

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N0715A270011 - **Obrábění, aditivní
technologie a zabezpečování kvality**

Studijní specializace: **Bez specializace**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Zrychlení výrobní linky šnekového soukolí ve firmě
JTEKT Automotive Czech Plzeň s.r.o.**

Autor: Bc. Jáchym VAŠÍČEK
Vedoucí práce: Ing. Jan KUTLWAŠER, Ph.D.
Odborný konzultant: Ing. Štěpán VARGA

Akademický rok 2020/2021

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2020/2021

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Jáchym VAŠÍČEK**
Osobní číslo: **S19N0031P**
Studijní program: **N0715A270011 Obrábění, aditivní technologie a zabezpečování kvality**
Studijní obor: **Obrábění, aditivní technologie a zabezpečování kvality**
Téma práce: **Zrychlení výrobní linky šnekového soukolí ve firmě JTEKT Automotive Czech Plzeň s.r.o.**
Zadávající katedra: **Katedra technologie obrábění**

Zásady pro vypracování

1. Teoretický rozbor dané problematiky
2. Analýza současného stavu
3. Návrh opatření pro zvýšení taktu výrobní linky
4. Závěr

Rozsah diplomové práce: **50 – 70 stran**
Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

- TOMEK, G., VÁVROVÁ, V. Řízení výroby. 2., rozš. a dopl. vyd. Praha: Grada, 2000. Expert (Grada). ISBN 80-71-69-955-1.
- HIROYUKI, H.: 5S pro operátory: 5 pilířů vizuálního pracoviště. Brno: SC&C Partner, 2009. ISBN 978-80-904099-1-0.
- ZELENKA, A., PRECLÍK, V. Racionalizace výroby. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2004. ISBN 80-01-02870-4.
- ZELENKA, A., KRÁL, M. Projektování výrobních systémů. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1995. ISBN 80-01-01302-2.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jan Kutlwašer, Ph.D.**
Katedra technologie obrábění

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

Datum zadání diplomové práce: **15. října 2020**
Termín odevzdání diplomové práce: **28. května 2021**

L.S.

Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan

Doc. Ing. Jan Řehoř, 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 PRÁCE

AUTOR	Příjmení Vašíček	Jméno Jáchym	
STUDIJNÍ PROGRAM	N0715A270011 Obrábění, aditivní technologie a zabezpečování kvality		
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Kutlwašer, Ph.D.	Jméno Jan	
PRACOVISŤE	ZČU - FST - KTO		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Zrychlení výrobní linky šnekového soukolí ve firmě JTEKT Automotive Czech Plzeň s.r.o.		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KTO	ROK ODEVZD.	2021
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	62	TEXTOVÁ ČÁST	45	GRAFICKÁ ČÁST	17
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

STRUČNÝ POPIS ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	Diplomová práce se zabývá návrhem a realizací zrychlení výrobní linky šnekového soukolí ve společnosti JTEKT Automotive Czech Plzeň s.r.o. z původních 38 sekund na 27 sekund. Práce je zaměřena na tři výrobní operace, které jsou zde individuálně rozebrány s důrazem na snížení jejich výrobního času. V rámci řešení je využito MTM analýzy a simogramu.
KLÍČOVÁ SLOVA	zvýšení produktivity, výrobní linka, šnekové soukolí, racionalizace, MTM analýza, simogram

SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

AUTHOR	Surname Vašíček		Name Jáchym	
STUDY PROGRAMME	N0715A270011 Machining, Additive Technology and Quality Assurance			
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Kutlwašer, Ph.D.		Name Jan	
INSTITUTION	ZČU - FST - KTO			
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable	
TITLE OF THE WORK	Increase of worm drive line productivity in JTEKT Automotive Czech Plzen s.r.o.			

