

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

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

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Návrh na úpravu výrobní linky

Autor: **Bc. Jan Volf**

Vedoucí práce: **Doc. Ing. Michal Šimon Ph.D.**

Akademický rok 2023/2024

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2023/2024

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Jan VOLF**
Osobní číslo: **S22N0066P**
Studijní program: **N0715A270012 Průmyslové inženýrství a management**
Téma práce: **Návrh na úpravu výrobní linky**
Zadávací katedra: **Katedra průmyslového inženýrství a managementu**

Zásady pro vypracování

1. Produktivita pracoviště
2. Prostorové řešení a ergonomie ve výrobě
3. Analýza současného stavu
4. Návrh na zlepšení
5. Ekonomické a technické zhodnocení

Rozsah diplomové práce: **60 až 70 stran**
Rozsah grafických prací: **-**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. JUROVÁ, Marie. Výrobní a logistické procesy v podnikání. Expert (Grada). Praha: Grada Publishing, 2016. ISBN 978-80-247-5717-9.
2. CHLEBNÝ, Jan a kol. Automatizace a automatizační technika: Prostředky automatizační techniky. Brno: Computer Press, 2014. ISBN 978-80-251-3747-5.
3. KOLÍBAL, Zdeněk. Roboty a robotizované výrobní technologie. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5.
4. Industry 4.0 Technologies, Applications, a Challenges. Singapore: Springer Verlag, Singapore, 2022. ISBN 9789811920110.
5. SHORROCK, Steven, WILLIAMS, Claire. Human Factors and Ergonomics in Practice: Improving System Performance and Human Well-Being in the Real World. CRC Press, 2017. 456 s. ISBN 9781472439253

Vedoucí diplomové práce: **Doc. Ing. Michal Šimon, Ph.D.**
Katedra průmyslového inženýrství a managementu

Konzultant diplomové práce: **Ing. Štěpán Varga**
JTEKT Czech Republic s.r.o.

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

L.S.

Doc. Ing. Vladimír Duchek, Ph.D.
děkan

Doc. Ing. Michal Šimon, Ph.D.
vedoucí katedry

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

V Plzni dne:

.....

podpis autora

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ (BAKALÁŘSKÉ) PRÁCE

AUTOR	Příjmení Volf	Jméno Jan
STUDIJNÍ OBOR	Průmyslové inženýrství a management	
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Doc. Ing. Šimon Ph.D.	Jméno Michal
PRACOVISŤE	ZČU - FST - KPV	
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Návrh na úpravu výrobní linky	

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

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	77	TEXTOVÁ ČÁST	65	GRAFICKÁ ČÁST	12
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

STRUČNÝ POPIS	Diplomová práce se zabývá analýzou a racionalizací práce na výrobní lince ve společnosti JTEKT Czech Republic s.r.o. První část práce obsahuje teoretický základ dané problematiky. V praktické části práce byla provedena analýza výchozího stavu výrobní linky a vyhodnocení získaných dat. Pro zjištění nedostatků byly navrženy nápravná opatření, které byly ověřeny a zhodnoceny.
KLÍČOVÁ SLOVA	Racionalizace práce, ergonomie, časová analýza, výrobní linka

SUMMARY OF DIPLOMA (BACHELOR) SHEET

AUTHOR	Surname Volf	Name Jan	
FIELD OF STUDY	Industrial Engineering and Management		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Doc. Ing. Šimon Ph.D.	Name Michal	
INSTITUTION	ZČU - FST - KPV		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Proposal for modification of a production line		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Industrial Engineering and Management	SUBMITTED IN	2024
----------------	------------------------	-------------------	---------------------------------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	77	TEXT PART	65	GRAPHICAL PART	12
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION	The thesis deals with the analysis and rationalization of work on the production line in JTEKT Czech Republic s.r.o. The first part of the thesis contains the theoretical basis of the issue. In the practical part of the thesis, the analysis of the initial state of the production line and the evaluation of the obtained data was carried out. Corrective measures were proposed for the identified deficiencies, which were verified and evaluated.
KEY WORDS	Rationalization of work, ergonomics, time analysis, production line

Obsah

Přehled použitých symbolů a zkratk.....	9
Seznam tabulek	10
Seznam obrázků	10
Seznam příloh.....	11
Úvod.....	12
1 Racionalizace práce.....	13
1.1 Ergonomie	13
1.2 Štíhlá výroba.....	14
1.2.1 Poka-Yoke	15
1.2.2 Just-in-time.....	15
1.3 Montážní linka s taktovým výrobním systémem.....	16
1.3.1 Výrobní cyklus a výrobní takt.....	17
1.3.2 Multi-strojová obsluha	17
1.3.3 Bottle Neck.....	17
2 Metody měření a určování časů	19
2.1 Chronometráž	19
2.2 MTM analýza	20
2.3 MOST	21
3 Ergonomické analýzy	22
3.1 Hodnocení pracovních poloh podle Nařízení vlády 361/2007 Sb.....	22
3.2 Softwarová podpora ergonomické analýzy	22
4 Představení společnosti	24
4.1 Představení výrobní linky.....	26
4.2 Prostorové uspořádání linky EPS3 Modul.....	29
4.3 Popis jednotlivých strojů	31
5 Časová analýza výrobních pozic linky	39
6 Návrh opatření výrobní linky	49
6.1 Změna prostorového uspořádání výrobních pozic OP580 a OP600.....	49
6.2 Změna ergonomie pracoviště OP580	52
6.3 Změna NC programu stroje OP560	58
6.4 Optimalizace výrobních cyklů operátorů	60
7 Shrnutí navržených opatření	64
Závěr.....	66
Seznam použité literatury	67
Příloha č. 1.....	68
Příloha č. 2.....	71

Příloha č. 3.....	75
Příloha č. 4.....	78
Příloha č. 5.....	81

Přehled použitých symbolů a zkratek

ZČU	Západočeská univerzita v Plzni
FST	Fakulta strojní
NV	Nářízení vlády
Sb.	Sbírky
JIT	Just in time
MTM	Methods Time Measurement
TMU	Time Measurement Units
MOST	Maynard Operation Sequence Technigue
CAD	Computer-aided design
NV	Nářízení vlády

Seznam tabulek

Tabulka 2.1 Převodové poměry TMU.....	20
Tabulka 2.2 Modelové sledy Basic-MOST [17]	21
Tabulka 5.1 Výsledky časové analýzy části linky.....	47
Tabulka 5.2 Časy cyklů operátorů.....	47
Tabulka 6.1 MTM analýza pracoviště OP600 po 1. opatření	50
Tabulka 6.2 Výsledky ergonomické analýzy pro výchozí stav pracoviště OP580	53
Tabulka 6.3 Porovnání výsledků ergonomické analýzy pracoviště OP580	55
Tabulka 6.4 MTM analýza pracoviště OP580	55
Tabulka 6.5 Výsledky MTM analýz operátorů části linky.....	62

Seznam obrázků

Obrázek 1.1: Racionalizace práce	13
Obrázek 2.1: Příklad Simmogramu [15]	20
Obrázek 3.1 Tecnomatix Jack [19]	23
Obrázek 4.1: Logo společnosti JTEK Czech Republic s.r.o. [14]	24
Obrázek 4.2: Manuální řízení [14]	24
Obrázek 4.3: Řízení s elektrickým sloupkovým posilovačem [14]	25
Obrázek 4.4: Řízení s elektrickým pastorkovým posilovačem [14]	25
Obrázek 4.5: Řízení s dvojitým elektrickým pastorkovým posilovačem [14].....	26
Obrázek 4.6: Model modulu řízení [15].....	27
Obrázek 4.7: Model worm housingu [15].....	27
Obrázek 4.8: Model MCU [15].....	28
Obrázek 4.9: Model převodovky modulu [15].....	28
Obrázek 4.10: Prostorové uspořádání linky EPS3 Modul [15].....	29
Obrázek 4.11: Paletka dopravníku [15].....	30
Obrázek 4.12: Stroj OP116	31
Obrázek 4.13: Stroj OP210	32
Obrázek 4.14: Stroj OP220	33
Obrázek 4.15: Stroj OP230	34
Obrázek 4.16: Stroj OP560	35
Obrázek 4.17 Stroj OP570	36
Obrázek 4.18: Stroj OP580	37
Obrázek 4.19: Stroj OP600	38
Obrázek 5.1: Časová analýza stroje OP116	39
Obrázek 5.2: Časová analýza stroje OP210	40
Obrázek 5.3: Časová analýza stroje OP220	41
Obrázek 5.4: Časová analýza stroje OP230	42
Obrázek 5.5: Časová analýza stroje OP560	43
Obrázek 5.6: Časová analýza stroje OP570	44
Obrázek 5.7: Časová analýza stroje OP580	45
Obrázek 5.8: Časová analýza stroje OP600	46
Obrázek 5.9 Grafické znázornění cyklů operátorů.....	47
Obrázek 6.1 Přípravek pro lisování Breathing Capu OP580 [13].....	50
Obrázek 6.2 Simmogram OP600 po implementaci opatření.....	51
Obrázek 6.3 Výchozí uspořádání stroje OP580	52
Obrázek 6.4 Model výchozího stavu pracoviště OP580	53

Obrázek 6.5 Model upraveného stavu pracoviště OP580	54
Obrázek 6.6 Pracoviště OP580 po implementaci opatření.....	57
Obrázek 6.7 Simogram OP580 po implementaci opatření.....	58
Obrázek 6.8 Detailní simogram OP560	59
Obrázek 6.9 Výchozí poloha (vlevo) a pracovní poloha (vpravo) OP560.....	60
Obrázek 6.10 Výchozí rozmístění operátorů.....	61
Obrázek 6.11 Navrhované rozmístění operátorů.....	62

Seznam příloh

- Příloha č. 1: MTM Normativ
- Příloha č. 2: Limity NV 361/2007
- Příloha č. 3: MTM Analýza operátora č. 4
- Příloha č. 4: MTM Analýza operátora č. 5
- Příloha č. 5: MTM Analýza operátora č. 6

Úvod

V dnešní konkurenceschopné a rychle rozvíjející se globální ekonomice je pro prosperitu výrobních firem klíčové neustálé zkvalitňování a zefektivňování výrobních procesů. Jedním z efektivních nástrojů, jak dosáhnout těchto cílů, je **racionalizace práce**. Analýza a racionalizace výrobního procesu je nedílnou součástí práce průmyslového inženýra díky rostoucímu objemu výroby společností s důrazem na eliminaci plýtvání a maximální využití výrobního potenciálu.

Tato diplomová práce s názvem „Návrh na úpravu výrobní linky“ se zabývá analýzou stávajícího stavu výrobní linky ve společnosti JTEKT Czech Republic s.r.o., vyhodnocením získaných dat a poznatků, na základě kterých jsou navržena opatření s cílem zvýšení efektivity a produktivity linky. Tato opatření jsou následně důkladně prověřena a zhodnocena.

Práce je celkem rozdělena do sedmi kapitol, které pokrývají teoretické i praktické aspekty racionalizace práce a návrhu na úpravu výrobní linky.

První kapitola přibližuje problematiku racionalizace práce, jako je filozofie a principy štíhlé výroby pro eliminaci plýtvání a základní pojmy z oblasti ergonomie. Dále seznamuje s montážní linkou s taktovým výrobním systémem včetně multi-strojové výroby a bottle necku. Kapitola metody měření a určování času popisuje jednotlivé metody k získání časových údajů o výrobním systému a k normování práce. Mezi tyto metody patří tradiční chronometráž, která je založena na použití stopek a dvě metody předem stanovených časů – MTM a MOST. Třetí kapitola popisuje princip ergonomické analýzy s využitím softwarové podpory a hodnocením pracovních poloh dle NV 361/2007 Sb. Metody měření časů a ergonomické analýzy jsou použity v praktické části diplomové práce. Následná čtvrtá kapitola obsahuje představení společnosti, ve které byla tato práce vykonána a její výrobní portfolio. Dále tato kapitola obsahuje detailní představení přiřazené výrobní linky, včetně prostorového uspořádání a popisu jednotlivých výrobních pozic a strojů. Pátá kapitola obsahuje důkladnou časovou analýzu přiřazené výrobní linky, která byla provedena s využitím metody měření času chronometráže, se zapsáním získaných dat do předem připraveného formuláře Simmogramu a identifikací kritických bodů linky. Kapitola je zakončena zjištěnými nedostatky, které byly během pozorování zjištěny. V předposlední šesté kapitole jsou detailně popsány navrhované opatření k racionalizaci linky. Tyto opatření obsahují změny v prostorovém uspořádání linky, implementace principů štíhlé výroby a poznatků z oblasti ergonomie. Opatření byly detailně rozebrány, přezkoumány a zhodnoceny jejich přínosy pro společnost. Poslední kapitola obsahuje shrnutí a vyhodnocení přínosů navrhovaných opatření.

1 Racionalizace práce

Racionalizaci práce lze chápat, jako souhrn procesů neustálého zdokonalování výrobního systému. Pro zajištění konkurenceschopnosti společnosti, je racionalizace práce klíčovým prvkem s cílem neustálého zvyšování produktivity práce, maximalizování ekonomických výsledků a zefektivňování svých výrobních a podnikových systémů.

Mezi základní nástroje racionalizace práce patří:

- Ergonomie pracovního místa a uspořádání pracoviště
- Technické úpravy pracoviště, jeho vybavení, přípravků atp.
- Úprava a optimalizace technologičnosti vyráběného produktu
- Optimalizace pracovních postupů a operací

Základním postupem pro racionalizaci pracovního systému je analýza a posouzení současného stavu zkoumaného pracovního systému. Ze získaných poznatků navrhnouti vhodných racionalizačních opatření s následnou implementací do reálného provozu. Po úspěšné realizaci následuje analýza a zhodnocení přínosů racionalizačních opatření.

Cílem racionalizace práce je zvýšení produktivity práce efektivnějším využitím času a použitých zdrojů, dále vede ke snížení nákladů eliminací plýtvání lidskými a hmotnými zdroji. Ergonomickým pracovním prostředím kladně přispívá ke spokojenosti a motivaci svých zaměstnanců. To vše vede ke zvýšení konkurenceschopnosti firmy a vytváří efektivní výrobní systém, který dává společnosti značnou konkurenční výhodu na trhu. Racionalizací výrobního systému lze tedy eliminovat například výrobní nadprodukcii, zbytečnou manipulaci a skladování, čekání na potřebný materiál, komplikovanou přepravu, nebo hledání nástrojů, poruchy strojů, opotřeбенé nástroje atp.

Úspěšné použití racionalizačních metod vede k rentabilitě a výraznému zlepšení hospodárnosti výrobního systému napříč celou společností. Hranice zlepšování výrobního systému jsou těžko stanovitelné, jelikož se jedná o proces neustálého zlepšování.

[1]



Obrázek 1.1: Racionalizace práce

1.1 Ergonomie

Pojem ergonomie, z anglického slova „Ergonomics“, vznikl ze spojení dvou řeckých slov ergon (práce) a nomos (zákon). Jedná se o obor, který se zabývá optimalizací působení techniky a prostředí na člověka. Cílem ergonomie je vytvoření zdravého a efektivního prostředí s cílem předcházet úrazům, poraněním a dalším zdravotním problémům pracovníků. Mimo zamezení škodlivého působení vykonávaných činností na zdraví člověka, se také

zaměřuje na celkové zefektivnění pracovního výkonu. Díky neustálému rozvoji techniky, příchodu nových strojů a technologií, může docházet k nežádoucímu přetěžování člověka, poklesu efektivnosti práce či k úplnému selhání celého výrobního systému. Přetížení člověka může vést ke ztrátě pozornosti, vyčerpání, nebo dokonce k pracovním úrazům nebo nemocí z povolání. Z toho důvodu vznikl obor ergonomie, který se tímto závažným a nepříznivým faktorům věnuje, s cílem o úplnou eliminaci.

V dnešní době existuje stále více definicí a formulací ergonomie. Mezi starší formulace patří: „Ergonomics = making work human“, což v předkladu znamená: „Ergonomie – polidštění práce“, nebo definice Lubora Chundely z roku 1981: „Ergonomie je interdisciplinární systémový vědní obor, který komplexně řeší činnosti člověka i jeho vazby s technikou a prostředím, s cílem optimalizovat jeho psychofyzickou zátěž a zajistit rozvoj jeho osobnosti.“

Oficiální definice ergonomie, která byla přijata Mezinárodní Ergonomickou Asociací (IEA) v roce 2001 zní: „Ergonomie je vědecká disciplína, optimalizující interakci mezi člověkem a dalšími prvky systému a využívající teorii, poznatky, principy, data a metody k optimalizaci.“

[2][3]

1.2 Štíhlá výroba

V konkurenceschopném moderním podniku je štíhlá výroba hlavní strategií a metodou řízení výroby, která se zaměřuje na zamezení zbytečného plýtvání, zvýšení efektivnosti celého výrobního systému a předání zákazníkovi co největší hodnoty. Hlavním principem této metody je nalézt a odstranit všechny operace, procesy a činnosti, které výrobku nepřidávají hodnotu, tedy nalézt plýtvání jednak materiálem, ale také lidskou silou. Odstraněním nebo optimalizací těchto výrobních procesů či činností se zkracuje doba výroby a snižují se náklady.

Štíhlá výroba kategorizuje následujících 7 druhů plýtvání:

Přeprava (Transport) – Tento druh plýtvání zahrnuje zbytečné pohyby materiálu, polotovarů, ale i pohyby hotových výrobků. Jednak se zvyšují náklady na logistiku, ale také se zvyšuje riziko poškození či ztráty.

Skladování (Inventory) – Nadměrné skladování zásob materiálu, hotových výrobků, ale také rozpracované výroby způsobují nadměrné náklady na skladování a plýtvání místem, které by mohlo být použito například k rozšíření výroby.

Čekání (Waiting) – Čekání je hlavním faktorem, který snižuje efektivitu výrobního procesu. Může se jednat jednak o čekání pracovníka, ale také stroje, který nemá potřebný materiál nebo obsluhu.

Nadprodukce (Overproduction) – Výroba více výrobků, než je poptávka trhu či zákazníka je úzce spojena se zbytečným skladováním. Proto je potřeba určit potřebné množství výrobků do zásoby, která by mohla být použita například při výpadku výroby, údržbě výrobního systému, nebo při zavádění vylepšení výrobní linky.

Přepřepování (Rework) – Tento druh plýtvání vzniká při vzniku chyb, nedokonalostí, nebo nedostatečné kvalitě výrobků, které musejí být následně opraveny nebo dohotoveny. Dochází ke ztrátě času, materiálu a tím i efektivnosti výrobní linky.

Zbytečné pohyby (Motion) – Nepotřebné pohyby zvyšují únavu pracovníků, snižují produktivitu a plýtvají časovým fondem lidské práce. Mezi zbytečné pohyby patří vzdálená chůze pro nástroje, materiál nebo jejich hledání.

Nepotřebné procesy (Overprocessing) – Plýtvání nepotřebnými operacemi je charakterizováno jako provádění operací, které zákazníkovi nepřidávají žádnou hodnotu, ale jsou do výrobního procesu začleňovány kvůli řízení výroby či hlídání nedostatků při výrobě jako je testování, kontrolování nebo měření. Mezi nepotřebné procesy také patří nepřesné či nadměrné zpracování, které je způsobeno špatně zvoleným technologickým postupem, konstrukčním řešením, nebo opotřebeným nářadím a nástroji.

Základním cílem štíhlé výroby je eliminace všech těchto druhů plýtvání. Odstraněním roste produktivita, kvalita vyráběných výrobků, efektivita výroby a výrazně se snižují náklady. Všechny tyto aspekty vedou také ke konkurenceschopnějšímu postavení společnosti na trhu, rychlejšímu reagování na změny trhu a k lepšímu upokojení potřeb zákazníka.

[4]

1.2.1 Poka-Yoke

Metoda Poka-Yoke je důležitým nástrojem štíhlé výroby v moderním výrobním systému. Pochází z Japonska, kde ji v 60. letech 20. století představil japonský inženýr Shigeo Shingo z Toyota Productin Systém. V překladu z japonštiny Poka-Yoke znamená zabránění proti chybě. Tento systém využívá různé techniky k zamezení výskytu lidské chyby ve výrobním systému a tím snižuje náklady spojené s remakingem (opravami) a zároveň zvyšuje kvalitu koncového výrobku. Mezi tyto techniky patří:

Fyzické zamezení provedení chyby – použití designu, který zabraňuje provedení nesprávného postupu, nebo vykonání operace libovolně, avšak vždy se správným výsledkem.

Standardizované výrobní postupy – Vytvoření standardizovaných postupů snižuje riziko výskytu lidských chyb, avšak těmto chybám fyzicky nezabraňuje. Operátor dostává předepsané pokyny a pravidla, kterými by se měl řídit, aby byl výrobní postup správně proveden.

Detektory chyb a automatická kontrola – Poka yoke využívá zařízení, které detekují chyby ihned po vzniku a tím zabraňují šíření chyby do následné výrobní fáze. Může se jednat například o kamery a snímače přítomnosti dílu, či správné pozice montované součástky.

Vizuální signalizace – použitím vizuálních signalizací dostává operátor větší kontrolu nad provedeným výrobním procesem a pomáhá indikovat která fáze výrobní operace nebyla provedena, nebo byla provedena špatně.

Kontrolní prvek – jedná se o nástroj, nebo zařízení, které slouží k ověření správného provedení výrobního kroku a je často spojen s vizuální signalizací.

[5][6]

1.2.2 Just-in-time

Zásobovací metoda Just in Time (JIT) představuje dodávku materiálů a jednotlivých komponent přesně včas, kdy jsou ve výrobním systému potřeba. Tato metoda byla vyvinuta v japonském automobilovém průmyslu a nyní představuje klíčový prvek moderního řízení zásob a zaskladňování výroby. JIT efektivně optimalizuje využití zásobování a minimalizuje plýtvání. Mezi jeho základní principy patří:

Zásobování přesně včas – Hlavní vlastností metody Just in Time je zajištění materiálu na výrobní lince jen tehdy, kdy je potřeba.

