i>DISCARD</i> = Súčet	388		

Po odčítaní celkovej hodnoty *DISCARD* z predbežného času výrobného cyklu bol dosiahnutý výsledný cyklový čas 1157 sekúnd.

Tab. 22 – Prehľad dosiahnutých časov.

Predbežný cyklový čas [s]	<i>DISCARD</i> [s]	Celkový cyklový čas [s]
1545	388	1157

Pre dosiahnutie výslednej časovej úspory v celkovom výrobnom cykle bolo nutné spočítať jednotlivé zlepšenia a časové úspory, ktoré boli dosiahnuté pri zakladaní, pri samotnom procese zvárania a pri vyložení. Keďže pri zakladaní boli hodnoty aktivity vysoké a nepodarilo sa dosiahnuť akékoľvek zlepšenie, ktoré by bolo realizovateľné zmenou následnosti krokov operátora, čas pôvodný a čas po analýze ostali nezmenené a z tohto dôvodu sa ďalej so žiadnou časovou úsporou nepočíta. Pri samotnom zváracom procese robotov sa podarilo skrátením trajektórie robotov a eliminovaním určitých pohybov dosiahnuť časovú úsporu 38,17 s.

V ďalšom kroku, kedy bola analýza zameraná na preskladanie pohybov robotov, odstránení situácií kedy pracoval iba jeden robot a elimináciou úzkych miest sa dosiahlo omnoho výraznejšie zlepšenie, ktorého výsledná časová úspora bola 97,67 s.

Posledné dosiahnuté zlepšenie bolo vykonané v procese vykladania zvarenca z prípravku operátorom, a jeho odložením na vozík vo výrobnéj linke. Zlepšenie znamenalo zmeniť postupnosť činnosti operátora, ktoré je povinný vykonať pred vstupom do pracovného

priestoru robota a zmenou umiestnenia vozíka vo výrobnéj linke, to je umiestniť vozík do blízkosti pracovného stolu operátora, pre odstraňovanie nástrojov, potrebných pre dodržanie okrajových podmienok. Časová úspora dosiahnutá v procese vykladania značí 17,4 s.

Tab. 23 – Prehľad ušetrených časov pri jednotlivých logických častiach výrobného procesu

	Zakladanie zvarenca	Zvárací proces		Vykladanie zvarenca
Zlepšenie [%]	0	9,8		19,8
Ušetrený čas [s]	0	38	98	17
Súčet [s]	153			

Súčtom týchto troch časových úspor bola vypočítaná výsledná časová úspora celého výrobného procesu výložníka, ktorá je 153 sekúnd.

Percentuálne najväčšia úspora bola dosiahnutá pri vykladaní zvarenca z prípravku operátorom a činí 19,8 %.

Tab. 24 – Výsledky celkovej optimalizácie

Celkový cyklový čas [s]	Výsledná časová úspora [s]	Zlepšenie [%]
1157	153	13,2

$$Zlepšenie = \frac{\text{Výsledná časová úspora [s]}}{\text{Celkový cyklový čas [s]}} \times 100 \quad [\%] \quad (7)$$

Pri porovnaní výslednej časovej úspory výrobného cyklu a celkového cyklového času výrobného procesu bolo dosiahnuté zlepšenie o veľkosti 13,2 %. Odsúhlaseným cieľom projektu bolo dosiahnuť časovú úsporu v rozmedzí 12 – 15 %, bez akýchkoľvek konštrukčných alebo technologických zmien. Pri zavedení optimalizovaného procesu do výroby bude znamenať dosiahnutá časová úspora, že za jednu zmenu sa môže vyrobiť o 2 kusy výložníka viac, za jeden deň o 6 kusov viac, za mesiac o 120 kusov viac a ročne o 1440 kusov viac.

Zmeny, ktoré boli počas optimalizácie vykonané, sú buď procesného, alebo postupového charakteru. Z tohto dôvodu nie je nutné uskutočňovať novú validáciu a testovanie mechanických vlastností danej súčasti, a je teda možné skonštatovať, že cieľ projektu je splnený.