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machining Technology	SUBMITTED IN	2021
----------------	------------------------	-------------------	----------------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	62	TEXT PART	45	GRAPHICAL PART	17
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	The diploma thesis deals with the design and implementation of the speed up of the worm drive manufacturing process in JTEKT Automotive Czech Plzeň s.r.o. from 38 seconds to 27 seconds. The thesis is focused on three stages of the manufacturing process, which are individually analysed here with the emphasis on reduction of their production time. The solution uses MTM analysis and also the simogramme.
KEY WORDS	productivity increase, production line, worm drive, rationalization, MTM analysis, simogramme

Obsah

Zadání	2
Přehled použitých zkratk a symbolů.....	9
Seznam obrázků	10
Seznam tabulek	12
Seznam příloh.....	13
1 Úvod.....	14
2 Charakteristika práce výrobní linky ve společnosti JTEKT.....	15
2.1 Produktová řada výrobků společnosti JTEKT.....	15
2.2 Šnekové soukolí.....	16
2.2.1 Šneková hřídel.....	17
2.2.2 Kolo.....	17
2.3 Analýza výchozí linky P-EPS2.....	18
2.3.1 PWS210 WS thread cutting.....	19
2.3.2 PWS220 WS outer grinding	20
2.3.3 PS210 R/G pressin	21
2.3.4 PS220 R/G hobbing.....	22
2.3.5 PS260 distance and runout inspection.....	23
2.3.6 PWS230 thread grinding	24
2.3.7 WS cleaning	24
2.3.8 PWS240 matching.....	25
3 Racionalizace práce v oblasti strojírenské výroby	26
3.1 Výrobní proces	27
3.2 Racionalizace práce	28
3.2.1 Základní postup racionalizace práce	28
3.2.2 Štíhlá výroba	28
3.2.3 Zásady implementace štíhlé výroby	29
3.2.4 Štíhlé pracoviště	30
3.3 Metody předem stanovených časů.....	31
3.3.1 Metoda analýzy pohybových modelů.....	31
3.3.2 MTM analýza	32
3.3.3 Simogram	32
3.4 Kontrola dílů v JTEKT	33
3.4.1 Měřicí zařízení Klingelberg P26	33
3.4.2 Parametry kontrolované šnekové hřídele	34

3.5	Stabilita procesu	40
3.6	Značení brusných kotoučů.....	42
4	Návrh opatření pro zvýšení taktu výrobní linky.....	43
4.1	Stroj PWS210 nestíhá výrobní čas	43
4.2	Stroj PWS230 nestíhá výrobní čas	46
4.3	Operátor nestíhá všechny svoje výrobní pozice	52
4.4	Shrnutí hlavních opatření.....	59
5	Závěr.....	61
	Seznam použité literatury	62
	PŘÍLOHA č. 1	i
	PŘÍLOHA č. 2	iii

Přehled použitých zkratk a symbolů

FST	Fakulta strojní
JTEKT	JTEKT Automotive Czech Plzeň s.r.o.
TMU	z anglického Time Measurement Units – Jednotka měření času
WS	z anglického Worm Shaft – šneková hřídel
ZČU	Západočeská univerzita v Plzni