Snížení skladových zásob – Výsledkem dodávání jen toho množství, které je právě potřeba, je minimalizace skladování zásob na výrobní lince. Tím se snižuje riziko znehodnocení materiálu, jeho zestárnutí a také se minimalizuje prostor, který je potřeba pro skladování materiálu na pracovištích.

Flexibilita výroby – Velkým přínosem metody JIT je také rychlá reakce na změny výrobního programu. Díky nízkým zásobám a včasného dodávání materiálu na linky, lze rychle přizpůsobit výrobní dávku k aktuálním potřebám výrobního programu.

Výsledkem strategie JIT je odpovědné a efektivní využití zásob, které má kladný důsledek na celkovou efektivitu výrobní linky a přispívá ke konkurenceschopnosti společnosti v dnešním dynamickém světě.

[7]

1.3 Montážní linka s taktovým výrobním systémem

Společnost JTEKT Czech Republic s.r.o., ve které byla diplomová práce vykonána, využívá ve své výrobě montážních linek s taktovým výrobním systémem neboli taktované montážní linky. Tento způsob výroby zaručuje vysokou efektivitu a rychlost výrobního systému. Výrobní proces probíhá v harmonickém rytmu (taktu), jelikož výrobní operace či výrobní kroky jsou vykonávány v určitém časovém intervalu a bezprostředně na sebe navazují.

Hlavní cíle taktového výrobního systému jsou:

Efektivita – správná implementace taktované montážní linky zaručuje vysoké využití pracovní síly, snižuje plýtvání časem a zdroji, díky výrobním operacím s daným výrobním časem

Řízení a sledování – taktový výrobní systém je snadno sledovatelný, což je základním prvkem k řízení správného chodu linky

Hlídkání kvality – díky předem stanoveným výrobním operacím taktový výrobní systém umožňuje snadné hlídání kvality a případné nalezení příčiny vzniklých chyb

Snížení nákladů – správným plánováním výroby a její optimalizací lze snadno dojít k výraznému snížení nákladů na lidskou pracovní sílu a zvýšit vytíženost výrobních strojů

K zajištění správně fungující taktované montážní linky je potřeba dokonale znát výrobní proces a jeho jednotlivé operace, které je potřeba harmonizovat. Analýzou harmonizovaných výrobních operací je cílem správného stanovení taktu a jednoznačného určení výrobního cyklu. Dále je potřeba správně navrhnout prostorové uspořádání výrobní linky, aby se zajistil plynulý tok výrobku a materiálu, spolu se zabezpečením vhodných výrobních technologií a výrobního zařízení.

Dále je při implementaci taktové výroby potřeba dostatečně zaškolit operátory výroby, zavést vhodné monitorovací nástroje a řízení výroby v reálném čase. O řízení průběhu výroby v reálném čase, je potřeba pověřit mistra linky, který by měl být neustále přítomen a být schopný reagovat na případné chyby.

[8]

1.3.1 Výrobní cyklus a výrobní takt

Mnoho přírodních jevů, od střídání ročních období až po koloběh vody, se odehrává v cyklech. Stejně tak i výrobní procesy ve většině firem probíhají v cyklech, které se opakují a skládají se z jednotlivých operací. Pro efektivní fungování je klíčové znát průběh a délku jednotlivých cyklů. To zahrnuje pochopení délky a náročnosti jednotlivých operací, stejně jako celkového trvání výrobního cyklu. Výrobní cyklus a výrobní takt představují dva klíčové pojmy v oblasti průmyslové výroby a pro optimalizování k maximálnímu výkonu je potřeba tyto faktory monitorovat a analyzovat.

Výrobní cyklus je časový úsek potřebný k zhotovení jednoho výrobku od začátku až po konec. Výrobní proces se tedy skládá z opakovaných a bezprostředně na sebe navazujících cyklů. Jeho optimalizace zahrnuje snižování časů provádění jednotlivých operací, což v ideálním případě zvyšuje výrobní kapacitu a snižuje náklady výrobního systému.

Výrobní takt je čas mezi začátkem jednoho výrobního cyklu do začátku následujícího. Takt tedy určuje, jak často je daná výrobní operace dokončena. Správné nastavení výrobního taktu je velmi důležité pro dosažení minimálního plýtvání výrobním procesem a pro dosažení maximální efektivity. Příliš rychlý takt může vést ke snížení kvality výrobku, zatímco příliš pomalý takt vede k zbytečnému čekání strojů, zbytečnému skladování a prostojům pracovníků.

[9][10]

1.3.2 Multi-strojová obsluha

Multi-strojová obsluha neboli obsluha více strojů na lince jedním operátorem je důležitou disciplínou v průmyslovém inženýrství k dosažení co nejlepšího výrobního výkonu při optimálním využití lidských zdrojů a tím snížením nákladů na pracovní sílu. V praxi tedy musí být výrobní linka navržena tak, aby operátorovi bylo umožněno vykonávat ruční operace na jiném z obsluhovaných strojů, zatímco ostatní obsluhované stroje pracují. Výsledkem multi-strojové obsluhy je optimální vytížení všech výrobních strojů na lince s využitím s co nejmenšího počtu lidské síly. Možnost výpočtu normy obsluhy vícero strojů lze zejména pro linku s pravidelným cyklem a předem určeným sledem pracovních úkonů.

[11]

1.3.3 Bottle Neck

Ideální stav výrobní montážní linky nastane tehdy, pokud všechny články linky by měly stejný výkon (stejný takt) a proto je potřeba ve výrobním cyklu najít úzké místo neboli hrdlo.

Bottle Neck neboli úzké hrdlo, představuje bod výrobní linky nebo proces, který omezuje průtok výrobní linkou. Proto je potřeba úzká místa výrobního cyklu neustále analyzovat a efektivně optimalizovat, aby mohlo být dosaženo optimálního výrobního toku a maximální efektivity.

Existence úzkého místa má značný dopad na výrobní proces linky. Vede k čekání pracovišť před i za bodem výskytu, jelikož průtok výrobní linkou je omezen rychlostí úzkého hrdla. To vede ke celkovému snížení efektivity linky, k nevytížení pracovišť, nebo ke zvýšení nákladů na skladování. Příčinou může být špatné navržení výrobního cyklu nebo nerovnoměrné rozdělení práce, kde některé pracoviště výrobní linky jsou přetížené.

Efektivní řešení úzkého hrdla začíná důkladnou analýzou výrobního cyklu. Tato analýza zahrnuje sběr dat, kontrola správnosti provedení pracovních postupů, kontrola kapacit. Ke sběru dat slouží časové analýzy, které vedou k určení časové náročnosti vykonávaného

pracovního procesu daným pracovištěm. Po nalezení úzkého hrdla lze použít jedno z následujících opatření:

1. **Přidání výrobních kapacit** – přidáním dalšího stroje, operátora nebo technologie vede ke zvýšení výrobní kapacity a tím ke zlepšení průtoku.
2. **Optimalizace pracovního postupu** – optimalizace pracovního postupu vede ke snížení potřebného času na vykonání dané výrobní operace a tím zvyšuje efektivitu práce
3. **Inovace a modernizace linky** – implementace automatizace a moderních technologií vede ke zvýšení rychlosti, efektivity výrobního systému a zároveň ušetření lidské pracovní síly

[8][10]

2 Metody měření a určování časů

Pro analýzu a normování práce lze rozlišovat dva základní přístupy k měření a určování času práce. Zvolení vhodné metody je závislé na druhu práce, dostupných informacích a potřebné míře přesnosti. Měření času práce se dělí na **přímé měření** a **nepřímé měření**.

Přímé měření je založeno na principu pozorování vykonávané práce, měření pomocí stopek a zapisování do předem připravených formulářů. Tato metoda je poměrně časově náročná, avšak poskytuje skutečný pohled na vykonávanou práci s vysokou přesností. Mezi metody přímého měření patří nástroj chronometrů a snímek pracovního dne.

Nepřímé měření je založeno na systému předem určených časů. Slouží k rozboru jednotlivých úkonů na základní pohyby, ke kterým je na základě normových tabulek přiřazen index náročnosti práce a tím i odpovídající spotřeba času. Tento systém pracuje se stupněm výkonu pracovníka 100% a lze ho použít pro stanovení teoretické a budoucí operace. Tyto metody slouží k určení časové náročnosti práce operátora či stroje v před realizační době projektu nebo při změně již běžícího výrobního programu. Z tohoto důvodu je neodmyslitelným pomocníkem při racionalizaci pracovního postupu a úpravě pracoviště. Mezi základní metody nepřímého měření patří metoda MTM a metoda MOST.

[12]

Čas výrobní operace se v rámci časové studie dále dělí na čas automatický a čas manuální.

Automatický čas je spojený s použitím stroje, výrobního zařízení nebo automatizovaných výrobních systémů. Je spojován s opakovatelností, vysokou přesností a rychlostí. Velkou předností automatického času je schopnost pracovat bez nutnosti přestávek, minimalizace lidských chyb, stálá kvalita a snadné monitorování výroby. Efektivní použití pro velkoobjemovou výrobu standardizovaných výrobků.

Manuální čas obsahuje práci vykonanou operátorem, bez významného použití stroje či automatizace. Manuální operace jsou požadovány všude tam, kde je nutnost ručního ovládní, kreativity, nebo rozhodování pracovníků a vykonávání různorodých úkonů. Vyskytuje se z vysoké části ve výrobě na zakázku nebo malosériové výrobě, kde jsou pracovníci schopni flexibilně reagovat na změny výrobního procesu.

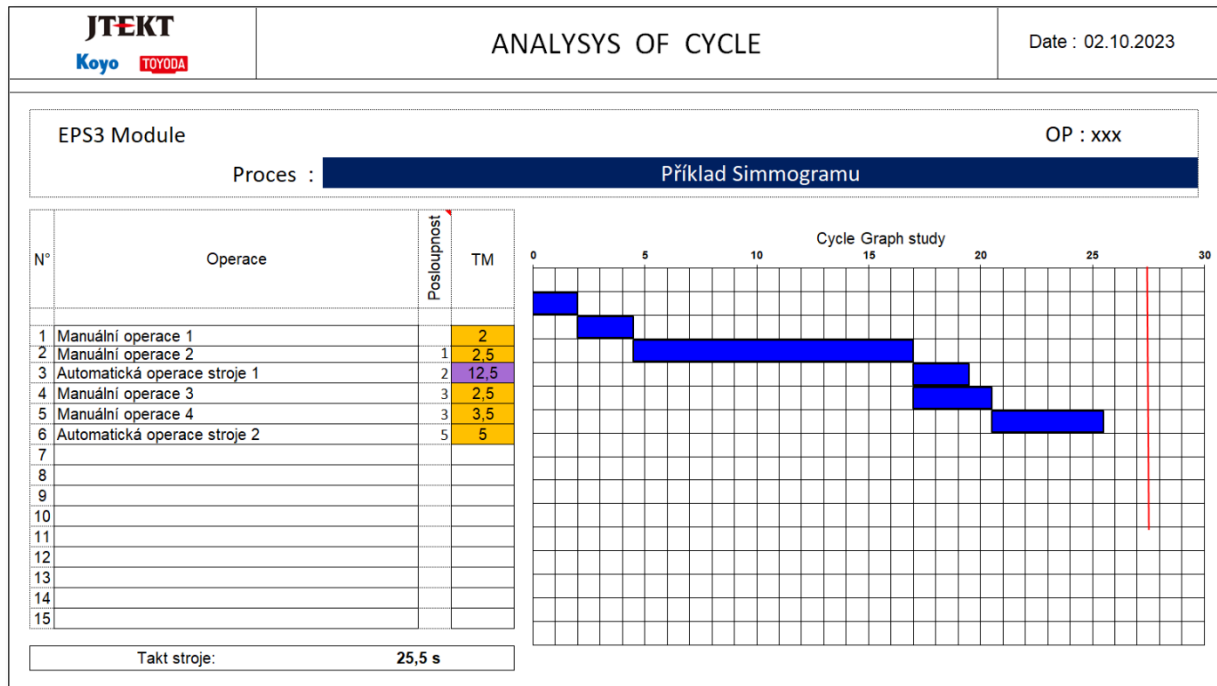
2.1 Chronometrů

Chronometrů patří k nejpoužívanějším metodám přímého měření. Metoda spočívá v rozdělení měřené práce na několik dílčích úseků (úkonů), spotřeba času jednotlivých úkonů je pak změřena pomocí stopek a zaznamenaná do předem připraveného formuláře. V této práci bude chronometrů zaznamenaná do předem připraveného formuláře - Simmogramu.

Simmogram

Simmogram je interní nástroj společnosti JTEKT pro grafické znázornění již existujícího pracovního cyklu současných nebo po sobě jdoucích událostí při provádění práce. Výsledkem simmogramu je rozpad pracovní činnosti na jednotlivé úkony, ke kterým se následně přiřazuje doba trvání většinou z video záznamu dané činnosti. Používá se k plánování operací průmyslových robotů, montážních linek, operátorů atp. během změny série nebo při návrhu racionalizačních opatření k nalezení nedostatků v pohybech stroje či operátora. Stručně řečeno, používá se za účelem optimalizace časů výrobního cyklu. Ukázkou simmogramu lze vidět na následujícím obrázku č. 2.1.

[13]



Obrázek 2.1: Příklad Simmogramu [15]

2.2 MTM analýza

MTM analýza neboli metoda analýzy pohybů (Methods Time Measurement) je jedna z metod předem stanovených časů sloužící k stanovení teoretické doby trvání dané operace. Tato metoda je sice velmi přesná, ale také velmi časově náročná s nutností znát představu o budoucí vykonávané činnosti. Metoda rozkládá ruční práci do jednotlivých základních pohybů, které jsou k dané ruční práci potřeba. Ke každému základnímu pohybu je přiřazena časová hodnota, určená jeho povahou a vlivem, které na jeho provedení působí. Časová náročnost každého základního pohybu je dána časovou jednotkou TMU.

Pro určení časové náročnosti práce a jednotlivých operací pomocí metod předem stanovených časů, je každému základnímu pohybu přiřazena hodnota časové jednotky TMU (Time Measurement Units), kterou lze snadno převést na sekundy. Tato jednotka byla zavedena z důvodu, že časové hodnoty jednotlivých pohybů jsou velmi malé. Jedna jednotka TMU je jedna sto tisícina hodiny, která je odvozena od rychlosti filmových kamer. Převodové poměry jednotky TMU na čas, jsou znázorněny v následující tabulce č. 2.1.

[16]

Tabulka 2.1 Převodové poměry TMU

1 TMU	0,036 sekund
1 TMU	0,0006 minut
1 TMU	0,00001 hodin
1 sekunda	100 000 TMU
1 minuta	1 667 TMU
1 hodina	27,8 TMU

2.3 MOST

Metoda MOST (Maynard Operation Sequence Technigue) je další z analýz předem stanovených časů. Tato metoda zkoumá činnosti spojené s ručním pohybem předmětů a říká, že vykonaná práce je výsledkem působící síly po dráze pohybu a je dána vzorcem: $P = F*s$.

Tato metoda se dále kategorizuje dle doby trvání operací nebo pracovních cyklů na následující typy:

- Mini-MOST – pro operace trvající 2–10 sekund
- Basic-MOST – pro pracovní cykly trvající 10 sekund až 10 minut
- Maxi-MOST – pro pracovní cykly trvající déle než 2 minut až několik hodin.

Nejpoužívanější typ MOST analýz je Basic-MOST, který se člení dle typu vykonávané činnosti na modelové sledy, které jsou uvedeny v následující tabulce č. 2.2.

Tabulka 2.2 Modelové sledy Basic-MOST [17]

ČINNOST	MODELOVÝ SLED
Obecný pohyb	A B G A B P A
Řízený pohyb	A B G M X I A
Použití nářadí	A B G A B P ? A B P A
Ruční jeřáb	A T K F V L V P T A

Obecný pohyb

- modelový sled pro prostorové přemístování objektů volně vzduchem

Řízené pohyby

- při přemístování objektů, které zůstávají v kontaktu s povrchem, nebo jsou připojena k jiným objektům

Použití nářadí

- modelový sled při použití běžných ručních nástrojů, ruky, paže nebo prstů

Ruční jeřáb

- při přemístování objektů pomocí ručního jeřábu

[17]

3 Ergonomické analýzy

Následující kapitola diplomové práce pojednává o ergonomické analýze, která slouží k hodnocení pracovní polohy operátorů a také o využívané softwarové podpoře. V praktické části diplomové práce byla použita ergonomická analýza vyhodnocena dle Nařízení vlády 361/2007 Sb.

3.1 Hodnocení pracovních poloh podle Nařízení vlády 361/2007 Sb.

Ochrana zdraví při práci je v České Republice řízena podmínkami danými Nařízením vlády 362/2007 Sb. Hodnoty, získané ergonomickou analýzou, se porovnávají se stanovenými limity, které jsou uvedeny v příloze č. 2, a zařazují zkoumané pracovní polohy do následujících tří skupin.

Přijatelná poloha – zanedbatelné riziko, není nutnost něco měnit

Podmíněně přijatelná poloha – zvýšené zdravotní riziko a nutnost snížení rizika

Nepřijatelná poloha – vysoké zdravotní riziko a nutnost odstranění rizika

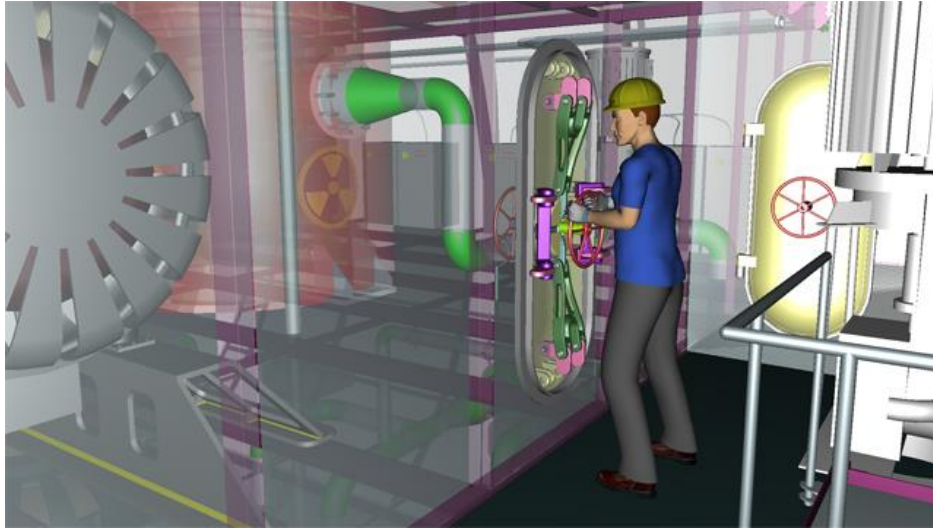
Pro jednotlivé výše uvedené skupiny jsou dále dány hygienické limity. Tyto limity určují přípustnou dobu trvání poloh za směnu. Pro podmíněně přijatelnou polohu je celková doba trvání v této poloze stanovena na 160 minut za průměrnou 8 hodinovou směnu a pro nepřijatelnou pracovní polohou je celková doba trvání v této poloze stanovena na 30 minut za průměrnou 8 hodinovou směnu

[3][18]

3.2 Softwarová podpora ergonomické analýzy

K vyhodnocení ergonomické analýzy v praktické části diplomové práce, byl použit software Tecnomatix Jack od společnosti Siemens.

Software Tecnomatix Jack byl vytvořen společností Siemens za podpory NASA na Pensylvánské univerzitě Department of Computer and Information Science v 80. letech dvacátého století. Tento software využívá přesný biomechanický model člověka ve virtuálním 3D prostředí, do kterého lze importovat vlastní CAD modely a tím vytvořit vlastní virtuální prostředí zkoumaného pracoviště nebo dokonce celého výrobního systému. Ukázkou ze softwaru Tecnomatix Jack lze vidět na následujícím obrázku č. 3.1.



Obrázek 3.1 Tecnomatix Jack [19]

Biomechanický model člověka byl vytvořen ze studie společnosti NASA. Model se skládá ze 69 segmentů a 68 kloubů, se kterými lze pohybovat ve 2-3 osách a tím je docíleno 135 stupňů volnosti. Software při pohybu jednotlivými segmenty pracuje s inverzní kinematikou, díky které dokáže určovat pohyb ostatních propojených segmentů. Pro snadnější nastavení modelu člověka, software obsahuje knihovnu s uloženými polohami těla.

Pomocí softwaru Tecnomatix jack lze provádět několik typů vyhodnocování vytvořeného virtuálního prostředí, jako je například sledování trajektorie manipulovaného předmětu, vyhodnocování dosahových vzdáleností, nebo také například zobrazení zorného pole.

[3][19]

Pro vyhodnocení pracovní polohy v praktické části diplomové práce, byl použit přídatný modul nařízení vlády NV 361. Tento modul dovoluje pro vymodelované pracovní polohy sledovat jednotlivé limity polohy těla. Lze tak snadno určit ergonomicky přípustné polohy a na základě jej vytvořit nebo upravit pracoviště. Tento modul po důkladném vymodelování a napolohování pracovní polohy zobrazuje jednotlivé polohy částí těla v přehledné tabulce. Jednotlivé hodnoty jsou podbarveny zelenou, žlutou či červenou barvou. Zelená barva znamená přijatelné hodnoty, žlutá podmíněně přijatelné hodnoty a červená znamená nepřijatelné hodnoty.

[3][20]

4 Představení společnosti

Praktická část diplomové práce byla vykonána na přiřazené výrobní lince ve společnosti JTEKT Czech Republic s.r.o. ve výrobním závodě v Plzni, která spadá pod japonský koncern JTEKT Corporation. Společnost působí na trhu od roku 2005 a v současné době je hlavním dodavatelem systémů řízení a mechanických dílů pro osobní automobily většiny světových značek. Díky snaze o co největší kvalitu výrobků a dlouholetých zkušeností jsou dodavateli pro renomované výrobce, jako je Toyota, PSA, Peugeot, Citroën, Renault, Daimler, Nissan, Škoda, Dacia a Volkswagen. Roční objem produkce je přibližně 3 miliony vyrobených kusů a z důvodu neustálého zvětšování objemu je potřeba výrobní proces zefektivňovat a optimalizovat, aby společnost dokázala uspokojit své zákazníky a držela krok s konkurencí.