## **Záver**

Podrobnou analýzou výrobného procesu výložníka bagra sa podarilo dosiahnuť značnú časovú úsporu z celkovej doby potrebnej na výrobu jedného kusu. Optimalizovaný bol proces manipulácie so zvarcom vykonávaný operátorom a taktiež zvárací proces realizovaný dvojicou zváracích robotov. Pri oboch procesoch bola dosiahnutá časová úspora zjednodušením práce, zmenou podmienok na pracovisku alebo prehodnotením určitých pracovných činností robota. Ušetrený čas na celom výrobnom procese výložníka činí zaokrúhlene 2,5 minúty, čím sa podarilo znížiť výrobný čas jedného kusu na 16,7 minúty. Táto skutočnosť znamená, že počas jednej 8 hodinovej zmeny, je možné vyrobiť o dva kusy výložníkov viac. Spoločnosť Doosan Bobcat s.r.o. prevádzkuje trojzmennú výrobu a za týchto podmienok znamená implementácia optimalizovaného procesu fakt, že podnik môže vyrobiť ročne o 1440 kusov výložníkov viac. Táto zmena prinesie značné zvýšenie produktivity podniku a taktiež ušetrí výrobné náklady, keďže v dnešnej dobe platí v plnej miere tvrdenie, že čas sa rovná peniazom.

## Zoznam použitých zdrojov

- [1] KUBÍČEK, Jaroslav a kolektiv. *TECHNOLOGIE SVAŘOVÁNÍ A ZAŘÍZENÍ: Učební texty pro mezinárodní/evropské svářečské inženýry a technology (I/EWE, I/EWT)*. Brno, 2016. Učební materiály pro českou svářečskou společnost ANB. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Odbor svařování – ATB 2.
- [2] Yaskawa [online]. Arc welding. Katalog výrobků. ©2015. [cit. 2018-08-07]. Dostupné z: <https://www.motoman.com/industrial-robots/ma2010>
- [3] Tutorials for RobotStudio. *Tutorials for RobotStudio: The world's most used offline programming tool for robotics* [online]. Auburn Hills: ABB, 2008 [cit. 2018-08-07]. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/robotstudio/tutorials>
- [4] MIKULA, Martin. *Porovnání technologie MIG pájení a MAG svařování*. Praha, 2016. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze. Vedoucí práce Ladislav Kolařík.
- [5] *Zváranie MIG/MAG* [online]. Dostupné z: [http://www.fronius.com/cps/rde/xchg/SID-0BD50127-861227B7/fronius\\_slovensko/hs.xsl/29\\_3916.htm#.VpbL9cbhDIW](http://www.fronius.com/cps/rde/xchg/SID-0BD50127-861227B7/fronius_slovensko/hs.xsl/29_3916.htm#.VpbL9cbhDIW)
- [6] *Značení metod svařování pro WPS* [online]. [cit. 2016-01-13]. Dostupné z: <http://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cislocianku=2006071101>
- [7] *Princíp metody MIG/MAG zvarania* [online]. [cit. 2016-01-13]. Dostupné z: [http://www.airliquide.sk/file/otherelement/pj/mig\\_mag59676.pdf](http://www.airliquide.sk/file/otherelement/pj/mig_mag59676.pdf)
- [8] *Arc welding robots MIG/MAG* [online]. [cit. 2016-01-13]. Dostupné z: <http://www.eurobots.net/arc-welding-robots-mig-mag-subc-8-en.html>
- [9] *Zváranie MAG* [online]. [cit. 2016-01-13]. Dostupné z: <http://www.zvaranie.eu/metoda-zvarania-mag/>
- [10] *MAG zvaranie pozinkovaných plechov v ochrannom plyne CO2 a Ar + 18% CO2* [online]. Dostupné z: <http://www.konstrukce.cz/clanek/mag-zvaranie-pozinkovanych-plechov-v-ochrannom-plyne-co2-a-ar-18-co2/>
- [11] VIŇÁŠ, Ján. Volba prídavných materiálov pre zvaranie v ochrannej atmosférah plynov. *Transfer inovácií*. Bratislava, Slovensko, 2003, 5(6), 5.
- [12] Pořizování videozáznamů. Doosan Bobcat, 2017. M&TM Data 10/2017.
- [13] KARBUSOVÁ, Marie. *Moderní metody průmyslového inženýrství: Od metod normování práce k optimalizaci procesů*. Praha, 2017. Učební materiály. České vysoké učení technické, Fakulta strojní.
- [14] RUANO, Fernando. *MTM – 2: Methods Time Measurement – Introduction course*. ISC Methodology. Vigo, 2009.
- [15] RUANO, Fernando. *Time Estimation: Industrial Organization*. ISC Methodology. Vigo, 2009.
- [16] DLABAČ, Jaroslav. Štíhlá výroba - používané metody a nástroje. *Academy of Productivity and Innovations* [online]. Slaný: API, 2015 [cit. 2018-08-07]. Dostupné z: <http://www.e-api.cz/25786n-stihla-vyroba-pouzivane-metody-a-nastroje>