Seznam obrázků

- Obr. 2.1: Logo společnosti JTEKT [4]
Obr. 2.2: Výrobní závod společnosti JTEKT [4]
Obr. 2.3: DP-EPS systém řízení společnosti JTEKT [4]
Obr. 2.4: Detail DP-EPS systému řízení společnosti JTEK [4]
Obr. 2.5: Šneková hřídel [4]
Obr. 2.6: Globoidní kolo [4]
Obr. 2.7: Výchozí rozvržení výrobní linky P-EPS2 [4]
Obr. 2.8: Stroj PWS210 thread cutting [4]
Obr. 2.9: Schéma upnutí a obrábění na stroji PWS210 [4]
Obr. 2.10: Stroj PWS220 WS outer grinding [4]
Obr. 2.11: Stroj PS210 R/G pressin [4]
Obr. 2.12: Stroj PS220 R/G hobbing [4]
Obr. 2.13: Stroj PS260 Distance and runout inspection [4]
Obr. 2.14: Stroj PWS230 Thread grinding [4]
Obr. 2.15: Stroj PWS240 Matching [4]
Obr. 3.1: Cíle racionalizace v podniku [7]
Obr. 3.2: Zjednodušené schéma struktury výrobně-montážního systému [7]
Obr. 3.3: Principy štíhlého pracoviště [7]
Obr. 3.4: Zařízení Klingelberg P26 [4]
Obr. 3.5: Základní rozdělení šnekové hřídele [4]
Obr. 3.6: Využitá technologie obrábění pro zvolení správné metody vyhodnocení měření [4]
Obr. 3.7: Zobrazení základních parametrů šnekové hřídele [4]
Obr. 3.8: Způsob hodnocení profilu [4]
Obr. 3.9: Způsob hodnocení stoupání závitu [4]
Obr. 3.10: Způsob hodnocení rozteče zubů [4]
Obr. 3.11: Ukázka vyhodnocení indexu způsobilosti procesu ve společnosti JTEKT [4]
Obr. 4.1: Záměna destiček pro zrychlení frézovací operace [4]
Obr. 4.2: Ukázka parametru ffb z prvního testu stability procesu – nevyhovující [4]
Obr. 4.3: Ukázka parametru ffb z druhého testu stability procesu – vyhovující [4]
Obr. 4.4: Vzniklé plošky při jednopřúchodovém broušení [4]
Obr. 4.5: Systém přívodu chladicí kapaliny - vlevo původní, vpravo nový [4]
Obr. 4.6: Vizualní kontrola mikroskopem broušeného profilu po jednopřúchodovém broušení [4]
Obr. 4.7: Grafické znázornění přesunu strojů mezi linkami [4]

Obr. 4.8: Výchozí stav rozložení linky [4]

Obr. 4.9: Nové rozložení výrobní linky P-EPS2 [4]

Obr. 4.10: Navržený koncový díl systému chlazení a čištění [4]

Obr. 4.11: Simogram [4]

Obr. 4.12: Navržené rozložení výrobní linky P-EPS2 [4]

Seznam tabulek

Tab. 3.1: Převod mezi TMU a standardními časovými jednotkami

Tab. 3.2: Základní parametry zařízení Klingelberg P26

Tab. 3.3: Základní parametry šnekové hřídele

Tab. 3.4: Základní parametry pro hodnocení profilu

Tab. 3.5: Základní parametry pro hodnocení stoupání závitu

Tab. 3.6: Základní parametry pro vyhodnocení rozteče

Tab. 4.1: Kompletní vyhodnocení stability procesu

Tab. 4.2: Náměry hodnot drsností pro stávající systém chlazení

Tab. 4.3: Náměry hodnot drsností pro nový systém chlazení

Tab. 4.4: Porovnání drsnosti broušených ploch

Tab. 4.5: MTM analýza nového návrhu rozložení výrobní linky

Seznam příloh

PŘÍLOHA č. 1 - Výkres nového systému chlazení a čištění WS

PŘÍLOHA č. 2 - Normativ pro MTM analýzu

1 Úvod

Téma předložené diplomové práce se nazývá Zrychlení výrobní linky šnekového soukolí ve společnosti JTEKT Automotive Czech Plzeň s.r.o. Toto téma je navrženo z důvodu kapacitního zvýšení požadavků zákazníků společnosti JTEKT Automotive Czech Plzeň s.r.o. (dále jen JTEKT). S ohledem na zvolené téma jsou v práci použity vybrané metody pro analýzu jednotlivých procesů a na základě vyhodnocení je navrženo opatření, které povede k cíli této práce. Navržená opatření jsou v samém závěru zhodnocena.

Toto téma je zpracováno na základě mého úkolu v rámci studentského programu, který společnost JTEKT vytvořila ve spolupráci s Fakultou strojní v Plzni. Pomoci se mi dostalo od zkušeného kolektivu z úseku Nové projekty, a to zejména od mně přiděleného konzultanta Ing. Štěpána Vargy.