[14]



Obrázek 4.1: Logo společnosti JTEK Czech Republic s.r.o. [14]

Produktové portfolio společnosti:

Produktové portfolio společnosti JTEKT Czech Republic s.r.o. obsahuje čtyři základní typy systémů řízení osobních automobilů – manuální hřebenové řízení, řízení s elektrickým pastorkovým posilovačem, řízení s elektrickým sloupkovým posilovačem a řízení s dvojitým elektrickým pastorkovým posilovačem.

MS – Manual steering systém – manuální řízení je řízení, ve kterém řidič odvádí veškerou práci k otočení koly bez jakékoliv pomoci posilovače mechanické síly. Kroutící moment vytvářen řidičem pomocí volantu je přímo přenášen na hřeben řízení a není nijak posilován. Řízení vozidla je při nízkých rychlostech velmi tuhé.



Obrázek 4.2: Manuální řízení [14]

C-EPS (column electric power steering system) - Řízení s elektrickým sloupkovým posilovačem ovládá a pomáhá řízení vozidla pomocí elektronicky řízeného elektromotoru. Posilovací servojednotka se nachází na sloupku řízení a je ideálním řešením pro malá a středně velká vozidla.



Obrázek 4.3: Řízení s elektrickým sloupkovým posilovačem [14]

P-EPS (pinion electric power steering system) – Řízení s elektrickým pastorkovým posilovačem, kde kroučící moment od řidiče a kroučící moment servojednotky je přenášen přímo na hřeben řízení pomocí pastorku. Elektromotor servojednotky převádí točivý moment přes robustní šnekovou převodovku na pastorek a je uložen na těle řízení.



Obrázek 4.4: Řízení s elektrickým pastorkovým posilovačem [14]

DP-EPS (double pinion electric power steering system) - řízení s dvojitým elektrickým pastorkovým posilovačem přidává na hřeben řízení druhý pastorek, na kterém je upevněný elektromotor. Odpojení elektromotoru od sloupku řízení poskytuje citlivější a přesnější průběh řízení. Umístění elektromotoru daleko od sloupku řízení přispívá ke snížení zranění nohou řidiče při srážce.



Obrázek 4.5: Řízení s dvojitým elektrickým pastorkovým posilovačem [14]

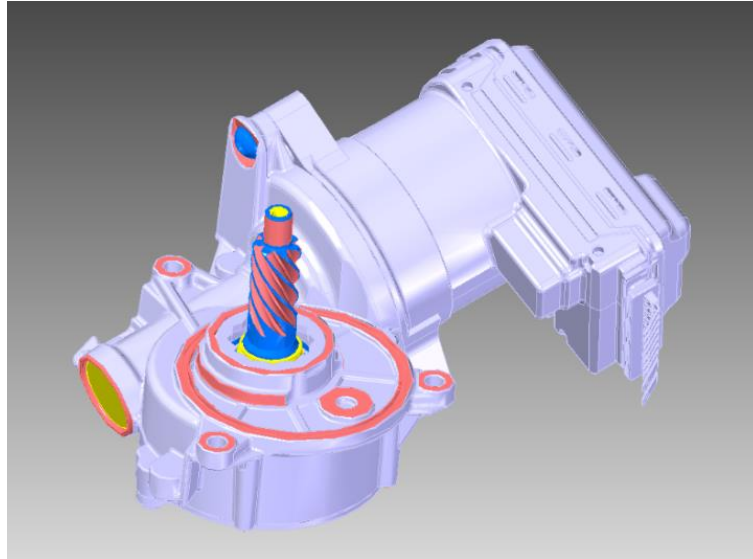
[14][15]

4.1 Představení výrobní linky

Pro diplomovou práci byla vybrána výrobní linka EPS3. Na této lince se vyrábí řízení s elektrickým pastorkovým posilovačem P-EPS a je rozdělena na dvě odvětví. První odvětví vyrábí posilovací modul řízení a nazývá se EPS3 Modul. Na druhém odvětví dochází ke kompletaci posilovacího modulu a zbylých částí řízení. Tato část linky nese název EPS3 Assembly. Analýza a následný návrh na úpravu výrobní linky byl vykonán na části linky EPS3 Modul.

Vyráběný produkt linky:

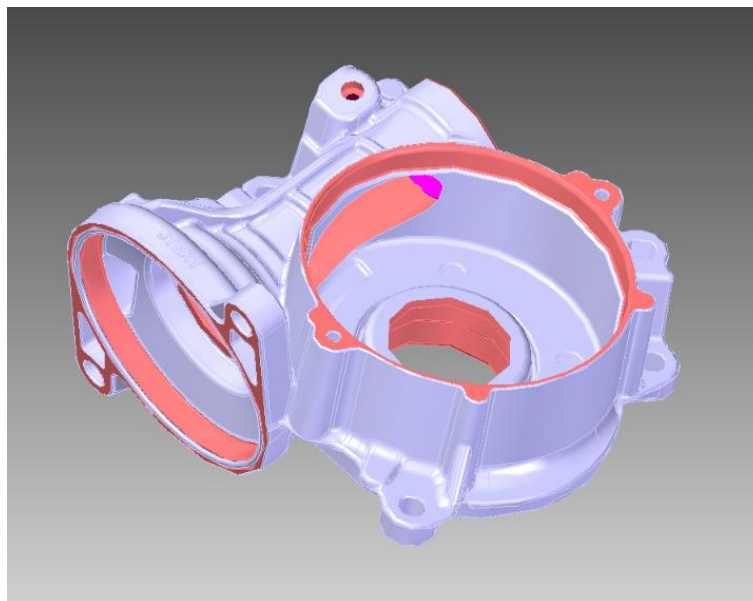
Na lince EPS3 Modul se vyrábí posilovací část řízení, která se skládá ze servomotoru s řídicí jednotkou (MCU), těla posilovacího modulu (worm-housingu) a převodovky. Model vyráběného modulu řízení touto linkou lze vidět na následujícím obrázku č. 4.6.



Obrázek 4.6: Model modulu řízení [15]

Worm housing

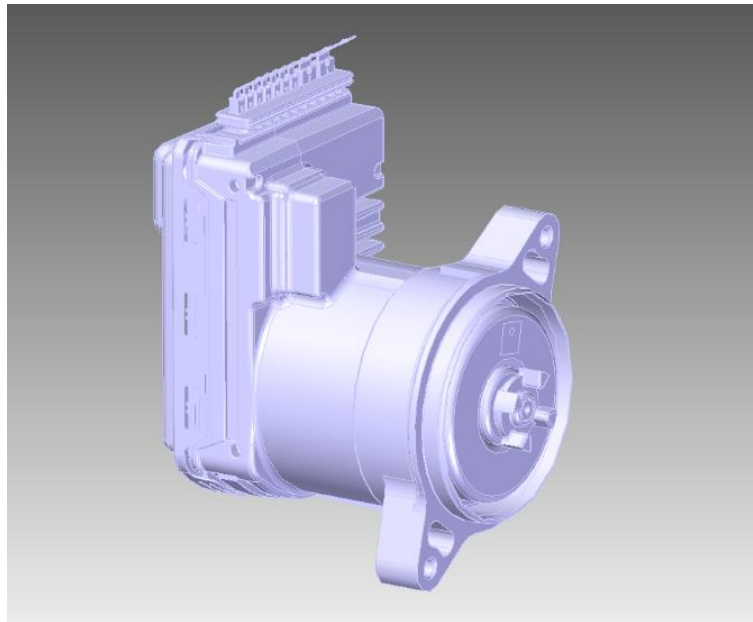
Worm housing je základní součástí posilovacího modulu řízení. Jedná se o tělo ze slitiny hlinku, do kterého jsou postupně montovány další zmíněné dílce spolu se součástkami jako jsou například ložiska, pružiny, těsnění nebo zátky. Model těla lze vidět na následujícím obrázku č. 4.7.



Obrázek 4.7: Model worm housingu [15]

Servomotor s řídicí jednotkou

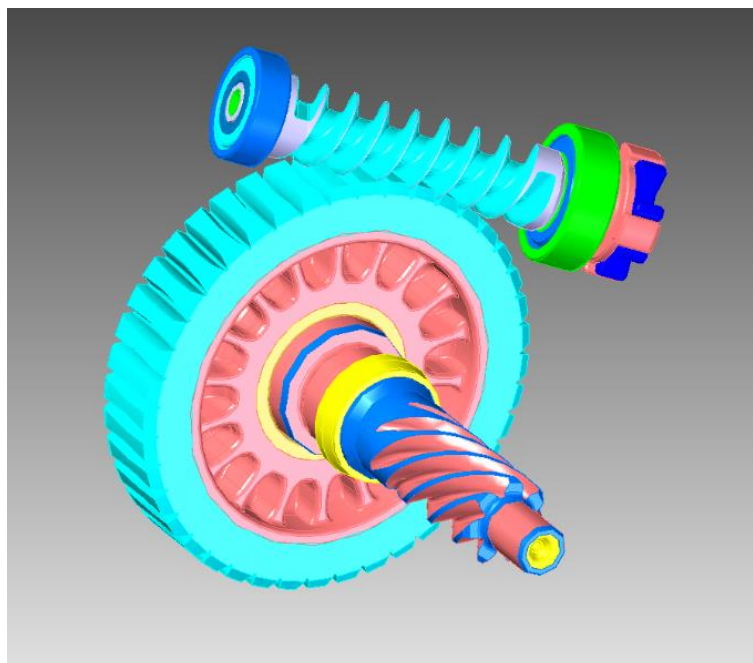
Nedílnou součástí posilovacího modulu řízení je servomotor s řídicí jednotkou MCU. Řídicí jednotka slouží k vyhodnocení pohybu řízení přes snímač otáčení a k určení potřebného posilovacího momentu, který je vytvářen pomocí servomotoru. Servomotor je přišroubován k worm housingu, ve kterém je uložena převodovka. O převodovce viz následující odstavec.



Obrázek 4.8: Model MCU [15]

Převodovka

K převodu posilovacího kroutícího momentu ze servomotoru na hřeben řízení slouží převodovka, která je umístěna v samotném těle posilovacího modulu. Převodovka se skládá ze dvou hřídelí, worm shaftu (na obrázku světle modrá hřídel nahoře) a input shaftu (spodní růžovo-modrá hřídel), dále z ozubeného kola, které převádí kroutící moment mezi zmíněnými hřídelemi. Obě hřídele jsou vyrobeny z kvalitní nelegovaná přímo kalitelné oceli s označením 44SMn28. Ozubené kolo je vyrobeno z plastu a má globoidní ozubení.



Obrázek 4.9: Model převodovky modulu [15]

4.2 Prostorové uspořádání linky EPS3 Modul

Na obrázku 4.10, který se nachází níže, je znázorněno prostorové uspořádání linky EPS3 Modul. U jednotlivých strojů můžeme na schématu vidět číselné označení výrobní pozice, název výrobní pozice a výrobní časy (A – automatický čas stroje, M – manuální čas operátora). Dále schéma obsahuje jednotlivé rozmístění operátorů, jejich výrobní cyklus k multi-strojové obsluze a čas, za který je operátor schopný daný výrobní cyklus vykonat. Takt výrobní linky pro jednotlivé operátory je stanoven na 27s.

Pro diplomovou práci byly přiděleny výrobní pozice, která obsluhují operátoři číslo 4, 5, 6 a 7. Dále se tedy budeme zabírat pouze touto částí výrobní linky EPS3 Modul.

Operátor 4 obsluhuje stroj OP230, na kterém se do worm housingu namontuje a zajistí pružina, dále operátor obsluhuje stroj OP560, který slouží k nalezení výchozí polohy input shaftu vůči pinionu. Operátor 5 má na starosti stroj OP210, na kterém se na utahovací moment dotahuje horní víko worm housingu, stroj OP220, na kterém se lisuje spodní ložisko do worm housingu a stroj OP600, na kterém se kalibruje senzor převodu mezi motorem a hřebenem řízení. Operátor 6 obsluhuje stroj OP116, který slouží k zakrimpování konce worm shaftu a stroj OP580 na kterém se provádí lisování zátky do worm shaftu.

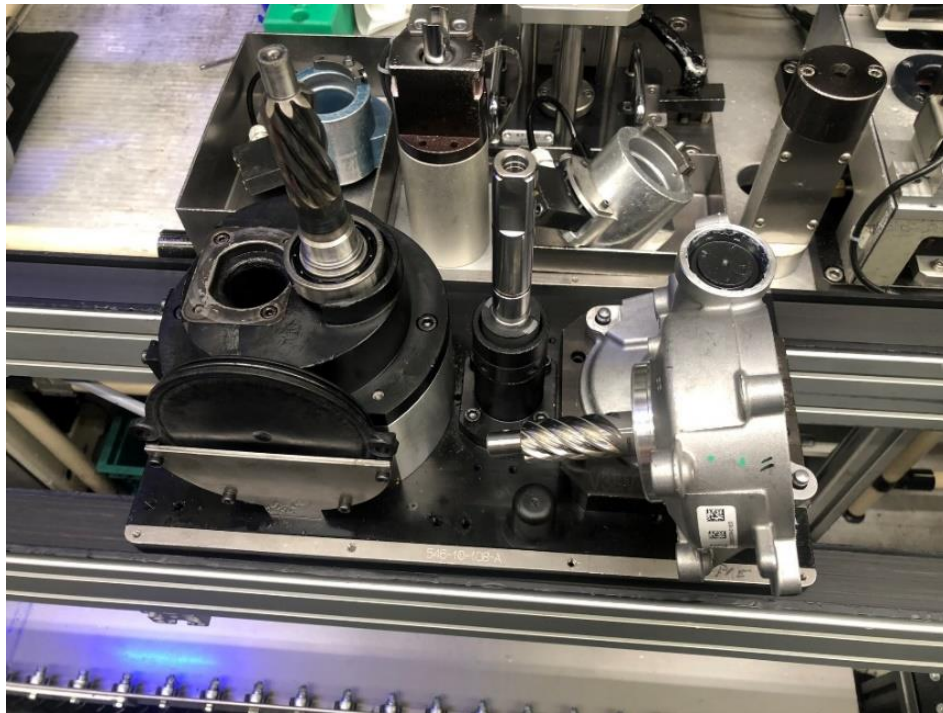


Obrázek 4.10: Prostorové uspořádání linky EPS3 Modul [15]

Doprava výrobku mezi výrobními pozicemi

Doprava výrobku mezi jednotlivými výrobními pozicemi je zajištěna pomocí dopravníků, na kterých jezdí paletky, které jsou pro každou vyráběnou sérii unikátní. Paletky obsahují řadu přípravků pro bezpečné uložení vstupních dílů při dopravě mezi výrobními pozicemi. Paletka je naplněna vstupními díly na začátku linky a tyto díly jsou v průběhu oběhu linky opracovávány a montovány. Díly, jako jsou ložiska, pružinky, těsnění nebo šroubky, paletka

neobsahuje, ale jsou umístěny na potřebných výrobních pozicích. Paletka obsahuje prostor pro díly Worm housing, Pinion, Worm shaft a Input shaft. Paletku lze vidět na obrázku 4.11 níže.



Obrázek 4.11: Paletka dopravníku [15]

4.3 Popis jednotlivých strojů

V této části diplomové práce jsou stručně popsány jednotlivé výrobní pozice přiřazené části výrobní linky EPS3 Modul. Jedná se o 8 výrobních pozic, které jsou obsluhovány čtyřmi operátory.

Stroj OP116

Výrobní stroj, který se nachází na výrobní pozici OP116 je ve výchozím prostorovém uspořádání obsluhován operátorem č. 4 a slouží k zakrmpování konce hřídele, která je uložena ve worm shaftu. Tato operace slouží k zajištění dílu, který je nalisovaný na konci hřídele z předešlé výrobní pozice. Krimpování je proces, kdy za pomoci vysokého tlaku dojde k tváření za studena a tím zajištění dílu nalisovaného na hřídeli. Přítomnost vložení worm shaftu je kontrolováno pomocí optického snímače. Pro bezpečnost operátora je stroj opatřen světelnou závorou, která chrání před vložení části těla do stroje při běhu automatického cyklu. Stroj se skládá z rámu, který je smontovaný z hliníkových profilů, krimpovacího zařízení značky Guillemín, základacího lože a ovládacího panelu.



Obrázek 4.12: Stroj OP116

Stroj OP210

Výrobní pozice OP210 obsahuje stroj, pro namontování horní zátky worm housingu. Zátka se dotahuje na předepsaný utahovací moment, a proto se ve stroji nachází elektronický montážní systém od společnosti Desoutter, který zaručuje dotažení zátky na předepsaný utahovací moment. Tato jednotka zároveň zapisuje data o dotažení na cloudové uložení, díky čemu lze zpětně dohledat informace o utažení každé zátky dílů, které projdou touto výrobní pozicí. Správné založení a přítomnost worm housingu je kontrolováno pomocí optického snímače, odebrání a vložení zátky je kontrolováno pomocí Pick Up senzoru. Stroj je vestavěn v rámu z hliníkových profilů.



Obrázek 4.13: Stroj OP210

Stroj OP220

Na pozici OP220 je stroj od společnosti JCEE s.r.o., který slouží k zalisování ložiska do worm housingu posilovacího modulu. Stroj je automatizovaný a operátor pouze vkládá a odebírá díl ze stroje a doplňuje ložiska do zásobníku. Bezpečnost operátora je zajištěna pomocí světelné závory, která zabraňuje vložení části těla do stroje při spuštěném automatickém cyklu stroje. Přítomnost všech dílů je kontrolována pomocí série optických snímačů a správnost typu worm housingu pomocí čtečky kódů, která načítá každý vložený worm housing. Správnost nalisování ložiska je kontrolována pomocí tenzometru a lineárního snímače. Stroj je postaven na rámu svařeném z ocelových profilů kombinovaný s montovanými hliníkovými profily. Ve stroji je lůžko, ve kterém je vyměnitelný základací přípravek, který se mění dle vyráběné série řízení.



Obrázek 4.14: Stroj OP220

Stroj OP230

Na výrobní pozici OP230 se nachází stroj od společnosti JCEE s.r.o., který slouží k namontování a zajištění dílu pružiny do těla posilovacího modulu. Ve stroji je zakládací lůžko pro založení worm housingu a přípravek pro založení pružiny. Dále stroj je vybaven kontrolním měřícím přípravkem, pro kontrolu správného namontování pružiny. Správnost provedení výrobního procesu je zajištěno pomocí série snímačů. Je zde optický snímač, který slouží jako Pick Up senzor pružiny a kontroluje její odebrání a založení. Dále jsou zde indukční a lineární snímače, které kontrolují správné nasazení a zajištění pružiny. Stroj je postaven na rámu smontovaném z hliníkových profilů.



Obrázek 4.15: Stroj OP230

Stroj OP560

Výrobní pozice OP560 je osazena strojem, který pomocí dvou hlavic a indukčního snímače vyhledá vzájemnou výchozí (střední) polohu Input Shaftu a Pinionu. Následně stroj tuto polohu zajistí provrtáním a zakolíkovaním. Stroj je osazen dvěma pracovníma lůžky, která zaručují založení dílu, při souběžném běhu automatického cyklu stroje. Stroj je vysoce automatizovaný a operátor pouze vkládá díl z paletky dopravníku do zakládacího lůžka stroj, připojuje konektor senzoru a na konci automatické výrobní operace hotový kus vyjme zpět na paletku. Tento jednoúčelový stroj je vestavěn v rámu svařeném z ocelových profilů a je zakrytván plechovým pláštěm. Bezpečnost operátora je zajištěna pomocí světelné závory. Nad strojem jsou dvě zobrazovací zařízení, které graficky vyobrazují vzájemnou polohu hřídelí a poskytují operátorovi informace o provedení automatického cyklu stroje.



Obrázek 4.16: Stroj OP560

Stroj OP570

Na výrobní pozici OP570 se nachází stroj, na kterém se provádí operace mazání převodu mezi posilovacím motorem a tělem modulu. Následuje montáž motoru s řídicí jednotkou k tělu posilovacího modulu. Stroj obsahuje čtečku kódů, která kontroluje správný typ těla a motoru s řídicí jednotkou. Správnost vykonávané výrobní pozice je kontrolována pomocí série optických senzorů a Pick Up senzorů. Stroj je dále osazen automatickým podavačem šroubů, který zrychluje a usnadňuje obsluhu této výrobní pozice. Stroj je sestavený v rámu z hliníkových profilů a nachází se na konci analyzované linky EPS3 Modul. Vyrobenný díl je po této výrobní pozici umístěn do KLT a dále putuje na linku konečné montáže EPS3 Assembly, kde je posilovací modul smontován ze zbytkem řízení.



Obrázek 4.17 Stroj OP570

Stroj OP580

Na výrobní pozici OP580 je stroj od společnosti JCEE s.r.o. Tento stroj je navržen pro lisování záslepky (Breathing Capu) do čela hřídele worm housingu a k zašroubování šteftu tepelné clony do těla. Na této výrobní lince se stroj nyní používá pouze pro lisování záslepky a šroubovací stanice je zde pouze jako záložní v případě rozbití jiného stroje na vedlejší lince. Ve stroji je vyměnitelný zakládací přípravek dle právě vyráběné série, do kterého se zakládá vstupní díl worm housingu z paletky dopravníku. Pro kontrolu správného typu worm housingu je stroj osazen čtečkou čárových kódů. Dále pro správnost nalisování záslepky hřídele, je zde přítomna kamera od společnosti KEYENCE, která dokáže identifikovat špatné zalisování nebo nepřítomnost záslepky. Stroj je postaven na rámu smontovaném z hliníkových profilů.