- [17] JIRÁSEK, Jaroslav. *Štíhlá výroba*. Praha 1: Grada Publishing, spol., 1998. ISBN 80 - 7169 - 394 - 4.
- [18] Štíhla výroba [online]. Indevagroup s.r.o., 2017 [cit. 2018-08-07]. Dostupné z: <http://www.indevagroup.cz/stihla-vyroba/>
- [19] 3M [online]. inSophy s.r.o., 2018 [cit. 2018-08-07]. Dostupné z: <http://www.plantune.cz/slovník/3m/>
- [20] Kaizen Muda Mura Muri template for PowerPoint [online]. SlideModel corp., 2018 [cit. 2018-08-07]. Dostupné z: <https://slidemodel.com/templates/kaizen-muda-mura-muri-template-powerpoint/>
- [21] Kanban [online]. inSophy s.r.o., 2018 [cit. 2018-08-07]. Dostupné z: <http://www.plantune.cz/slovník/3m/>
- [22] Kanban (Pull systems – Systémy tahu) [online]. Kaizen institute s.r.o., 2017 [cit. 2018-08-07]. Dostupné z: <https://cz.kaizen.com/slovník/kanban.html>
- [23] KUČERÁK, Dušan. Kanban. In: IPA Slovník [online]. IPA Czech, 2007. [cit. 2018-08-07]. Dostupné z: <https://www.ipaczech.cz/cz/ipa-slovník/kanban>
- [24] KRIŠŤAK, Jozef. Teória obmedzení. In: IPA Slovník [online]. IPA Slovakia, 2017. [cit. 2018-08-07]. Dostupné z: <https://www.ipaslovakia.sk/sk/ipa-slovník/teoria-obmedzeni>
- [25] KRIŠŤAK, Jozef. TOC. In: IPA Slovník [online]. IPA Czech, 2012. [cit. 2018-08-07]. Dostupné z: <https://www.ipaczech.cz/cz/ipa-slovník/toc>
- [26] O teorii omezení [online]. Goldratt CZ., 2015 [cit. 2018-08-07]. Dostupné z: <http://www.goldratt.cz/teorie-omezeni/o-teorii-omezeni>
- [27] SMED [online]. IPA Czech., 2016 [cit. 2018-08-07]. Dostupné z: <https://www.ipaczech.cz/cz/tipy-a-triky/smed-single-minute-exchange-of-dies-cz>
- [28] SMED [online]. CIE – group CZ., 2018 [cit. 2018-08-07]. Dostupné z: <http://www.cie-group.cz/lexikon-metod-pi/metody/smed/>
- [29] KRIŠŤAK, Jozef. Kapacitné výpočty – stanovenie výrobnjej kapacity. In: IPA Slovník [online]. IPA Slovakia, 2017. [cit. 2018-08-07]. Dostupné z: <https://www.ipaslovakia.sk/sk/ipa-slovník/kapacita-stanovenie-vyrobnjej-kapacity>
- [30] Kapacitné výpočty pre výrobu [online]. Projektovanie výroby SK., 2009 [cit. 2018-08-07]. Dostupné z: <http://www.projektovanievyroby.info/15-kapacitne-vypocty-pre-vyrobu/>