Diplomová práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. Teoretická část se zaměřuje na výběr metody měření časů. Praktická část je zaměřena na realizaci návrhu, který vychází ze studie časové metody. Na závěr práce je provedeno zhodnocení inovace.

Cílem práce je návrh zrychlení výrobní linky šnekového soukolí ve společnosti JTEKT.

2 Charakteristika práce výrobní linky ve společnosti JTEKT

Praktická část této diplomové práce je řešena na vybrané výrobní lince v provozu společnosti JTEKT Automotive Czech Plzen s.r.o.



Obr. 2.1: Logo společnosti JTEKT [4]

Společnost JTEKT je součástí japonského koncernu JTEKT Corporation a zabývá se výrobou a montáží systémů řízení pro osobní automobily. Společnost JTEKT působí na trhu již od roku 2005. Díky svým zkušenostem a vysoké kvalitě výrobků dodává systémy řízení pro osobní automobily světových značek (např. Toyota, Renault, Mercedes, Audi, Škoda a Peugeot). V posledních letech společnost JTEKT získala několik velkých zakázek na výrobu systémů řízení. S těmito zakázkami vznikl velký tlak na proces výroby, který je třeba neustále zefektivňovat tak, aby společnost dokázala uspokojit své zákazníky a zůstala konkurenceschopná na trhu. JTEKT se díky tomu rozhodla investovat do optimalizace procesu a zefektivnění výroby. Společnost věnuje pozornost odstranění plýtvání ve výrobní oblasti a zredukovat štihlá místa ve výrobě, která redukují kapacitu výroby na výrobních linkách. [7]



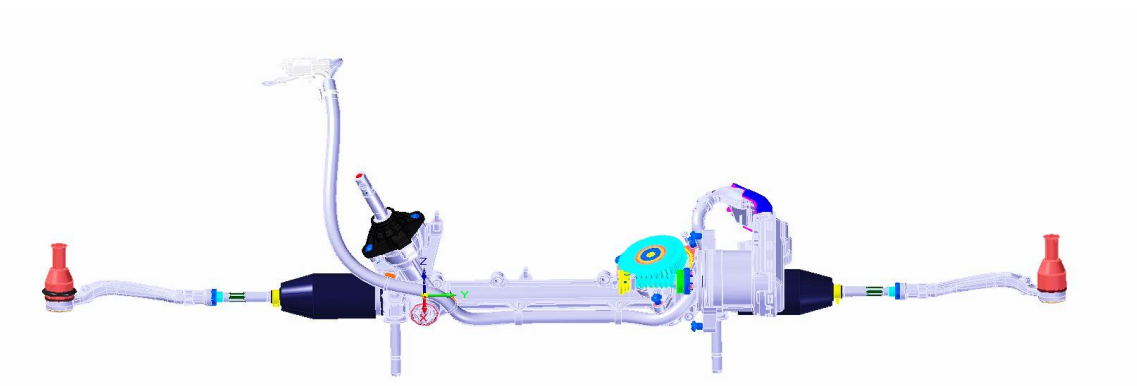
Obr. 2.2: Výrobní závod společnosti JTEKT [4]