Obrázek 4.18: Stroj OP580

Stroj OP600

Výrobní pozice OP600 je osazena strojem pro kalibraci senzoru otáčení převodu mezi motorem a hřebenem řízení. Stroj obsahuje lůžko pro založení modulu, čelisti pro upnutí Input Shaftu modulu a měřící hlavu, která vyhodnocuje natáčení hřídelí. Dále je stroj osazen čtečkou kódů pro kontrolu typu modulu a světelnou závorou, která zabraňuje operátorovi sáhnutí do stroje při spuštěném automatickém cyklu. Stroj se nachází v rámu, který je svařený z ocelových profilů. V horní části stroje se nachází obrazovka, která graficky ukazuje vyhodnocení polohy hřídele modulu. V lůžku stroje se nachází zakládací přípravek, který se mění dle typu vyráběné série řízení.



Obrázek 4.19: Stroj OP600

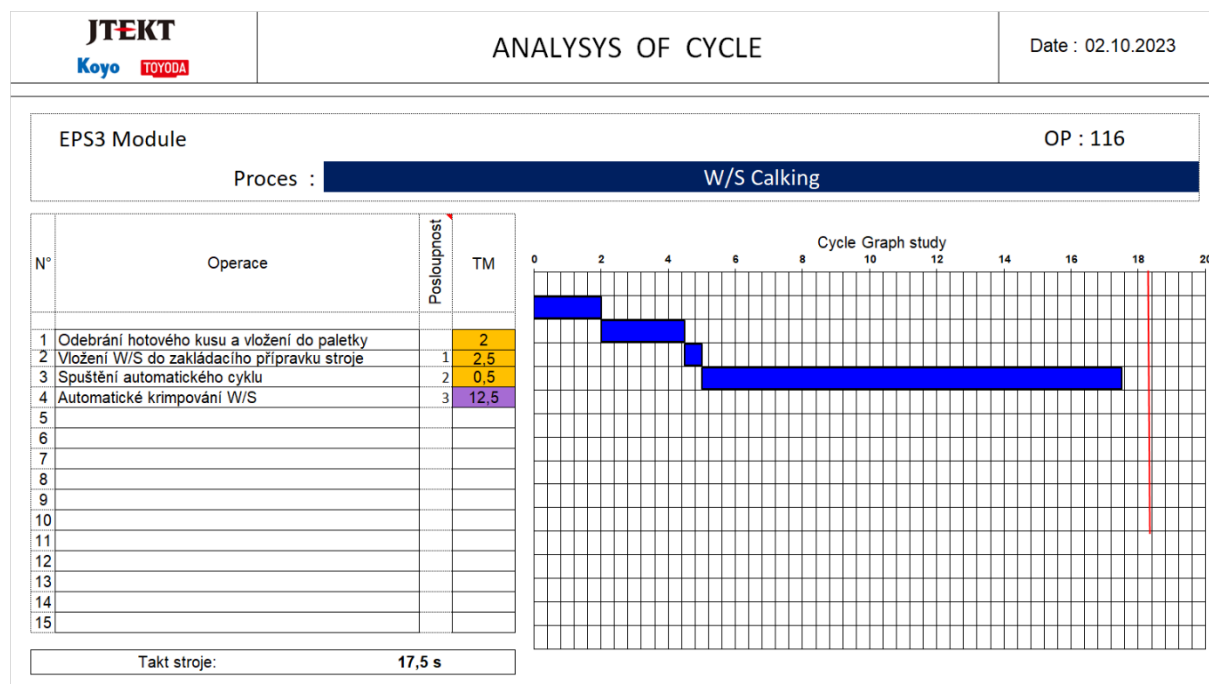
5 Časová analýza výrobních pozic linky

Obsahem této části diplomové práce je časová analýza přiřazených výrobních pozic výrobní linky EPS3 Modul ve společnosti JTEKT Česká Republika s.r.o.

V první řadě se operátorovi vysvětlil cíl měření, následně se pořídil videozáznam šesti po sobě jdoucích pracovních cyklů, které se důkladně zanalyzovaly, vyhodnotily a zapsaly do předem připraveného dokumentu Simmogramu, který slouží ke grafickému znázornění výrobních cyklů.

Simmogram stroje OP116

Operátor odebere díl worm shaft z paletky dopravníku, která je zastavena na výrobní pozici stoperem. Díl následně operátor založí do zakládací vidlice stroje, opustí bezpečnostní světelný závěs a stiskne tlačítko START. Zakládací vidlice pomocí pneumatického válce přejede s dílem Worm shaft pod krimpovací zařízení. Pomocí optického snímače je zkontrolována přítomnost dílu a stroj zahájí proces krimpování. Po dokončení krimpování zakládací vidlice vyjede do výchozí pozice a operátor odebere hotový kus a vloží jej zpět do paletky.

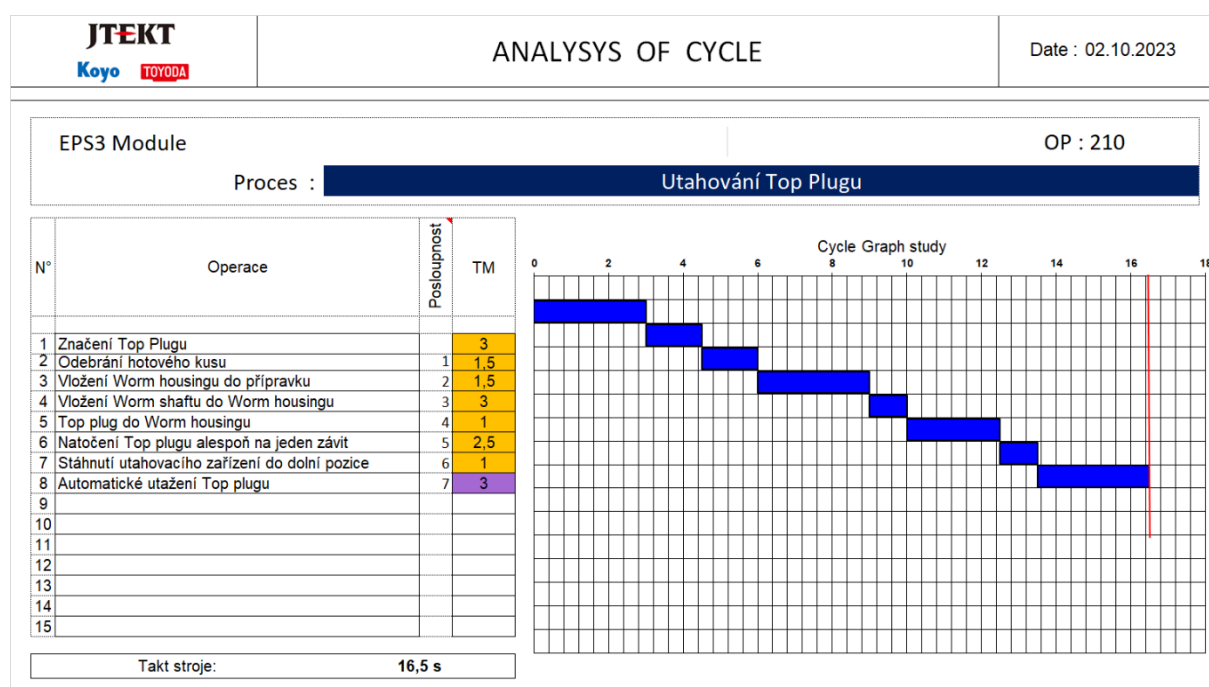


Obrázek 5.1: Časová analýza stroje OP116

Z časové analýzy vyplívá, že celkový výrobní čas této pozice je 17,5 sekund. Manuální čas operátora je 5 sekund a automatický chod stroje je 12,5 sekundy.

Simmogram stroje OP210

Po dopravníku přijíždí paletka, která je zastavena stoperem. Operátor z paletky odebere díl worm housingu a vloží jej do zakládacího přípravku stroje, který je uložen v loži stroje. Přítomnost dílu worm housingu je kontrolována optickým snímačem. Následně operátor z paletky odebere díl worm shaft a vloží jej do založeného dílu worm housingu. Poté přes pick-up senzor odebere díl top-plug, který slouží k zajištění worm shaftu, vloží jej do worm-housingu a natočí alespoň na jeden závit. Poté operátor oběma rukama stáhne utahovací zařízení do pracovní pozice a stiskne tlačítko START pro spuštění dotahování. Následně stroj pracuje v automatickém režimu a dotáhne díl top-plug na požadovaný utahovací moment. V případě vyhodnocení OK kusu, šroubovací zařízení vyjede zpět do výchozí polohy a operátor odebere díl ze stroje zpět na paletku. Při vyhodnocení NOK kusu, zůstane utahovací zařízení uzamčené v dolní poloze a čeká na příchod mistra směny, který stroj pomocí klíče odblokuje a odebere kus ke kontrole.

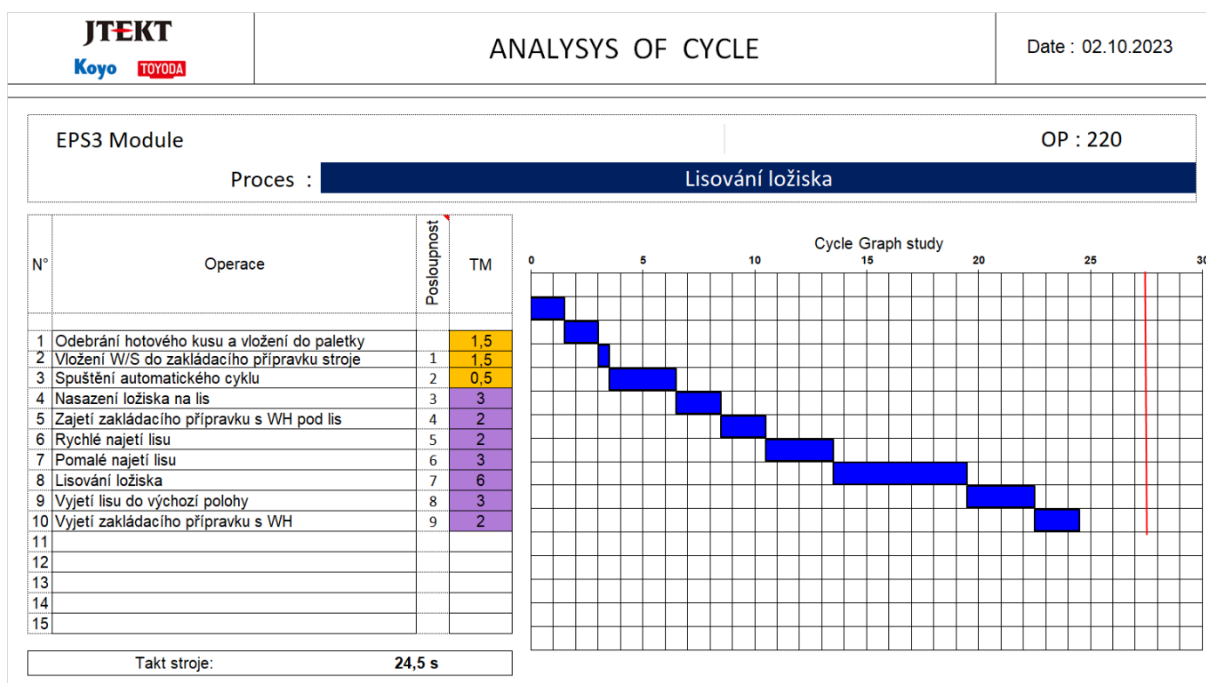


Obrázek 5.2: Časová analýza stroje OP210

Z časové analýzy výrobní pozice OP210 vyplývá, že celkový výrobní čas této pozice je 16,5 sekund. Manuální čas operátora je 13,5 sekundy a automatický chod stroje trvá 3 sekundy.

Simmogram stroje OP220

Operátor odebere vstupní díl worm housing z paletky, která přijíždí po dopravníku, a založí jej do stroje. Díl worm housing založí do zakládacího přípravku, který je uložen v lůžku stroje. Ložiska, která jsou na této výrobní pozici lisována, nezakládá operátor jednotlivě do stroje, ale pouze doplňuje jejich zásobu. Po založení worm housingu operátor opustí bezpečností světelný závěs a zmáčkne tlačítko START. Manipulátor odebere ložisko ze zásobníku a založí jej na trn. Optickým snímačem se zkontroluje přítomnost dílu ložiska na trnu. Poté se přesune zakládací přípravek do stroje, optickým snímačem se zkontroluje přítomnosti dílu a čtečkou kódu se zkontroluje typ dílu worm housingu. Pomocí lineárního elektrického pohonu dojde k montáži dílu ložiska do dílu worm housing. Montáž je vyhodnocena tenzometrem a lineárním snímačem. V případě OK kusu vyjede zakládací přípravek do přední části stroje, obsluha odebere díl a založí jej zpět do paletky na dopravníku. V případě NOK kusu, zůstane díl uzamčen ve stroji a čeká na odblokování mistrem směny, který NOK kus odebere ke kontrole.

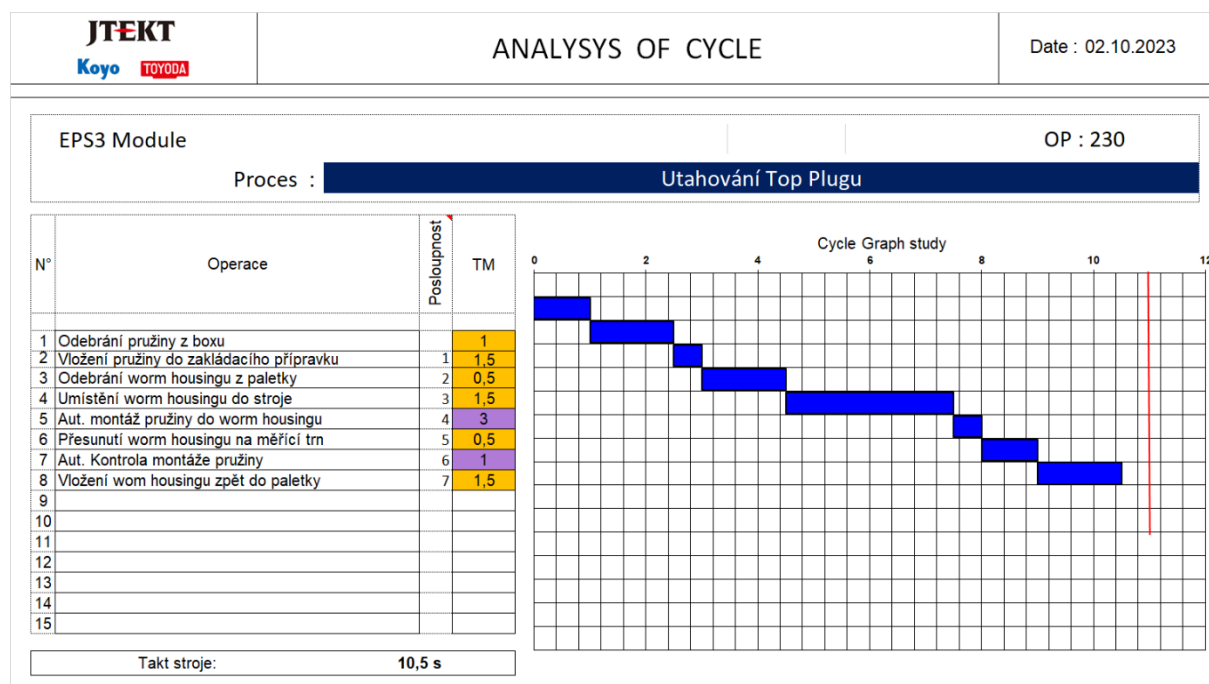


Obrázek 5.3: Časová analýza stroje OP220

Z časové analýzy vyplývá, že celkový výrobní čas této výrobní pozice je 24,5 sekund. Manuální čas operátora je 3,5 sekundy a čas automatického cyklu stroje je 21 sekund.

Simmogram stroje OP230

Operátor odebere přes pick-up senzor pružinu a založí ji do zakládacího přípravku. Operátor odebere vstupní díl worm housingu z paletky, která přijíždí po dopravníku a je před stroje zastavena pomocí stoperu. Díl worm housing založí operátor do horního zakládacího přípravku. Přítomnost dílu worm housing v horním přípravku je kontrolována optickým snímačem. Po sepnutí optického snímače se pneumatický válec, který ovládá spodní zakládací přípravek pro pružinu, automaticky přesune do pracovní polohy. Pneumatický válec slouží k zajištění pružiny v zakládacím přípravku. Při tomto automatickém pohybu pneumatického válce se předpokládá, že operátor oběma rukami drží díl worm housing v horním zakládacím přípravku. Operátor, při neustálém držení worm housingu v horním přípravku, přesune worm housing na přípravek s pružinou, kde dojde k montáži pružiny do worm housingu a následně na měřicí přípravek, kde dojde ke kontrole montáže pružiny. Montáž pružiny je vyhodnocena lineárním snímačem, který je v měřicím přípravku. Na měřicím přípravku je indukční snímač. Po sepnutí indukčního snímače se pneumatický válec vrátí do výchozí polohy a odjistí zakládací lůžko pružiny pro založení další pružiny a odebrání hotového kusu. Pokud měřicí přípravek vyhodnotí nesprávné namontování pružiny, díl zůstane v zakládacím lůžku uzamčen a čeká na mistra směny, který díl pomocí klíče na ovládacím panelu odemkne a odebere jej ke kontrole.

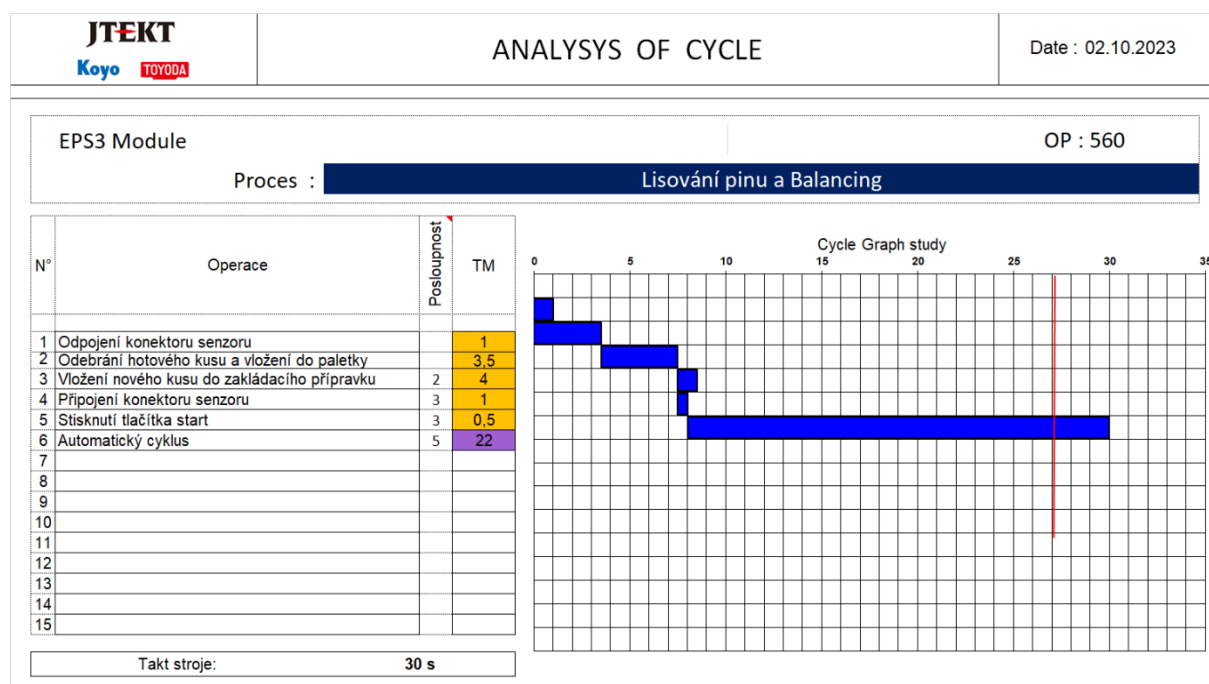


Obrázek 5.4: Časová analýza stroje OP230

Z časové analýzy vyplývá, že celkový výrobní čas této výrobní pozice je 10,5 sekundy. Manuální čas operátora je 6,5 sekundy a automatický čas stroje je 4 sekundy.

Simmogram stroje OP560

Operátor odebere díl worm housing z paletky dopravníku. Vloží jej do zakládacího přípravku lože stroje a připojí konektor senzoru. Přítomnost dílu v zakládacím přípravku je kontrolována optickým snímačem. Poté operátor opustí bezpečnostní světelný závěs a spustí automatický cyklus pomocí tlačítka START. Po spuštění cyklu je typ dílu ve stroji kontrolován pomocí čtečky kódu a poté najede spodní a horní upínací hlavice, které upnou díly Input shaft a Pinion. Následně pomocí senzoru je vyhodnocena výchozí poloha Pinionu vůči Input shaftu. Po vyhodnocení výchozí polohy, se otočné lože přemístí do pozice vrtání a lisování čepu. Zde stroj nejdříve předvrtá díru do Pinionu a Input shaftu, následně stroj vymění nástroj a vyvrtá díru potřebnou pro zajištění polohy kolíkem. Po vyvrtání, je pomocí automatického podavače podán kolík do hlavice lisu, který zalisuje a zajistí díly Input shaft a Pinion vůči vzájemnému pohybu. Po zalisování kolíku najede na konec díry frézka, která odstraní případný otřep po vrtání a otočné lože se vrátí do výchozí zakládací polohy. Před uvolněním dílu ze stroje, je výchozí pozice dílů Input shaft a Pinion zkontrolována pomocí senzoru. Pokud stroj vyhodnotí OK kus, díl je uvolněn, operátor odpojí senzor a odebere díl zpět do paletky dopravníku. V případě NOK kusu, díl zůstane uzamčen v zakládacím loži a čeká na příchod mistra směny.