- [31] FRINTA, Jan. *Kapacitní propočty, časové fondy, příklady výpočtu pro projektování*. Liberec, 2012. Učební materiály. Technická univerzita v Liberci.
- [32] Material Standards, MS252. Doosan Bobcat, 2017. Materiálový list Bobcat 5/2017.
- [33] British Steel [online]. Declaration of performance. Katalog výrobků. ©2018. [cit. 2018-08-07]. Dostupné z: <https://britishsteel.co.uk/media/165885/s235j2.pdf>
- [34] Material Standards, MS258. Doosan Bobcat, 2009. Materiálový list Bobcat 6/2009.
- [35] Material Standards, MS27. Doosan Bobcat, 2003. Materiálový list Bobcat 10/2003.
- [36] Linde [online]. Technické plyny. Katalog produktů. ©2018. [cit. 2018-08-07]. Dostupné z: [http://www.linde-gas.cz/cs/produkty\\_and\\_zasobovani/shielding\\_gases/corgon\\_10.html](http://www.linde-gas.cz/cs/produkty_and_zasobovani/shielding_gases/corgon_10.html)
- [37] Kowax [online]. Svařovací drát G4Si1. Katalog produktů. ©2018. [cit. 2018-08-07]. Dostupné z: [https://www.dolezal-pe.cz/data/cf0/000090\\_000050.pdf](https://www.dolezal-pe.cz/data/cf0/000090_000050.pdf)
- [38] Sidergas [online]. Sidergas S7. Katalog výrobků. ©2018. [cit. 2018-08-07]. Dostupné z: [http://sidergas.se/wp-content/blogs.dir/1/files\\_mf/1504777471SIDERGASS7withparameters.pdf](http://sidergas.se/wp-content/blogs.dir/1/files_mf/1504777471SIDERGASS7withparameters.pdf)
- [39] Svařování metodou MAG 135 [online]. Ostroj., 2018 [cit. 2018-08-07]. Dostupné z: <http://www.ostroj.cz/svarovani-metodou-mag-135>
- [40] MIG/MAG (CO2) [online]. Automig ., 2018 [cit. 2018-08-07]. Dostupné z: <http://automig.cz/o-svarovani/metody/migmag-co2/>
- [41] Svařování tavící se elektrodou v ochranné atmosféře MIG/MAG [online]. Centrum odborné přípravy technické ., 2016 [cit. 2018-08-07]. Dostupné z: <https://coptkm.cz/portal/reposit. php?action=0&id=33457&revision=-1&instance=2>
- [42] ČSN EN ISO 14175. Praha: Úřad pro technickou normalizaci metrologii a státní zkušebnictví, 2009.



## Zoznam obrázkov

Obr. 1 – Pracovný priestor robota Yaskawa MA2010. [2] .....	14
Obr. 2 – Svetelná signalizácia na pracovisku. ....	16
Obr. 3 – Off – line SW pre programovanie zváracích robotov ABB RobotStudio. [3] .....	21
Obr. 4 – Schéma zapojenia zváracieho systému pre metódu MAG zváranie [4,8] .....	24
Obr. 5 – Schéma procesu zvárania MAG. [4,9].....	24
Obr. 6 – Pásma prenosu kovu, závislosť I a U. [40].....	25
Obr. 7 – Vybavenie na tvorbu videozáznamov. ....	28
Obr. 8 – Hlavné úlohy analýzy výrobných procesov. [12] .....	29
Obr. 9 – Príklad výsledku uľahčenia práce operátorovi pomocou analýzy DGI. [12].....	30
Obr. 10 – Juranova špirála jakosti. [13].....	33
Obr. 11 – Nástrojom používaným na meranie času činností vo výrobe sú stopky. [15].....	37
Obr. 12 – Schéma pôsobenia faktorov, ktoré majú vplyv na pracovný výkon človeka. [13] .....	38
Obr. 13 – Rozdelenie výrobného cyklu na jednotlivé časy. ....	40
Obr. 15 – Schematické znázornenie pohybu G (uchopiť) a pohybu P (premiestniť). [14].....	43
Obr. 16 – Uchopenie. [14].....	44
Obr. 17 – Premiestnenie. [14].....	45
Obr. 18 – Tabuľka náročnosti jednotlivých typov pohybov. [14] .....	46
Obr. 19 – Prechytenie. [14] .....	47
Obr. 20 – Použitie sily. [14] .....	47
Obr. 21 – Sledovanie očami. [14].....	48
Obr. 22 – Použitie chodidla. [14] .....	48
Obr. 23 – Pohyb pomocou krokov. [14] .....	49
Obr. 24 – Zohnutie a následne vystretie sa. [14] .....	49
Obr. 25 – Krúživý pohyb rukou. [14].....	50
Obr. 26 – Jednoduché znázornenie typov plytvania. [20] .....	53
Obr. 27 – Kanban kartičky na manipulačných vozíkoch so zvarcami. ....	54
Obr. 28 – Obrázne znázornenie teórie obmedzenia. [25] .....	56
Obr. 29 – Schéma činnosti pri pretypovaní výrobného zariadenia. [27] .....	57
Obr. 30 – Analýza pretypovania stroja. ....	58
Obr. 31 – Výrobná linka so zváracími pracoviskami. ....	61
Obr. 32 – Rozperné valce s poistnými kolíkmi. ....	62
Obr. 33 – Pracovisko pre nastehovanie zvarca. ....	62
Obr. 34 – Použitý typ prípravku. ....	63
Obr. 35 – Pohľad na automatizovanú robotickú bunku. ....	63
Obr. 36 – Pracovisko pre obrúsenie hrán a očistenie zvarca od rozstreku. ....	64
Obr. 37 – Pohľad na celkové vybavenie zváracieho pracoviska. ....	65
Obr. 38 – Dvojica zváracích robotov Yaskawa MA2010. ....	66
Obr. 39 – Zvárací zdroj so stanicou na čistenie horáka. ....	66
Obr. 40 – Zvarenc upnutý v prípravku. ....	67
Obr. 41 - 3D model zvarca, pre ktorý bol optimalizovaný výrobný proces. ....	67
Obr. 42 – Použitie jednotlivých materiálov znázornené na 3D modeli zvarca. ....	68
Obr. 43 – Odliatok privarený ku zvarcu. ....	69
Obr. 44 – Časový plán zváracieho procesu pred optimalizáciou. ....	75
Obr. 45 – Časový plán po eliminovaní zbytočných pohybov. ....	77
Obr. 46 – Znáznornenie pôvodného zváracieho posupu, pri zvere s trajektóriou v tvare oblúku. ....	78
Obr. 47 – Znáznornenie optimalizovaného zváracieho postupu so zapojením oboch robotov. ....	78
Obr. 48 – Časový plán po preskladaní pohybov robotov. ....	79
Obr. 49 – Pôvodná poloha manipulačného vozíka pohybujúceho sa vo výrobnej linke. ....	81
Obr. 50 – Zmenená poloha manipulačného vozíka, umiestnenie vedľa pracovného stola s nástrojmi. ....	82