2.1 Produktová řada výrobků společnosti JTEKT

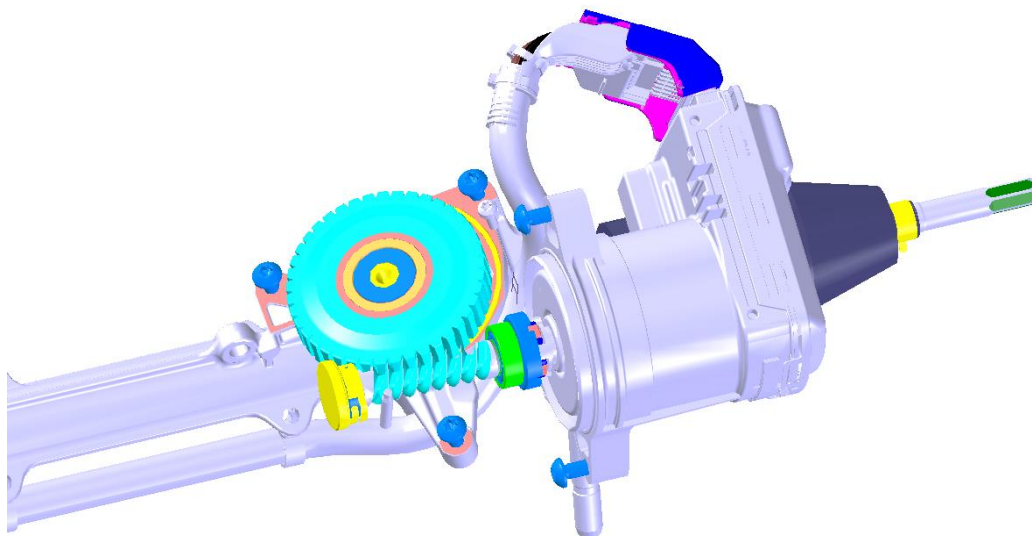
Společnost JTEKT vyrábí několik systémů řízení pro osobní automobily. Vyráběné řízení lze rozdělit na tři typy. Prvním typem je C-EPS+MS Gear (Column Electric Power Steering + Manual Steering Gear / sloupek elektrického posilovače řízení + ruční řízení). Druhým typem je P-EPS – (Pinion Electric Power Steering / elektrický posilovač řízení s pastorkem). Třetím a nejsložitějším řízením je DP-EPS – (Dual Pinion Electric Power Steering / elektrický posilovač řízení s dvojitým pastorkem).

2.2 Šnekové soukolí

Na Obr. 2.3 a Obr. 2.4 lze vidět světle modré šnekové soukolí. Soukolí je základním prvkem celého systému řízení, které přenáší točivý moment elektrického posilovače na ramena řízení a pomáhá tak řidiči se zatáčením vozu. V osobním voze se nacházejí tři základní kritické systémy, které musí být nezávislé a musí být natolik bezpečné, aby neohrozily posádku i při nenadálých situacích. Systém řízení je v osobním automobilu jeden z těchto kritických systémů. Z tohoto důvodu je na celý systém kladen veliký důraz při výrobě z hlediska kvality a technologie.



Obr. 2.3: DP-EPS systém řízení společnosti JTEKT [4]



Obr. 2.4: Detail DP-EPS systému řízení společnosti JTEK [4]

2.2.1 Šneková hřídel

Jedná se o válcový šnekový hřídel z materiálu 44SMn28. Ve společnosti JTEKT jsou dva závity na šnekové hřídeli standardem. Standard je dán technologií výroby se zaměřením na zachování přenosu síly z elektromotoru a výrobního času linky.



Obr. 2.5: Šneková hřídel [4]

2.2.2 Kolo

Sestava se skládá z nalisovaného plastového kola a hřídele, která přenáší sílu na hřeben řízení. Do plastového kola je vyrobeno globoidní ozubení, které je v kontaktu se šnekovou hřídelí.