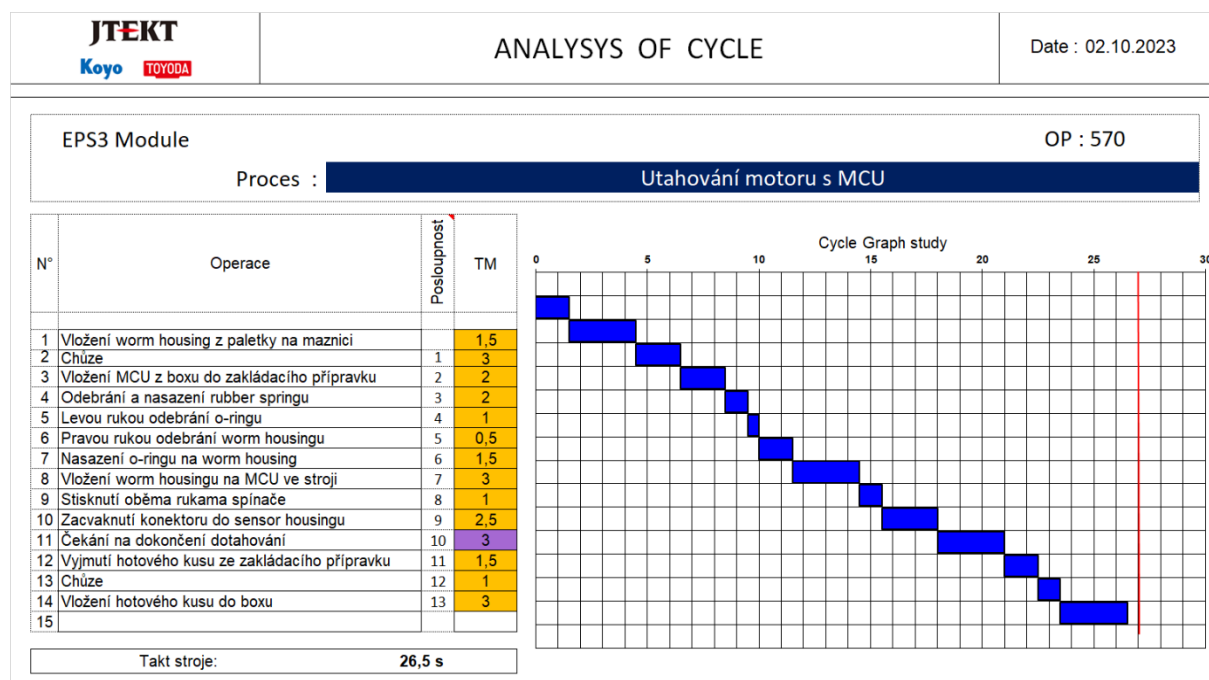


Obrázek 5.5: Časová analýza stroje OP560

Výsledek časové analýzy tohoto stroje ukazuje, že celkový výrobní čas této výrobní pozice je 30s. Manuální čas operátora je 8 sekund a čas automatického cyklu stroje je 22 sekund.

Simmogram stroje OP570

Operátor z paletky, která je umístěna na dopravníku, odebere díl worm housing a umístí jej na maznici. Maznice je osazena optickým snímačem a po vyhodnocení přítomnosti dílu namaže mazivem část dílu worm housingu. Operátor z boxu odebere motor s MCU a založí jej do základacího přípravku. Přítomnost dílu je kontrolována optickým snímačem a správnost dílu pomocí čtečky kódu. Poté operátor z boxu odebere díl rubber spring a nasadí jej na motor. Odebrání dílu rubber spring je kontrolován přes pick-up senzor. Následně operátor z maznice levou rukou odebere namazaný díl worm housingu a pravou rukou odebere přes pick-up senzor z boxu o-kroužek, který nasadí na worm housing. Poté worm housing nasadí na motor a oběma rukama stisknete tlačítka START. Stroj s automatickým podáváním šroubů na hlavice šroubováku namontuje šrouby do worm housingu a připevní tak motor. Během automatického šroubování připojí operátor konektor z MCU do snímače na worm housingu. Po dokončení šroubování operátor odebere hotový díl posilovacího modulu a odloží jej do boxu s hotovými kusy.

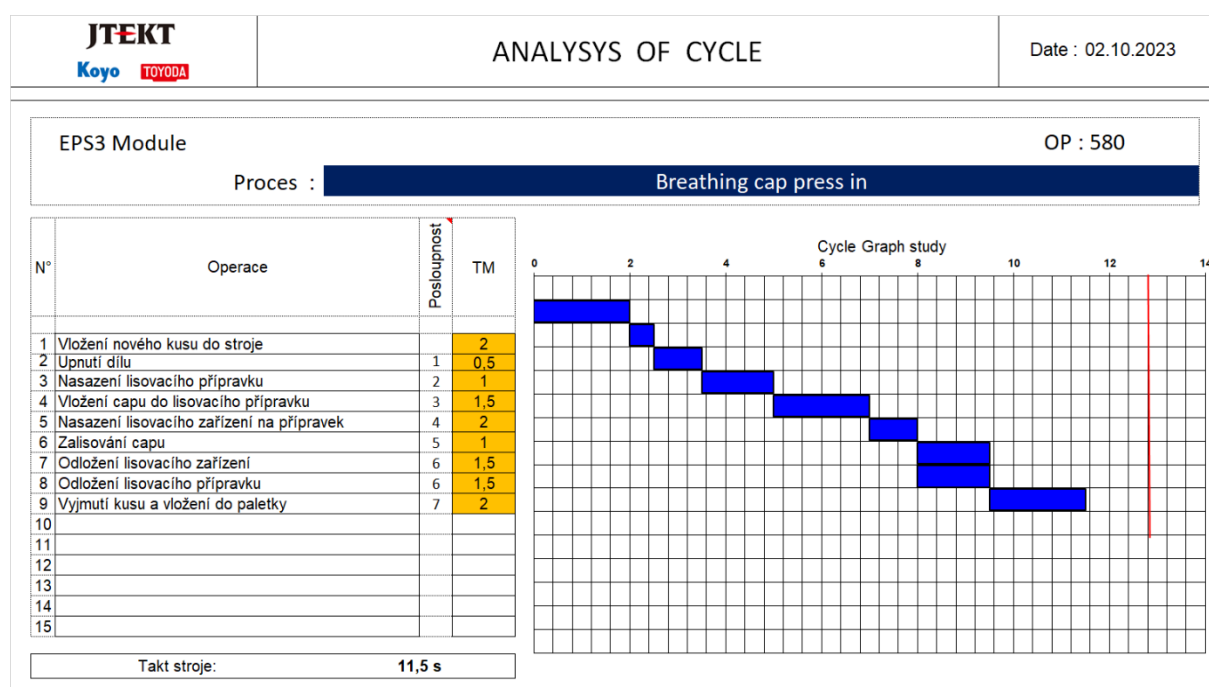


Obrázek 5.6: Časová analýza stroje OP570

Z časové analýzy výrobní pozice OP570 vyplývá, že celkový výrobní čas této pozice byl změřen na 26,5 sekund.

Simmogram stroje OP580

Operátor odebere vstupní díl worm housingu z paletky, která přijede po dopravníku, který se nachází před strojem. Paletka se před strojem zastaví pomocí stoperu. Po vložení dílu do základacího přípravku, se díl zajistí ruční pákou, kterou automaticky uzamkne pneumatický válec a zajistí tak nemožnost odebrání dílu před dokončením celého výrobního cyklu. Typ dílu worm housing v základacím přípravku je kontrolován čtečkou kódů. Přítomnost dílů je kontrolována optickými snímači, které jsou na základacím přípravku. Montáž Breathing Capu probíhá pomocí pneumatického válce, který operátor spolu s lisovacím přípravkem nasadí na worm housing. Po nalisování a odložení lisovacího válce dojde k automatické kamerové kontrole správné montáže Breathing Cap do worm housing. Výsledek je zobrazován na displeji KEYENCE. Poté dojde k automatickému uvolnění dílu worm housing v základacím přípravku a operátor jej může odebrat. V případě NOK kusu zůstane díl uzamčen a je přivolán mistr linky, který pomocí klíče stroj odblokuje a vyjme NOK kus.

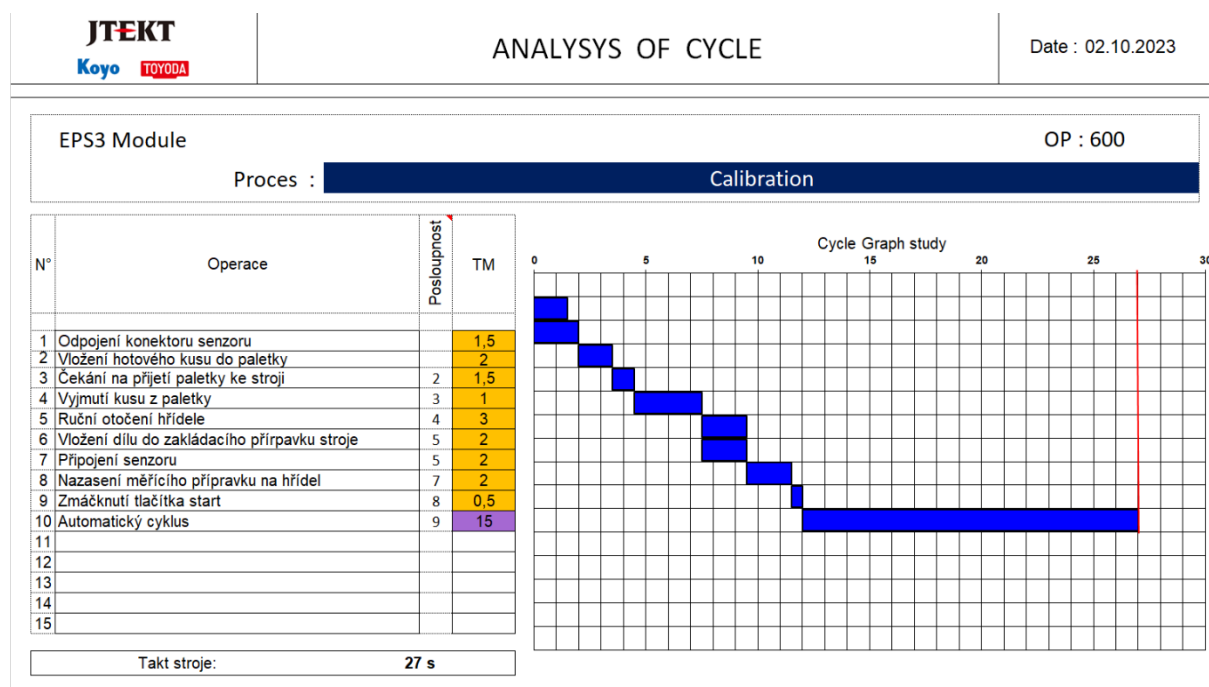


Obrázek 5.7: Časová analýza stroje OP580

Z časové analýzy výrobní pozice OP580 vyplývá, že celkový čas a zároveň manuální čas operátora je 11,5 sekundy a všechny operace jsou prováděny za pomoci operátora.

Simmogram stroje OP600

Operátor na příjíždějící paletce, která je před strojem zastavena stoperem, očistí hadrem případné nečistoty z hřídele z předešlé operace, ručně otočí do výchozí polohy vstupní hřídeli a vloží díl z paletky do zakládajícího přípravku, který je umístěn v lůžku stroje. Následně zapojí konektor z měřícího přístroje do senzoru, který je již namontován na worm housingu z předešlých výrobních operací. Po založení vstupního dílu a zapojení dílu, operátor odebere z odkládacího místa měřící hlavu a umístí ji na hřídel worm housingu. Měřící hlava je pro každou výrobní sérii unikátní, a proto je na odkládacím místě kódovaná, aby nedošlo k její záměně. Po založení vstupních komponent a přípravků, operátor opustí bezpečnostní závěs a zmáčkne tlačítko START. Optickým snímačem je zkontrolována přítomnost dílu a čtečkou kódu se zkontroluje typ dílu worm housingu. Poté stroj uchytí hřídel a pootáčením hřídeli za pomoci měřící hlavy a senzoru, zkalibruje senzor, který je umístěn na worm housingu. Kalibrace senzoru je vyhodnocována za pomoci údajů z měřící hlavy a tohoto senzoru. V případě OK kusu stroj uvolní založený díl, obsluha odebere díl a vloží jej zpět do paletky. V případě NOK kusu, zůstane díl uzamčen ve stroji a čeká na odblokování mistrem směny, který NOK kus odebere ke kontrole.



Obrázek 5.8: Časová analýza stroje OP600

Z časové analýzy výrobní pozice OP600 vyplývá, že celkový výrobní čas této pozice je 27 sekund, manuální čas operátora je 12 sekund a automatický chod stroje je 15 sekund.

Výsledky časové analýzy

Z důvodu zpřehlednění, jsou výsledky časové analýzy všech analyzovaných výrobních pozic uvedeny do následující tabulky č. 5.1.

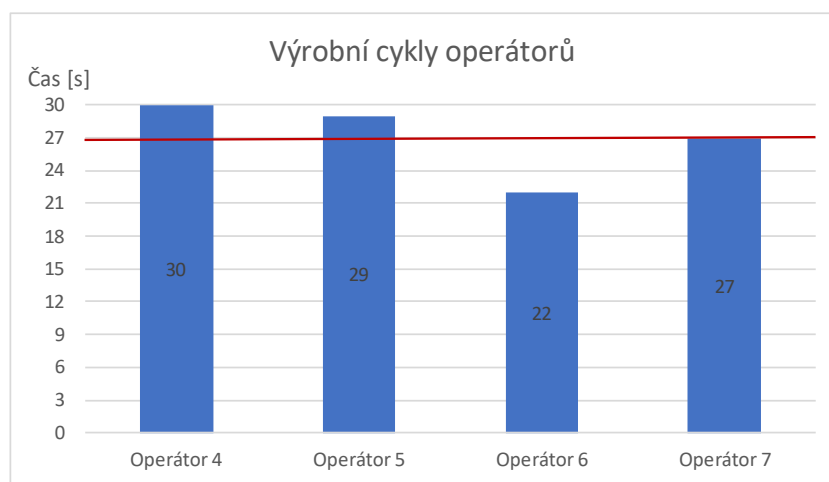
Tabulka 5.1 Výsledky časové analýzy části linky

Výrobní pozice	Manuální čas [s]	Automatický čas [s]	Celkový čas [s]
OP116	5	12,5	17,5
OP210	13,5	3	16,5
OP220	3,5	21	24,5
OP230	6,5	4	10,5
OP560	8	22	30
OP570	26,5	0	26,5
OP580	11,5	0	11,5
OP600	12	15	27

V následující tabulce č. 5.2 jsou uvedeny celkové časy výrobních cyklů jednotlivých operátorů, které vycházejí z časové analýzy výrobních pozic a ze získaných výchozích dat od společnosti JTEKT. Takt výrobní linky je stanoven na 27 sekund. Časy operátorů, které přesahují stanovený výrobní takt, jsou v tabulce označeny červeně. Níže je dále uvedeno grafické znázornění této tabulky.

Tabulka 5.2 Časy cyklů operátorů

Operátor	Čas cyklu [s]
4	30
5	29
6	22
7	27



Obrázek 5.9 Grafické znázornění cyklů operátorů

Zhodnocení:

Z analýzy současného stavu výrobní linky EPS3 Modul byly zjištěny tyto nedostatky:

1. Duplicitní operace na výrobních pozicích OP580 a OP600
2. Nevhodná pracovní poloha operátora výrobní pozice OP580
3. Výrobní pozice OP560 nestíhá výrobní takt linky
4. Operátoři 4 a 5 nestíhají výrobní takt linky

6 Návrh opatření výrobní linky

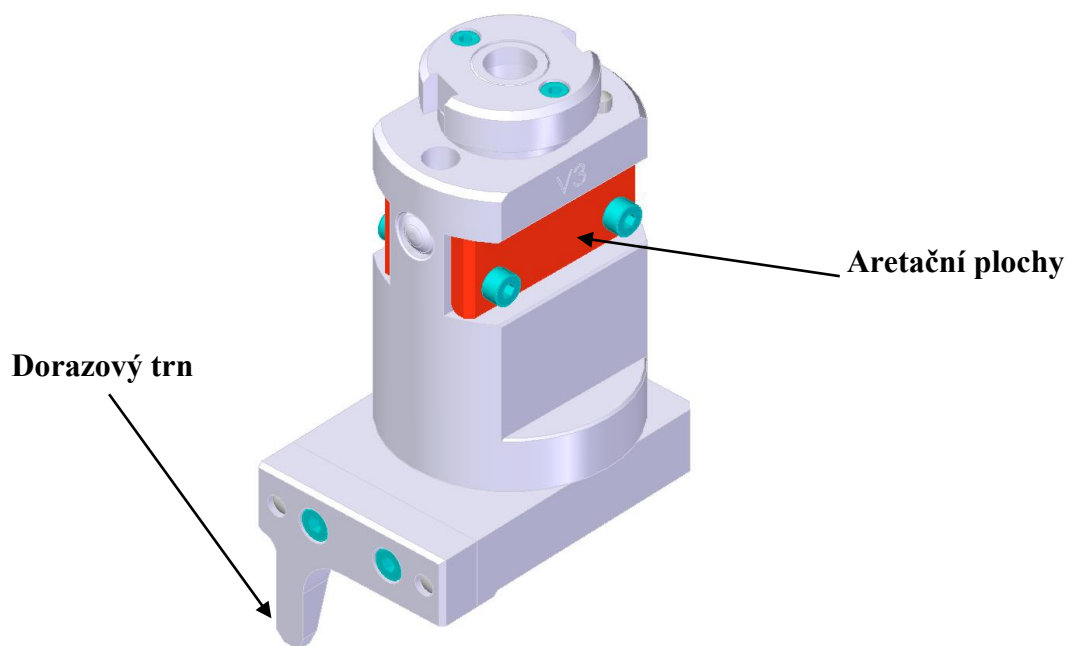
Vzhledem k rostoucí poptávce po nových automobilech, roste zájem po systémech řízení. Tím se klade větší důraz na efektivitu výroby a s tím související optimalizaci časového a prostorového využití výrobních linek. Aby společnost JTEKT Czech Republic s.r.o. dokázala rostoucí poptávku uspokojit, je zapotřebí neustálého analyzování současného stavu výrobního systému a postupovat opatření, které vedou k růstu celkové efektivity tohoto systému. Zároveň tyto opatření musejí být ekonomicky výhodné. Tato kapitola se věnuje popisu, analýze a vyhodnocení navrhovaných opatření.

6.1 Změna prostorového uspořádání výrobních pozic OP580 a OP600

Při analýze současného stavu linky byla zjištěna duplicitní operace na pracovištích OP580 a OP600. Jedná se o operaci nastavení výchozí polohy Input Shaftu. Na pracovišti OP600, které ve výchozím rozložení výrobních pozic předchází pracovišti OP580, musí operátor výchozí polohu Input Shaftu nastavit ručně. Operátor před založením kusu do zakládacího přípravku nejprve ručním otáčením hřídele nastavuje polohu Input Shaftu, aby vybrání na hřídeli bylo souhlasně s vybráním na těle posilovacího modulu a následně díl vkládá do zakládacího přípravku stroje. Tato operace operátorovi zabere v průměru 3 sekundy (viz. časová analýza výrobní pozice OP600) a zároveň nepříjemně namáhá zápěstí dominantní horní končetiny, jelikož osazená hřídel v těle modulu klade značný odpor při otáčení.

Při důkladné analýze současného stavu bylo zjištěno, že tato výchozí poloha se nastavuje na následujícím pracovišti OP580 znovu, jelikož při výrobním procesu na pozici OP600 se tato poloha posune. Na pozici OP580 se tato výchozí poloha nastavuje pomocí přípravku a po dokončení všech výrobních operací, na tomto pracovišti, se nastavení polohy hřídele vůči tělu řízení nezmění.

Lisovací přípravek na pracovišti OP580, sloužící k vystředění Breathing Capu před zalisováním, zároveň slouží k zajištění správného natočení Input Shaftu vůči Worm Housingu. Přípravek má na spodní části dorazovou vidlici, která dosedne na tělo Worm Housingu, uvnitř je přípravek opatřen dvěma aretačními plochami, které zajišťují správně natočení hřídele. Po dokončení všech výrobních operací na pozici OP580, se přípravek vysune směrem vzhůru a nastavená poloha Input Shaftu vůči Worm Housingu se nemění. Přípravek lze vidět na následující obrázku č. 6.1.



Obrázek 6.1 Přípravek pro lisování Breathing Capu OP580 [13]

V tabulce č. 6.1, která se nachází níže, byla vytvořena MTM analýza výrobní pozice OP600 po přehození pracoviště OP580 a OP600. Přehozením se docílilo odstranění operace ručního natáčení Input Shaftu do výchozí polohy na výrobní pozici OP600. Input Shaft byl do této výchozí polohy natočen na předchozím pracovišti OP580 pomocí lisovacího přípravku.