## Zoznam tabuliek

Tab. 1 – Hlavné skupiny ochranných plynov podľa normy ČSN EN ISO 14175. [42].....	26
Tab. 2 – Značenie jednotlivých ochranných plynov podľa normy ČSN EN ISO 14175 [42] .....	27
Tab. 3 – Kľúčové hodnoty TMU jednotiek a ich prevod na sekundy [15] .....	41
Tab. 4 – Princípy zaisťujúce štihlosť/hybnosť výroby. [17] .....	51
Tab. 5 – Chemické zloženie materiálu MS252. [33] .....	68
Tab. 6 – Mechanické vlastnosti materiálu MS252. [33] .....	68
Tab. 7 – Chemické zloženie materiálu MS258. [34] .....	69
Tab. 8 – Mechanické vlastnosti materiálu MS258. [34] .....	69
Tab. 9 – Chemické zloženie materiálu MS27. [35] .....	70
Tab. 10 – Mechanické vlastnosti materiálu MS27. [35] .....	70
Tab. 11 – Vlastnosti drôtu prídavného materiálu G <sub>4</sub> Si <sub>1</sub> .....	71
Tab. 12 – Rozdelenie výrobného procesu na logické časti. ....	72
Tab. 13 – Hodnoty výsledných aktivít jednotlivých sekvencií zakladania zvarenca do prípravku.....	72
Tab. 14 – Výsledky optimalizácie zakladania zvarenca do prípravku. ....	73
Tab. 15 – Legenda s vysvetlením jednotlivých farieb v nasledujúcich časových plánoch. ....	74
Tab. 16 – Výsledok časovej úspory po skrátaní prejazdov a eliminácií prestojov.....	77
Tab. 17 – Výsledok časovej úspory dosiahnutej zosúladením pohybov dvojice robotov.....	79
Tab. 18 – Výsledné hodnoty zvaracieho procesu po optimalizácií. ....	80
Tab. 19 – Hodnoty výsledných aktivít jednotlivých sekvencií vykladania zvarenca do prípravku. ....	80
Tab. 20 – Výsledky optimalizácie vykladania zvarenca z prípravku.....	82
Tab. 21 – Prehľad jednotlivých časov sekvencií označených ako DISCARD.....	83
Tab. 22 – Prehľad dosiahnutých časov. ....	83
Tab. 23 – Prehľad ušetrených časov pri jednotlivých logických častiach výrobného procesu .....	84
Tab. 24 – Výsledky celkovej optimalizácie .....	84