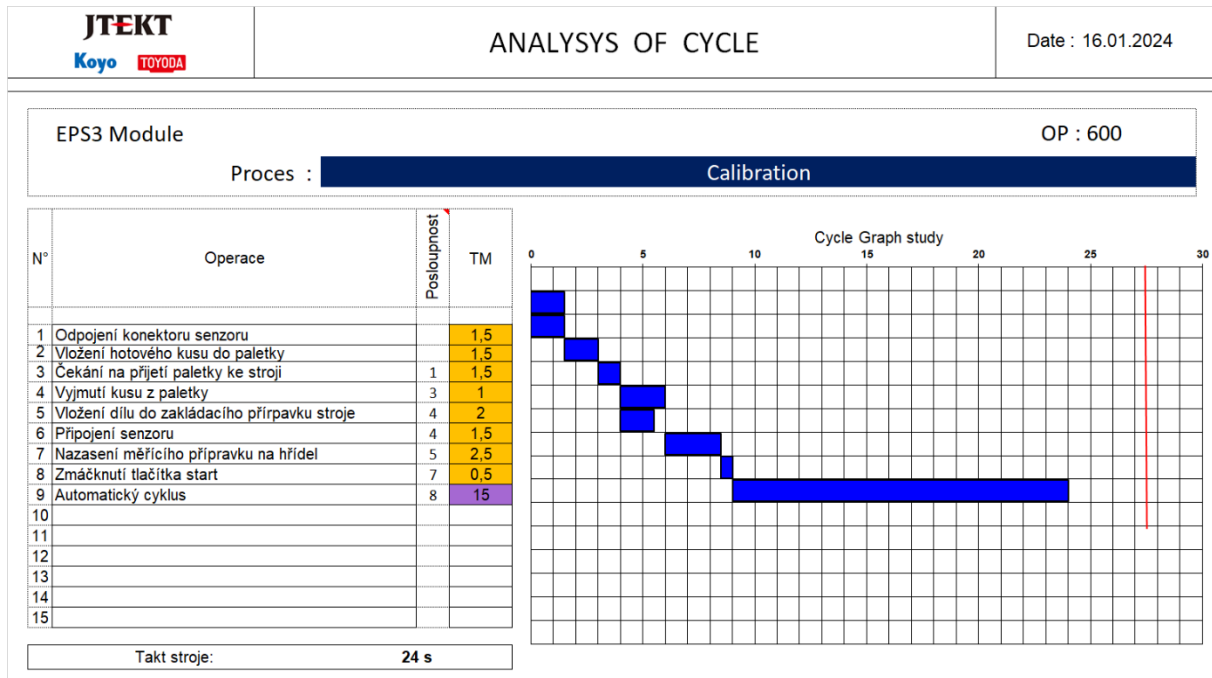
Tabulka 6.1 MTM analýza pracoviště OP600 po 1. opatření

Vykonávaná operace	Klasifikace MTM	Délka [mm]	TMU [-]
Sáhnout	R-A	50	13
Uchopit	G1A		2,0
Oddělit	D2D		11,8
Pustit	RL1		2
Uchopit	G1A		2,0
Přemístit	MC	40	18,5
Umístit	P1-S-E		5,6
Čekání 1,5s			42
Sáhnout	R-A	20	7,8
Uchopit	G1A		2,0
Přemístit	MC	50	21,8
Umístit	P1-S-E		5,6
Sáhnout	R-A	40	11,3
Uchopit	G1A		2,0
Funkce zraku	EF		7,3

Přemístit	MC	40	18,5
Umístit	P2-S-E		16,2
Sáhnout	R-A	20	7,8
Uchopit	G1A		2,0
Přemístit	MC	20	11,7
Umístit	P1-S-E		5,6
Sáhnout	R-A	70	16,5
Tlačit	AF		3,4
Suma TMU [-]			236,4
Přepočet TMU [s]			8,51

Z výsledku MTM analýzy lze vidět, že teoretický manuální čas operátora, potřebný pro obsluhu této výrobní pozice, je po implementaci tohoto opatření přibližně 8,5 sekundy. Před implementací opatření, byl manuální čas operátora na této pozici 12 sekund. Došlo tedy k uspoření přibližně 3,5 sekundy z manuálního času operátora a opatření je tedy vyhodnoceno jako přínosné a připraveno k reálnému otestování.

K otestování bylo provedeno přemístění strojů, po kterém byl natočen videosnímek šesti po sobě jdoucích výrobních procesů, ze kterého byla následně zhotovena časová analýza zaznamenaná do simmogramu. Simmogram pracoviště OP600 po implementaci opatření lze vidět na obrázku č. 6.2 níže.



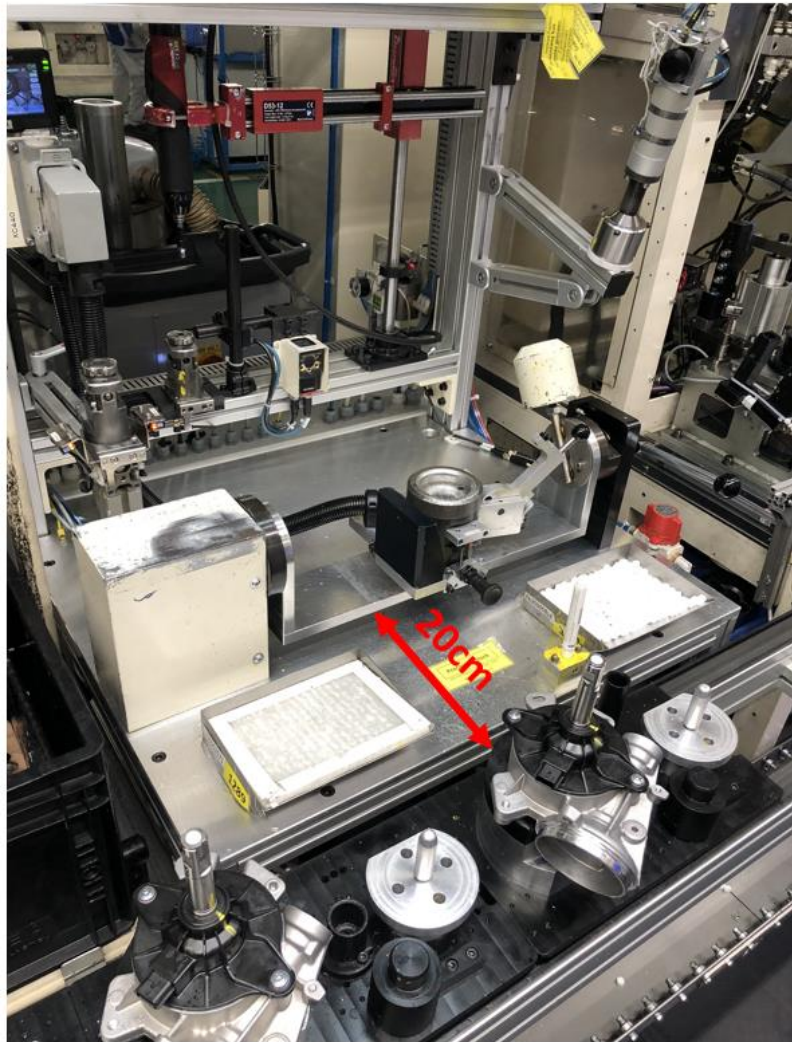
Obrázek 6.2 Simmogram OP600 po implementaci opatření

Ze časové analýzy po provedení přemístění strojů výrobních pozic OP580 a OP600 vychází, že manuální čas operátora při provádění testu byl 9 sekund. Manuální čas operátora před přemístěním strojů byl 12 sekund a došlo tedy k uspoření 3 sekund. Manuální čas operátora na pozici OP580 se nezměnil. Lze tedy toto opatření označit za přínosné a vyhovující. MTM

analýza tohoto opatření ukázala teoretický manuální čas operátora 8,51 sekund. Vzniklou odchylku časů 0,49 sekundy lze konstatovat za zanedbatelnou.

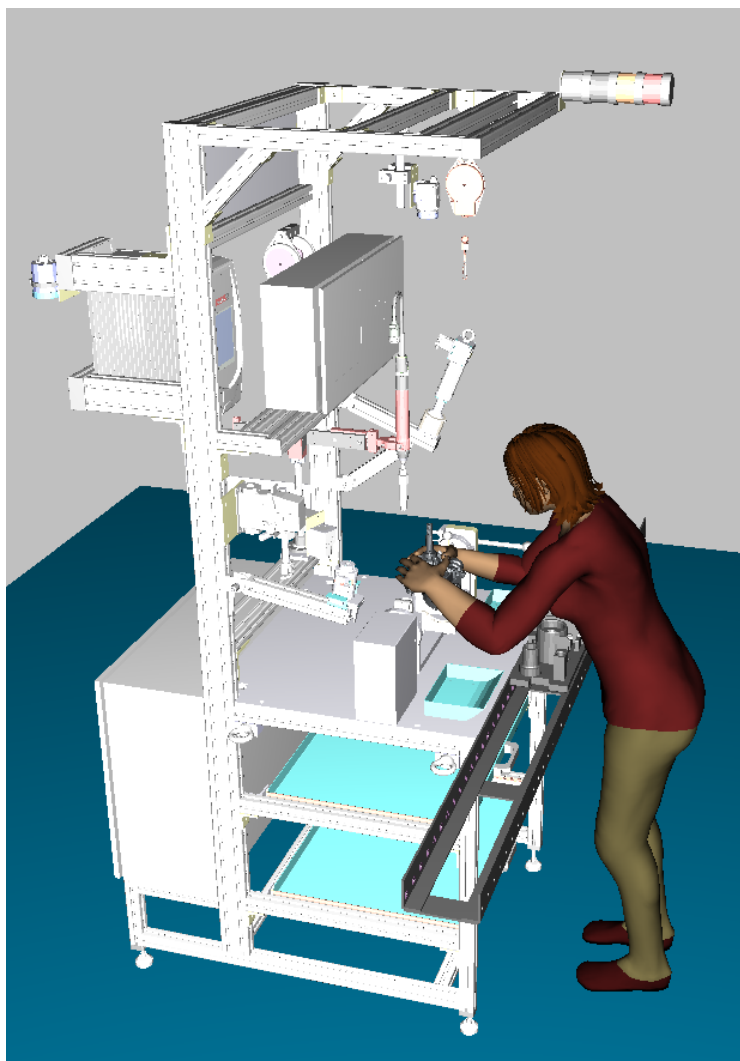
6.2 Změna ergonomie pracoviště OP580

Při sběru dat a pozorování výrobního provozu linky EPS3 Modul byla zjištěna nevyhovující pracovní poloha operátora, který obsluhuje stroj na výrobní pozici OP580. Již na první pohled byla vidět nepříjemná pracovní poloha zad a horních končetin těla. Výchozí stav výrobní pozice OP580 lze vidět na obrázku č. 6.3 níže.



Obrázek 6.3 Výchozí uspořádání stroje OP580

Pro ergonomickou analýzu pracovní polohy pozice OP580 bylo potřeba vymodelovat celé pracoviště spolu s jednotlivými přípravky ve skutečných rozměrech pomocí softwaru Tecnomatix Jack a CAD softwaru Solid Edge. Vymodelovaný 3D model výchozího stavu pracoviště byl vytvořen s důrazem na správnost rozměrů reálného pracoviště. Model výchozího stavu pracoviště je na obrázku č. 6.4 níže.



Obrázek 6.4 Model výchozího stavu pracoviště OP580

Analýza pracovní polohy je prováděna na základě Nařízení vlády 361/2007 Sb. a provádí se v softwaru Tecnomatix Jack. Analýza byla provedena na modelech 5., 50., a 95. percentilu populace žen. Změřené výsledky jsou umístěny do přehledné tabulky a jsou barevně rozlišené. Přijatelná poloha je označena zelenou barvou, podmíněně přijatelná žlutou barvou a nepřijatelná poloha barvou červenou. Pro hodnocení pracovní polohy na pracovišti OP580 byla vybrána poloha vkládání Worm Housingu do základacího přípravku stroje. Výsledky ergonomické analýzy výchozího stavu pracoviště OP580 jsou v následující tabulce č. 6.2.

Tabulka 6.2 Výsledky ergonomické analýzy pro výchozí stav pracoviště OP580

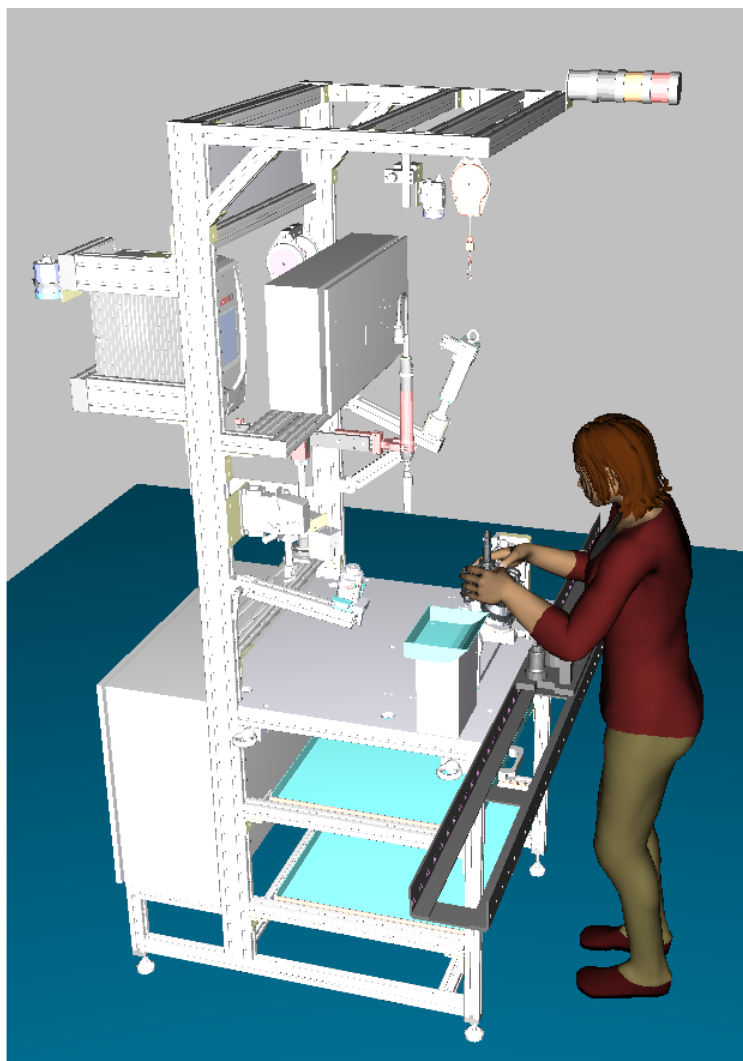
Část těla:	5.percentil	50. percentil	95. percentil
Hlava-krk	Přijatelné	Přijatelné	Podmíněně přijatelné
Trup	Podmíněně přijatelné	Podmíněně přijatelné	Přijatelné
Levá paže	Nepřijatelné	Podmíněně přijatelné	Podmíněně přijatelné
Pravá paže	Nepřijatelné	Podmíněně přijatelné	Podmíněně přijatelné
Levý loket	Přijatelné	Přijatelné	Přijatelné
Pravý loket	Přijatelné	Přijatelné	Přijatelné

Levé zápěstí	Přijatelné	Přijatelné	Přijatelné
Pravé zápěstí	Přijatelné	Přijatelné	Přijatelné
Kolena	Přijatelné	Přijatelné	Přijatelné
Chodidla	Přijatelné	Přijatelné	Přijatelné

Z tabulky výsledků vyplývá, že hlavní problematickou oblastí je poloha paží. Pro 5. percentil žen je poloha levé a pravé paže v této pracovní poloze v nepříjemné poloze, pro 50. a 95. percentil je tato poloha podmíněně přijatelná. Poloha trupu 5. a 50. percentilu je v podmíněně přijatelné poloze a poloha krční páteře pro 95. percentil je v podmíněně přijatelné poloze. Zjevnou příčinou nepříjemné polohy paží je vzdálenost základního přípravku stroje.

Navrhovaná úprava pracoviště obsahuje přemístění základního přípravku o 12,5 centimetrů blíže k operátorovi. Dále přiblížení odkládacího místa pro montážní přípravek a odkládacího místa pro lisovací zařízení.

Pro ověření navrhovaného opatření, byl výchozí model modifikován implementací navrhovaného opatření. Model s navrhnutým opatřením je vyobrazen na obrázku č. 6.5 níže.



Obrázek 6.5 Model upraveného stavu pracoviště OP580

Na nově vymodelovaném stavu pracoviště OP580 byla následně vypracována ergonomická analýza. Následující tabulka č. 6.3 zobrazuje porovnání hodnot analýzy výchozího stavu a po provedení přemístění základního přípravku o 12,5 cm blíže k operátorovi. K porovnání byly použity výsledky analýzy pro model ženy 5. percentilu populace, kde docházelo k nepřijatelné poloze levé a pravé paže.

Tabulka 6.3 Porovnání výsledků ergonomické analýzy pracoviště OP580

Část těla:	Výchozí stav	Navržený stav
Hlava-krk	Přijatelné	Přijatelné
Trup	Podmíněně přijatelné	Přijatelné
Levé nadloktí	Nepřijatelné	Podmíněně přijatelné
Pravé nadloktí	Nepřijatelné	Podmíněně přijatelné
Levý loket	Přijatelné	Přijatelné
Pravý loket	Přijatelné	Přijatelné
Levé zápěstí	Přijatelné	Přijatelné
Pravé zápěstí	Přijatelné	Přijatelné
Kolena	Přijatelné	Přijatelné
Chodidla	Přijatelné	Přijatelné

Z výše uvedené tabulky vyplívá výrazné zlepšení v oblasti horních končetin. Zde se hodnoty levé a pravé paže po použití navrženého opatření dostaly z oblasti nepřijatelné pracovní polohy do polohy podmíněně přijatelné. Díky přiblížení dosahové vzdálenosti, došlo ke zlepšení také v oblasti trupu, zde se hodnoty nyní nachází ve fyziologicky přijatelné poloze.

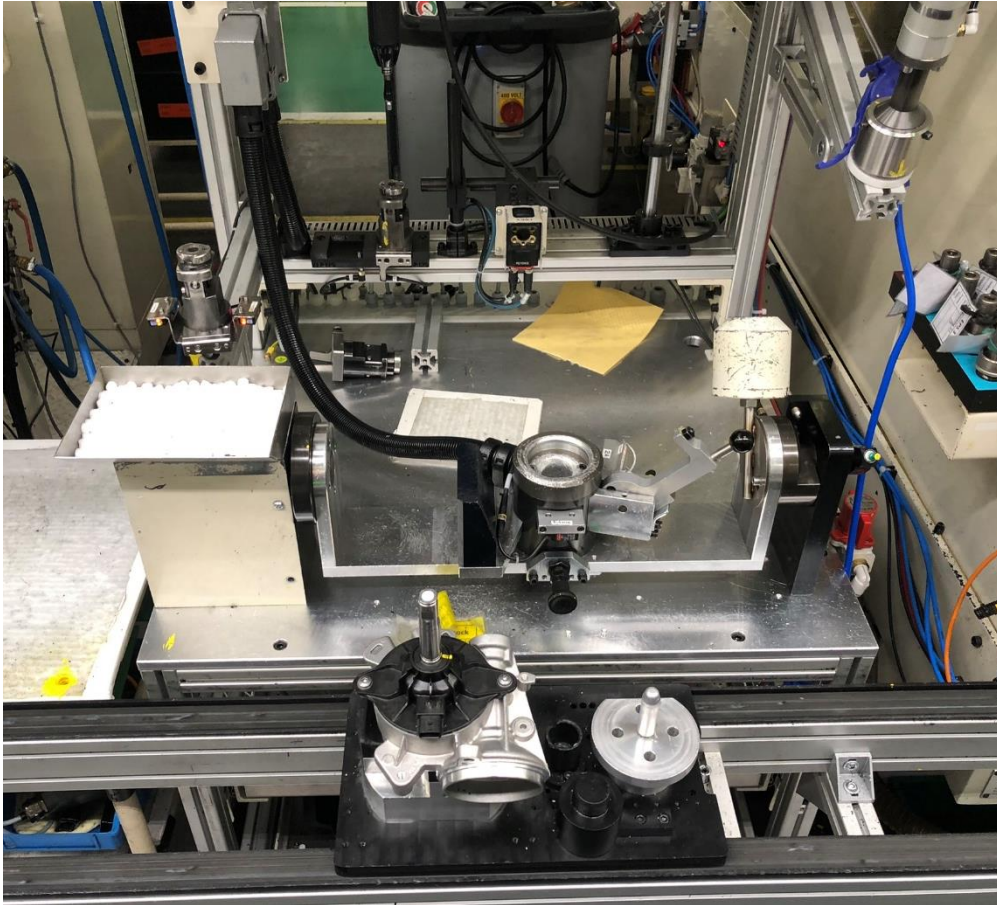
Z důvodu zkrácení manipulačních vzdáleností s jednotlivými díly, přípravky a zařízeními, byla vypracována MTM analýza, pro obsluhu stroje operátorem po implementaci navrhovaného opatření. MTM analýza je vyobrazena v tabulce č. 6.4 níže.

Tabulka 6.4 MTM analýza pracoviště OP580

Vykonávaná operace	Klasifikace MTM	Délka [mm]	TMU [-]
Sáhnout	R-A	25	8,8
Uchopit	G1A		2,0
Přemístit	MC	35	16,8
Umístit	P1-S-E		5,6
Sáhnout	R-A	10	6,1
Uchopit	G1A		2,0
Přemístit	M-A	5	4,1
Pustit	RL1		2,0
Sáhnout	R-A	40	11,3
Uchopit	G1A		2,0

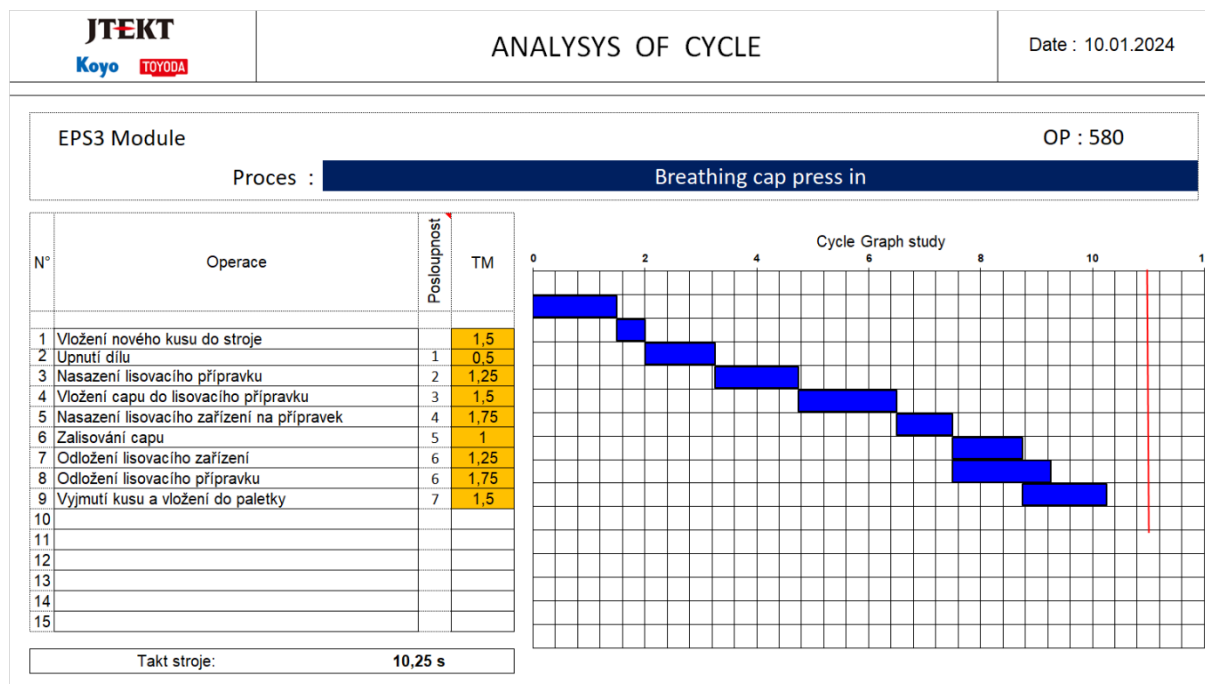
Přemístit	MC	40	18,5
Umístit	P2-S-E		16,2
Sáhnout	R-A	25	8,8
Uchopit	G1A		2,0
Funkce zraku	EF		7,3
Přemístit	MC	25	13,7
Umístit	P1-S-E		5,6
Sáhnout	R-A	45	12,1
Uchopit	G1A		2,0
Přemístit	MC	45	20,1
Otočit	T-M		8,5
Tlačit	APA		10,6
Přemístit	MC	45	20,1
Pustit	RL1		2
Sáhnout	R-A	45	12,1
Uchopit	G1A		2,0
Přemístit	MC	40	18,5
Umístit	P1-S-E		5,6
Sáhnout	R-A	40	11,3
Uchopit	G1A		2,0
Přemístit	MC	35	16,8
Umístit	P1-S-E		5,6
Suma TMU [-]			282,1
Přepočet TMU [s]			10,16

Z výsledku MTM analýzy pracoviště OP580 vychází, že teoretický manuální čas operátora pro obsluhu tohoto stroje je po ergonomické úpravě a tím přiblížení manipulačních vzdáleností, 10,16 sekundy. Z výchozí časové analýzy lze vidět, že manuální čas operátora před implementací tohoto opatření byl 11,5 sekundy. Po tomto opatření by tedy došlo k uspoření skoro 1,5 sekundy z manuálního času operátora. Z tohoto důvodu lze opatření přesunout do fáze testování. Pro test je nutno převrtat základací přípravek a upravit odkládací místa přípravku a lisovacího zařízení. Upravené pracoviště OP580 lze vidět na následujícím obrázku č. 6.6.



Obrázek 6.6 Pracoviště OP580 po implementaci opatření

Po úpravě pracoviště, kde došlo k přemístění základacího přípravku stroje, byl proveden řádný test nového stavu pracoviště. Následně byl natočen video snímek šesti po sobě jdoucích výrobních cyklů této výrobní pozice, ze kterého byla následně zhotovena časová analýza a na základě jej byly výsledky přeneseny do simmogramu, který se nachází na následujícím obrázku č. 6.7.

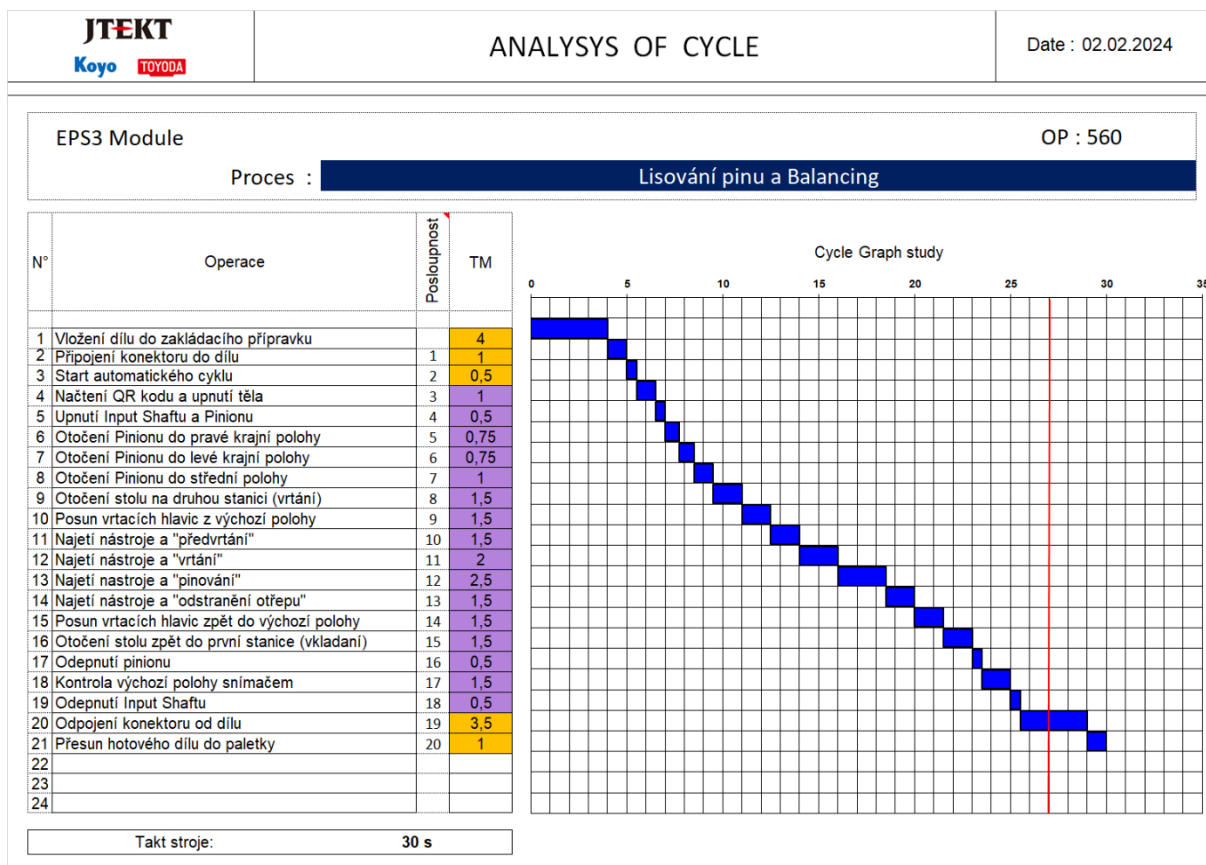


Obrázek 6.7 Simogram OP580 po implementaci opatření

Ze výsledků časové analýzy výše lze vidět, že manuální čas operátora nutný k obslužení výrobní pozice OP580 je po implementaci opatření 10,25 sekund. Manuální čas operátora před zavedením tohoto opatření byl 11,5 sekundy. Tímto opatřením se docílilo ušetření 1,25 sekundy z manuálního času operátora, zároveň došlo k výraznému zlepšení pracovní polohy vkládání dílu do zakládacího přípravku stroje a je tedy vyhodnocena jako vyhovující.

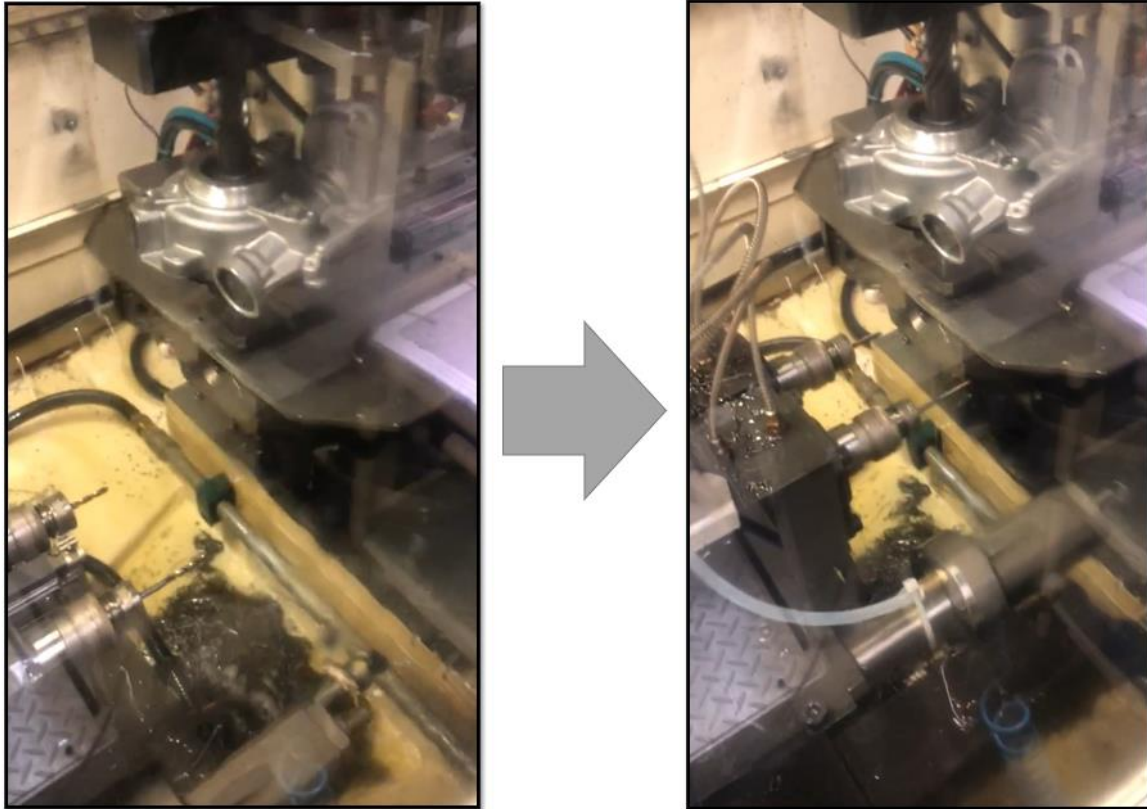
6.3 Změna NC programu stroje OP560

Z analýzy výchozího stavu linky EPS3 Modul bylo zjištěno, že výrobní pozici OP560 nestíhá výrobní takt linky a vzniká zde bottle-neck celé linky. Výrobní čas této výrobní pozice je 30 sekund (automatický čas stroje 22 sekund + manuální čas operátora 8 sekund). Takt celé linky je stanoven na 27 sekund. Z toho důvodu byla vytvořena detailnější časová analýza, která zahrnuje časy operací automatického cyklu stroje viz. následující obrázek č. 6.8.



Obrázek 6.8 Detailní simogram OP560

Po důkladné analýze natočeného snímku automatického cyklu stroje a časové analýzy, kde výsledky byly přeneseny do simogramu, bylo zjištěno, že operace č.10 a č.15, kde dochází k přesunu vrtacích hlavic z výchozí polohy do polohy pracovní a zpět, jsou strojem vykonávány až po otočení přípravkového stolu. Z důvodu ušetření času z automatického cyklu stroje, toto opatření navrhuje změnu NC programu stroje. Změna obsahuje spuštění operace č. 10 „Posun vrtacích hlavic z výchozí polohy“ zároveň s operací č.9 „Otočení stolu na druhou stanici (vrtání)“ a operaci č. 16 „Otočení stolu zpět do první stanice (vkládání)“ zároveň s operací č.15 „Posun vrtacích hlavic zpět do výchozí polohy“. Výchozí poloha a pracovní poloha vrtacích hlavic je vidět na následujícím obrázku č. 6.9.



Obrázek 6.9 Výchozí poloha (vlevo) a pracovní poloha (vpravo) OP560

Z časové analýzy, která je na obrázku č. 6.8 vychází, že tímto opatřením by se teoreticky docílilo ušetření přibližně 3 sekund. Z důvodu složité úpravy programu v PLC, kterou by musel provést francouzský výrobce stroje, nebyl tento návrh otestován a implementován v zimní odstávce linky. Opatření bylo zařazeno do plánu úprav linky při letní odstávce v roce 2024. Výsledek tohoto opatření je tedy pouze teoretický.

6.4 Optimalizace výrobních cyklů operátorů

Po implementaci všech návrhů opatření ke zvýšení efektivity a produktivity výrobní linky je nezbytné přizpůsobit k danému prostorovému uspořádání a ke zkráceným operačním časům také operační cykly jednotlivých operátorů. Na obrázku č. 6.10 lze vidět výchozí stav zkoumané části výrobní linky před navrhovanými opatřeními.



Obrázek 6.10 Výchozí rozmístění operátorů

Z tohoto stavu rozdělení výrobních operací mezi operátory lze vidět, že operátoři 4 a 5 nestíhají výrobní takt linky, který je stanoven na 27 sekund. Operátor č.4 má výrobní čas cyklu 30 sekund a operátor č. 5 čas 29 sekund. Zároveň lze vidět, že operátor č. 6, který obsluhuje výrobní pozice OP116 a OP580, zvládá tyto stroje obsloužit za 22 sekund a dochází k prostojům tohoto operátora. Cílem je takové optimální rozdělení výrobních pozic, aby všech 8 operátorů výrobní linky bylo schopno splnit své pracovní pozice do 27 sekund.

Po ověření všech předchozích opatření a řádném otestování, bylo navrženo nové rozložení výrobních operací operátorů. Tento návrh počítá se zkrácenými časy výrobních pozic a změnou prostorového rozmístění strojů v důsledku implementace předešlých návrhů na zlepšení chodu linky. Na obrázku č. 6.11 můžeme vidět nové navržené rozdělení výrobních operací jednotlivých operátorů.



Obrázek 6.11 Navrhované rozmístění operátorů

Pro ověření správnosti navrhovaného rozmístění operátorů, byly zhotoveny MTM analýzy jednotlivých cyklů operátorů (viz. příloha 3, 4 a 5). Výsledky MTM analýz jednotlivých operátorů byly přeneseny z důvodu přehlednosti do tabulky č. 6.5, která se nachází níže.

Tabulka 6.5 Výsledky MTM analýz operátorů části linky

Operátor:	TMU [-]	Čas cyklu operátora [s]
4	728,21	26,22
5	675,7	24,33
6	730	26,28

Návrh s novým rozložením výrobních operací mezi jednotlivé operátory významně zlepšuje chod celé linky. Bylo odstraněno mnohočetné přecházení uličky operátory, které kladně přispívá k hladšímu chodu celé linky. Mezi operátory vzniká průchozí ulička, kterou využívá mistr směny při případném výrobním problému na výrobních operacích. Dále se tímto opatřením zkrátily dlouhé vzdálenosti přecházení mezi jednotlivými stroji. To kladně přispívá k ušetření výrobního času operátorů. Výsledkem tohoto opatření je optimální rozdělení výrobních operací tak, aby všichni operátoři zvládali vykonat své výrobní cykly do zvoleného výrobního taktu linky, který je stanoven na 27 sekund.

7 Shrnutí navržených opatření

Tato kapitola obsahuje souhrn opatření, která byla navržena pro část výrobní linky EPS3 Modul. Tři ze čtyř opatření, které v práci byly uvedeny, byly v rámci praktické části řádně otestovány a byly zařazeny do plného provozu.

První opatření obsahuje změnu prostorového uspořádání operačních pozic OP580 a OP600, kde docházelo k vykonávání duplicitních operací natáčení výchozí polohy Input Shaftu. Na pozici OP600, která ve výchozím prostorovém uspořádání předcházela operační pozici OP580, se tato výchozí poloha nastavovala ručním otáčením hřídele, zatímco na operační pozici OP580, se tato výchozí poloha nastavovala pomocí lisovacího přípravku. K dvojímu nastavování výchozí pozice docházelo v důsledku, že po vykonání všech výrobních operací stroje OP600, se natočení Input Shaftu změnilo. Proto bylo navrženo toto opatření, které přesouvá operační pozici OP580 před operační pozici OP600. Výsledkem tohoto opatření je jednotné nastavení výchozí pozice Input Shaftu na pracovišti OP580, kde se po vykonání všech výrobních operací výchozí poloha hřídele nemění.

Přínos: Tímto opatřením bylo dosaženo ušetření 3,5 sekundy z manuální času operátora na výrobní pozici OP600.

Druhé opatření bylo vykonáno na operační pozici OP580, kde z ergonomického hlediska řeší nepříjemnou polohu horních končetin při operaci vkládání a upínání Worm-Housingu do základního přípravku stroje zejména pro 5. a 50. percentil žen. V rámci ergonomické úpravy pracoviště došlo k přesunutí základního přípravku o 12,5 cm blíže k operátorovi a přiblížení odkládacích míst pro montážní přípravek a lisovací zařízení.

Přínos: Výsledkem je změna pracovního polohy levé a pravé paže operátora z nepříjemné polohy, do polohy podmíněně přijatelné. Dále pozice zad byla opatřením přesunuta do fyziologicky přijatelné polohy. V důsledku zkrácení manipulačních vzdáleností, došlo zároveň ke snížení manuálního času operátora pro obsluhu této výrobní pozice o 1,5 sekundy.

Třetí opatření řeší výrobní čas operační pozice OP560, který přesahuje výrobní takt linky. Takt linky je stanoven na 27 sekund a z výchozí časové analýzy bylo zjištěno, že výrobní čas této výrobní pozice je 30 sekund, z toho 22 sekund času automatického a 8 sekund manuálního času operátora. Z tohoto důvodu byla vykonána detailnější časová analýza, která obsahovala detailní rozpad automatického času stroje na jednotlivé operace. Následně bylo navrženo opatření, ve kterém dochází ke změně NC programu stroje. Tato změna obsahuje vykonání dvou automatických operací stroje souběžně.

Přínos: Výsledkem tohoto opatření, je ušetření 3 sekund automatického času stroje a dosažení požadovaného výrobního času 27 sekund výrobní pozice OP560. Tímto opatřením byl zároveň odstraněn bottle-neck linky.

Čtvrté a poslední opatření praktické části diplomové práce je optimální rozdělení výrobních operací mezi operátory, které bylo nutné po implementaci předešlých navržených opatření. Z výchozí analýzy výrobní linky bylo zjištěno, že operátoři č. 4 a 5 nestíhají své výrobní operace do zvoleného taktu linky 27 sekund. Toto opatření tedy počítá s kratšími výrobními časy, které byly dosaženy pomocí prvního, druhého a třetího opatření a se změnou prostorového rozmístění strojů, které bylo vykonáno v opatření druhém.

Přínos: Výsledkem tohoto opatření je významné zlepšení průchodnosti výrobní linkou. Bylo odstraněno mnohočetné přecházení uličky linky operátory a tím

zkrácení vzdáleností přechodových vzdáleností, které měli operátoři mezi jednotlivými operačními pozicemi. Dále došlo k optimálnímu rozdělení výrobních operací operátorů a všichni operátoři nyní jsou schopni své výrobní pozice obsloužit v daném výrobním taktu 27 sekund.

Ekonomické zhodnocení

Výše uvedenými opatřeními došlo ke zkrácení výrobního taktu z původních 30 sekunda na požadovaných 27 sekund. Tato změna výrobního taktu linky značně přispívá k produktivitě linky. Výrobní kapacita linky před zavedením výše navrhovanými opatřeními činila 120 kusů za hodinu, po implementaci všech navrhovaných opatření došlo k zvýšení výrobní kapacity na 133,34 kusů za hodinu. Lze tedy říci, že díky navrhovaným opatřením výrobní linka může za hodinu vyrobit o 13 kusů více. Zkrácení výrobního taktu tímto dále přispělo ke snížení nákladů linky EPS3 Modul.

Závěr

Předložená diplomová práce, s tématem „Návrh na úpravu výrobní linky“, se věnuje analýze a návrhu opatření výrobní linky ve společnosti JTEKT Czech Republic s.r.o. Cílem bylo nalezení úzkých míst výrobního systému a navrhnutí opatření pro zvýšení efektivity a produktivity výrobní linky EPS3 Modul.

V teoretické části se diplomová práce zabývala racionalizací práce. Obsahovala základní pojmy z odvětví ergonomie, štíhlé výroby a přiblížila pojem montážní linky s taktovým výrobním systémem. Dále teoretická část popisovala jednotlivé metody měření a určování časů práce, kde bylo popsáno přímé měření pomocí chronometráže a nepřímé měření za pomoci metod předem určených časů. Následně se věnovala popisu ergonomické analýzy pracovních poloh, hodnocení dle Nařízení vlády 361/2008 Sb. a softwarové podpoře ergonomické analýzy. Teoretická část dále obsahovala představení společnosti, charakteristiku práce a portfolio vyráběných produktů. Dále se věnovala detailnímu popisu přiřazené výrobní linky, prostorovému uspořádání a popisu jednotlivých výrobních pozic.

Praktická část práce počínala důkladnou časovou analýzou jednotlivých pracovních pozic přiřazené výrobní linky EPS3 Modul. Následovala analýza získaných dat a vyhodnocení nalezených úzkých míst linky. Byla nalezena celkem čtyři úzká místa, kterým se zbytek diplomové práce věnovala, s cílem nalezením příčin a navrhnutí nápravných opatření. V prvním případě byla identifikována duplicitní operace na dvou sousedních pracovních pozicích, která byla odstraněna změnou prostorového uspořádání linky. Dále byla nalezena nepřijatelná pracovní poloha operátora, která byla eliminována pomocí úpravy ergonomie pracovního místa. V třetím případě byl identifikován bottle-neck celé linky, kde výrobní pozice nestíhala stanovený výrobní takt a byla navrhnutá úprava NC programu výrobního stroje. Ve čtvrtém případě bylo nalezeno nevhodné rozdělení výrobních operací jednotlivým operátorům linky, kteří díky tomu nestíhali výrobní takt linky a proto bylo navrhnuo nové rozdělení, které počítá s výše uvedenými nápravnými opatřeními. Navržená opatření byla ověřena pomocí MTM analýz výrobních cyklů jednotlivých operátorů. Tři ze čtyř opatření byla následně realizována a ověřena v reálném provozu s pozitivním výsledkem. Opatření, které obsahuje změnu NC programu, bylo z důvodu časové náročnosti zařazeno do plánu úprav linky při letní odstávce.

Na závěr nutno podotknout, že díky výše zmíněným nápravným opatřením bylo dosaženo požadovaného výrobního taktu 27 sekund z původních 30 sekund. Tím došlo ke zvýšení produkce linky z původních 120 vyrobených kusů za hodinu na 133,34 kusů za hodinu.

Seznam použité literatury

- [1] GILBERTOVÁ, S., MATOUŠEK, O. *Ergonomie – Optimalizace lidské činnosti*. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, 2002. ISBN 80-247-0226-6
- [2] CHUNDELA, Lubor a Oldřich MATOUŠEK. *Ergonomie: optimalizace lidské činnosti*. Vyd. 2. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2007. ISBN 978-80-01-03802-4.
- [3] VOLF, Jan. *Měření fyzické zátěže*, Plzeň, 2022. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni. Fakulta strojní.
- [4] SVOZILOVÁ, Alena. *Zlepšování podnikových procesů*. Expert (Grada). Praha: Grada, 2011. ISBN 978-80-247-3938-0.
- [5] Poka-yoke. [online]. [cit. 13.11.2023]. Dostupné z: <https://www.cems-cz.com/blog/240-poka-yoke>
- [6] Poka-Yoke, vizualizace. [online]. [cit. 13.11.2023]. Dostupné z: <https://lean6sigma.cz/poka-yoke-vizualizace>
- [7] KEŘKOVSKÝ, Miloslav. *Moderní přístupy k řízení výroby*. 2. vyd. C.H. Beck pro praxi. V Praze: C.H. Beck, 2009. ISBN 978-80-7400-119-2.
- [8] *Toyota Production System*. 4th. Taylor & Francis, 2011. ISBN 9781439820971.
- [9] *Výrobní a logistické systémy*. Západočeská univerzita v Plzni, 2005. ISBN 978-80-7043-416-1.
- [10] TOMEK, Gustav a VÁVROVÁ, Věra. *Řízení výroby*. 2., rozš. a dopl. vyd. Expert (Grada). Praha: Grada, 2000. ISBN 80-716-9955-1.
- [11] LHOTSKÝ, Oldřich, 2005. *Organizace a normování práce v podniku*. Vyd. 1. Praha: ASPI, 104 s. Lidské zdroje. ISBN 80-735-7095-5
- [12] *Analýza a měření práce*. Online. Dostupné z: <https://www.e-api.cz/25784n-analyza-a-mereni-prace>. [cit. 2024-04-13].
- [13] *Simmograme* [online]. [cit. 13.11.2023]. Dostupné z: <https://www.prosysteme.fr/table/methodes-industrialisation/index.html>
- [14] *J-Tekt*. [online]. [cit. 13.11.2023]. Dostupné z: WWW.Jtekt.cz/
- [15] *Archiv JTEKT Automotive Czech Plzen s.r.o.*
- [16] *METODY PŘEDEM STANOVENÝCH ČASŮ*. Online. In: . Dostupné z: http://www.kvs.tul.cz/download/pi_pvs/8_prednaska.pdf. [cit. 2023-11-28].
- [17] Ing. Marek Bureš, Ph.D. *MOST*. Online. In: . Dostupné z: http://www.kvs.tul.cz/download/pi_pvs/8_prednaska.pdf. [cit. 2023-11-28].
- [18] *Nařízení vlády č. 361/2007 Sb.* [online]. [cit. 28-11-2023]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2007-361>
- [19] *Tecnomatix Jack* [online]. [cit. 2023-04-12]. Dostupné z: <https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/products/tecnomatix/humanmodeling-simulation.html>
- [20] *Využití legislativy pro Tecnomatix Jack* [online]. [cit. 2023-04-12]. Dostupné z: <https://www.bozpinfo.cz/josra/vyuziti-legislativy-jako-soucasti-ergonomickehonastroje-tecnomatix-jack>

Příloha č. 1

MTM Normativ

Otočit - T (Turn)


Kód	Síla/váha (daN/kg)	Normované časové hodnoty v TMU pro úhly otáčení										
		30°	45°	60°	75°	90°	105°	120°	135°	150°	165°	180°
T-S	Malá: ≤ 1	2,8	3,5	4,1	4,8	5,4	6,1	6,8	7,4	8,1	8,7	9,4
T-M	Střední: > 1 do ≤ 5	4,4	5,5	6,5	7,5	8,5	9,6	10,6	11,6	12,7	13,7	14,8
T-L	Velká: > 5 do ≤ 16	8,4	10,5	12,3	14,4	16,2	18,3	20,4	22,2	24,3	26,1	28,2

Pohyby chodidel, nohou a trupu

Kód	TMU	Délka pohybu	Popis pohybu
FM	8,5	do 10 cm	Pohyb chodidla: kotník
FMP	19,1		Pohyb chodidla s vynaložením značné síly
LM-	7,1 0,5	do 15 cm každý další cm	Pohyb nohy Osa otáčení: kolenní nebo kýčelní kloub
SS-C1	17,0 0,2	< 30 cm 30 cm každý další cm	Úkrok: boční posun osy těla Sáhnout nebo Přemístit analyzujte Případ I: Úkrok je ukončen, jestliže pohybující noha opět stojí na podlaze.
SS-C2	34,1 0,4	30 cm každý další cm	Případ II: Přitažená noha musí stát opět na podlaze, aby bylo možné provést další pohyb.
TBC1	18,6		Otočení těla doleva nebo doprava o 45° až 90° Případ I: Otočení těla je dokončeno, jestliže pohybující se noha, stojí opět na podlaze.
TBC2	37,2		Případ II: Přitažená noha musí stát opět na podlaze, aby bylo možné provést další pohyb.
B, S, KOK AB, AS, AKOK	29,0 31,9		Ohnout, Shýbnout nebo Kleknout na jedno koleno Vzpřímít se z Ohnutí, Shýbnutí, Kleknutí na 1 koleno
KBK AKBK	69,4 76,7		Kleknutí na obě kolena Vzpřímít se z Kleknutí na obě kolena
SIT STD	34,7 43,4		Sednout Vstát ze sedu
W - P	15,0	za 1 krok	Chůze
W - PO	17,0	za 1 krok	Chůze omezená a /nebo se zátěží > 23 kg

Original MTM-Karte 101 A z 1955 – Autorské právo U.S. MTM Association pro standardy a výzkum

Chráněno autorskými právy – Patisk zakázán – Copyright © 1955 ... © 2008
Registrováno v německém autorském právu patentového úřadu pod č. 59

MTM ASSOCIATION e. V. Elbchaussee 352, 22609 Hamburg Telefon: +49 40 822779-0 Telefax: +49 40 822779-79 contact@mtm.org		MTM-1® Datová karta (SI – metrický systém)		
Bez předchozího odborného školení může vést používání této datové karty Normovaných časových hodnot MTM k nesprávným výsledkům.				
Normované časové hodnoty na této datové kartě odpovídají výkonu 100% podle LMS	Přehled časových hodnot			
	TMU	Sek.	Min.	Hod.
	1	0,036	0,0006	0,00001
	27,8	1		
	1 666,7		1	
				1

Tabulka současných pohybů

		Oddělit D		Umístit P			Uchopit G			Přemístit M			Sáhnout R		
		2	1E 1D	1NS 2SS 2NS	1SS 2S	1S	4	1B 1C	1A 2 5	C	B	A Bm	C D	B AE	
Sáhnout R	A, E														
	B														
	C, D														
Přemístit M	A, Bm														
	B														
	C														
Uchopit G	1A, 2, 5														
	1B, 1C														
	4														
Umístit P	1S														
	1SS, 2S														
	1NS, 2SS, 2NS S														
Oddělit D	1E, 1D														
	2														

Možnost provedení současných pohybů:
 ■ = snadno
 ■ = po zaučení
 ■ = těžko i po zaučení, analyzovat jako pohyby jdoucí za sebou

W: uvnitř normálního zorného pole
 O: mimo normální zorné pole
 E: jednoduchá manipulace
 D: Obtížná manipulace

Základní pohyby, které nejsou uvedeny v tabulce:
T Otočit snadno se všemi základními pohyby výjma D a takového případu T, který vyžaduje kontrolu
AP Tlačit každý případ prozkoumat
P3 Umístit vždy obtížně
D3 Oddělit za normálních okolností obtížně
RL Pustit vždy snadno
D Oddělit každá třída soudržnosti obtížně. Pokud je nutné zaučení a pokud je třeba brát ohled na možnost poranění ruky či poškození předmětu

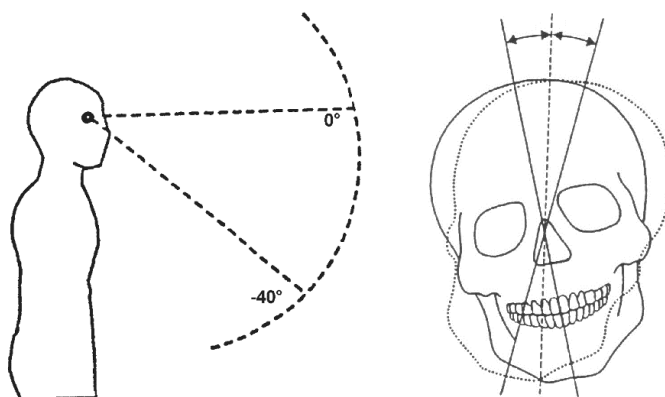
Funkce zraku

Kód	TMU	Popis
ET	15,2 × T/D max. 20,0	Přesunutí pohledu (Eye Travel) T = Vzdálenost mezi zornými body D = Vzdálenost očí od spojnice mezi zornými body
EF	7,3	Kontrola (Eye Focus)

Příloha č. 2

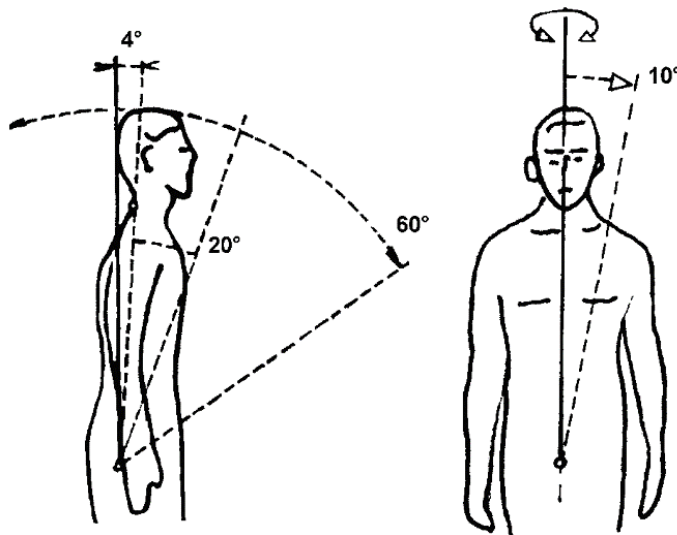
Limity NV 361/2007

Limity pro hlava a krk



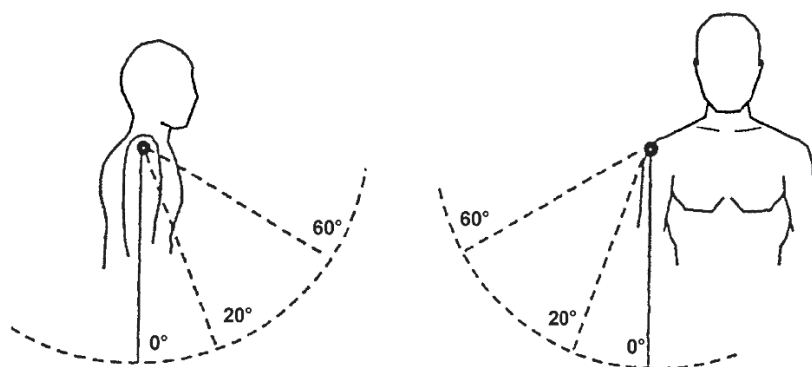
poloha	přijatelná	podmíněně přijatelná	nepřijatelná
rotace šije	0° - 15°	15° a více	15° a více
úklon šije	0° - 15°	15° a více	15° a více
předklon/záklon	0° - 25°	25° - 40°	40° a více
		0° - -15°	-15° a více

Limity pro trup



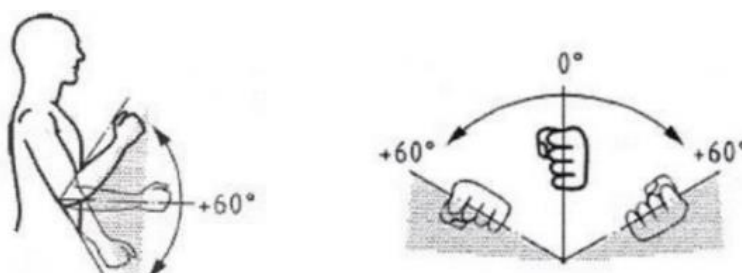
poloha	přijatelná	podmíněně přijatelná	nepřijatelná
předklon/záklon	0° - 40°	40° - 60°	60° a více
		0° a méně	0° a méně
úklon	0° - 20°	20° a více	20° a více
otočení	0° - 20°	20° a více	20° a více

Limity pro ramena



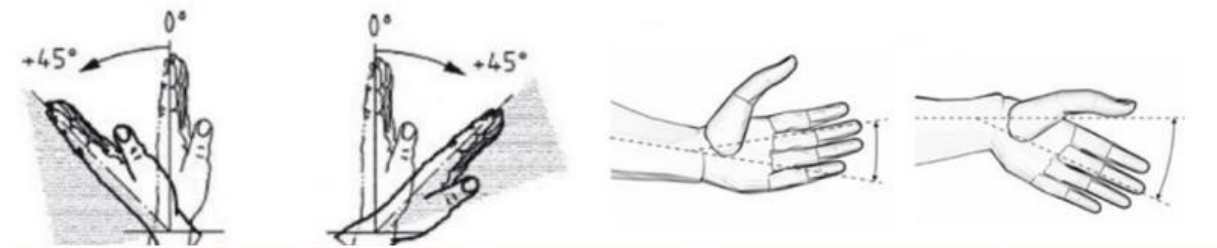
poloha	přijatelná	podmíněně přijatelná	nepřijatelná
předpažení/zapažení	0° - 40°	40° - 60°	60° a více
		0° a méně	0° a méně
upažení	0° - 40°	40° - 60°	60° a více

Limity pro loket



poloha	přijatelná	nepřijatelná
ohyb – flexe/extenze	0° - 60°	60° a více
	-60° - 0°	-60° a méně
rotace	0° - 60°	60° a více
	-60° - 0°	-60° a méně

Limity pro zápěstí



poloha	přijatelná	nepřijatelná
dorsální flexe	0° - 45°	45° a více
palmární flexe	0° - 45°	45° a více
radiální deviace	0° - 15°	15° a více
ulnární deviace	0° - 20°	20° a více

Příloha č. 3

MTM Analýza operátora č. 4

Obsluhovaný stroj	Vykonávaná operace	Klasifikace MTM	Délka [mm]	TMU [-]
1. OP560	Sáhnout	R-A	50	13
	Uchopit	G1A		2,0
	Oddělit	D2D		11,8
	Přemístit	M-A	25	11,5
	Pustit	RL1		2
	Sáhnout	R-A	25	8,8
	Uchopit	G1A		2,0
	Přemístit	M-C	50	21,8
	Umístit	P1-S-E		5,6
	Sáhnout	R-A	30	9,5
	Uchopit	G1A		2,0
	Přemístit	M-C	55	23,5
	Otočit	T-M 90°		8,5
	Umístit	P2-S-E		16,2
	Sáhnout	R-B	25	11,7
	Uchopit	G1A		2,0
	Přemístit	M-C	25	13,7
	Funkce zraku	EF		7,3
	Umístit	P2-S-E		16,2
	Sáhnout	R-A	70	16,5
Tlačit	AF		3,4	
Otočit tělo	TBC1		18,6	
Chůze ke stroji OP230	W-P	4	60	
2. OP230	Sáhnout	R-B	50	13
	Uchopit	G1A		2,0
	Přemístit	M-C	45	20,1
	Umístit	P1-S-E		5,6
	Sáhnout	R-B	50	13
	Uchopit	G1A		2,0
	Přemístit	M-C	45	20,1
	Umístit	P1-S-E		5,6
Tlačit	AF		3,4	

	Čekání			83,33
	Přemístit	M-C	25	13,7
	Čekání			27,78
	Přemístit	M-C	50	21,8
	Umístit	P1-S-E		5,6
	Otočit tělo	TBC1		18,6
	Chůze ke stroji OP560	W-P	4	60
	Čekání na dokončení aut. cyklu stroje OP560			125
Suma TMU [-]				728,21
Přepočet TMU [s]				26,216

Příloha č. 4

MTM Analýza operátora č. 5

Obsluhovaný stroj	Vykonávaná operace	Klasifikace MTM	Délka [mm]	TMU [-]
1. OP580	Sáhnout	R-A	25	8,8
	Uchopit	G1A		2,0
	Přemístit	MC	35	16,8
	Umístit	P1-S-E		5,6
	Sáhnout	R-A	10	6,1
	Uchopit	G1A		2,0
	Přemístit	M-A	5	4,1
	Pustit	RL1		2,0
	Sáhnout	R-A	40	11,3
	Uchopit	G1A		2,0
	Přemístit	MC	40	18,5
	Umístit	P2-S-E		16,2
	Sáhnout	R-A	25	8,8
	Uchopit	G1A		2,0
	Funkce zraku	EF		7,3
	Přemístit	MC	25	13,7
	Umístit	P1-S-E		5,6
	Sáhnout	R-A	45	12,1
	Uchopit	G1A		2,0
	Přemístit	MC	45	20,1
	Otočit	T-M		8,5
	Tlačit	APA		10,6
	Přemístit	MC	45	20,1
	Pustit	RL1		2
	Sáhnout	R-A	45	12,1
	Uchopit	G1A		2,0
Přemístit	MC	40	18,5	
Umístit	P1-S-E		5,6	
Sáhnout	R-A	40	11,3	
Uchopit	G1A		2,0	
Přemístit	MC	35	16,8	
Umístit	P1-S-E		5,6	

	Otočit tělo	TBC1		18,6
	Chůze ke stroji OP600	W-P	4	60
2. OP600	Sáhnout	R-A	50	13
	Uchopit	G1A		2,0
	Oddělit	D2D		11,8
	Pustit	RL1		2
	Uchopit	G1A		2,0
	Přemístit	MC	40	18,5
	Umístit	P1-S-E		5,6
	Čekání 1,5s			42
	Sáhnout	R-A	20	7,8
	Uchopit	G1A		2,0
	Přemístit	MC	50	21,8
	Umístit	P1-S-E		5,6
	Sáhnout	R-A	40	11,3
	Uchopit	G1A		2,0
	Funkce zraku	EF		7,3
	Přemístit	MC	40	18,5
	Umístit	P2-S-E		16,2
	Sáhnout	R-A	20	7,8
	Uchopit	G1A		2,0
	Přemístit	MC	20	11,7
	Umístit	P1-S-E		5,6
	Sáhnout	R-A	70	16,5
	Tlačit	AF		3,4
	Otočit tělo	TBC1		18,6
	Chůze ke stroji OP580	W-P	4	60
Suma TMU [-]				675,7
Přepočet TMU [s]				24,33

Příloha č. 5

MTM Analýza operátora č. 6

Obsluhovaný stroj	Vykonávaná operace	Klasifikace MTM	Délka [mm]	TMU [-]	
1. OP116	Sáhnout	R-A	50	13	
	Uchopit	G1A		2,0	
	Přemístit	M-C	50	21,8	
	Umístit	P1-S-E		5,6	
	Sáhnout	R-A	30	9,5	
	Uchopit	G1A		2,0	
	Přemístit	M-C	55	23,5	
	Umístit	P2-S-E		16,2	
	Sáhnout	R-A	70	16,5	
	Tlačit	AF		3,4	
	Otočit tělo	TBC1		18,6	
	Chůze ke stroji OP210	W-P	2	30	
	2. OP210	Sáhnout	R-A	30	9,5
		Uchopit	G1A		2,0
Přemístit		M-C	50	21,8	
Funkce zraku		EF		7,3	
Přemístit			5	5,8	
Přemístit		M-C	50	21,8	
Umístit		P2-S-E		16,2	
Sáhnout		R-A	40	11,3	
Uchopit		G1A		2,0	
Přemístit		M-C	40	18,5	
Funkce zraku		EF		7,3	
Umístit		P1-S-E		5,6	
Sáhnout		R-A	40	11,3	
Uchopit		G1A		2,0	
Přemístit		M-C	40	18,5	
Funkce zraku		EF		7,3	
Otočit		T-M 180°		14,8	
Umístit		P2-S-E		16,2	
Sáhnout		R-A	40	11,3	
Uchopit		G1A		2,0	
Přemístit	M-C	40	18,5		

	Funkce zraku	EF		7,3
	Umístit	P2-S-E		16,2
	Otočit	T-M 180°		14,8
	Přehmátnout	G2		5,6
	Otočit	T-M 180°		14,8
	Přehmátnout	G2		5,6
	Otočit	T-M 180°		14,8
	Sáhnout	R-A	30	9,5
	Uchopit	G1A		2,0
	Přemístit	M-A	30	12,7
	Pustit	RL1		2,0
	Otočit tělo	TBC1		18,6
	Chůze ke stroji OP220	W-P	2	30
3. OP220	Sáhnout	R-A	40	11,3
	Uchopit	G1A		2,0
	Přemístit	M-C	40	18,5
	Umístit	P1-S-E		5,6
	Sáhnout	R-A	25	8,8
	Uchopit	G1A		2,0
	Přemístit	M-C	45	20,1
	Umístit	P2-S-E		16,2
	Sáhnout	R-A	70	16,5
	Tlačit	AF		3,4
	Otočit tělo	TBC1		18,6
	Chůze ke stroji OP116	W-P	4	60
Suma TMU [-]				730
Přepočet TMU [s]				26,28