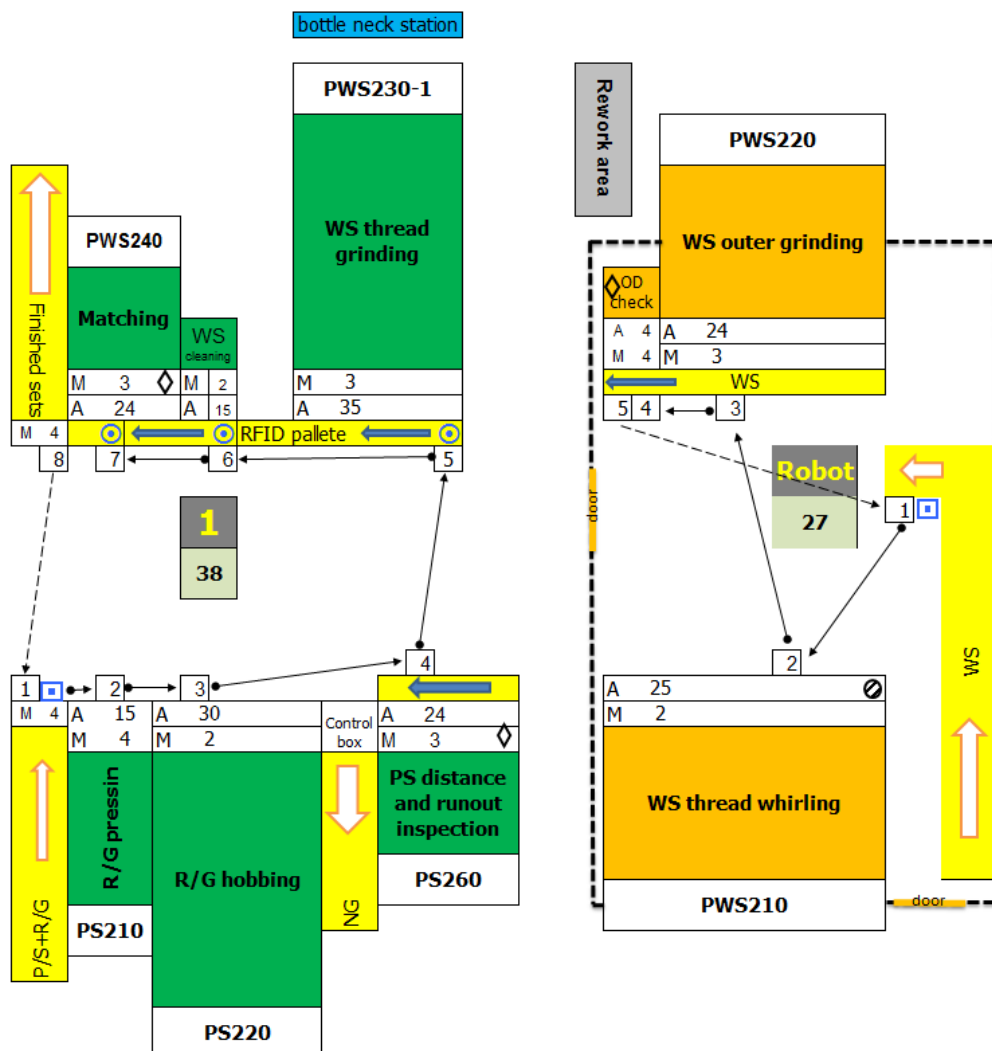
Obr. 2.6: Globoidní kolo [4]

2.3 Analýza výchozí linky P-EPS2

Výrobní linka P-EPS2 je na počátku výrobního cyklu systému řízení ve společnosti JTEKT se specializací na výrobu šnekového soukolí. Výrobní linka je rozdělena na dvě části. Rozdělena je na základě počtu operátorů a jejich aktivních výrobních pozic. Výrobní linka byla spuštěna v roce 2017, kdy kapacitně dopomohla výrobní lince P-EPS1.

Na Obr. 2.7 je schematicky znázorněno rozmístění linky P-EPS2. U každého stroje lze vidět označení stroje, název stroje, tok materiálu, automatický čas stroje (A) a manuální čas operátora na dané pozici (M). Také si lze všimnout modré značky „bottle neck station“. Jde o označení pozice, která je v dané výrobním cyklu tou nejpomalejší a brzdí všechny ostatní. Výrobní linka je tak rychlá, jak je rychlý nejpomalejší stroj dané výrobní linky. V našem případě se jedná o pozici PWS230-1 WS thread grinding.

U pozice operátora lze vidět číslovku 38 sekund. Jedná se o čas, za který je operátor schopný provést všechny požadované úkony pro vyrobení finálního produktu.



Obr. 2.7: Výchozí rozvržení výrobní linky P-EPS2 [4]

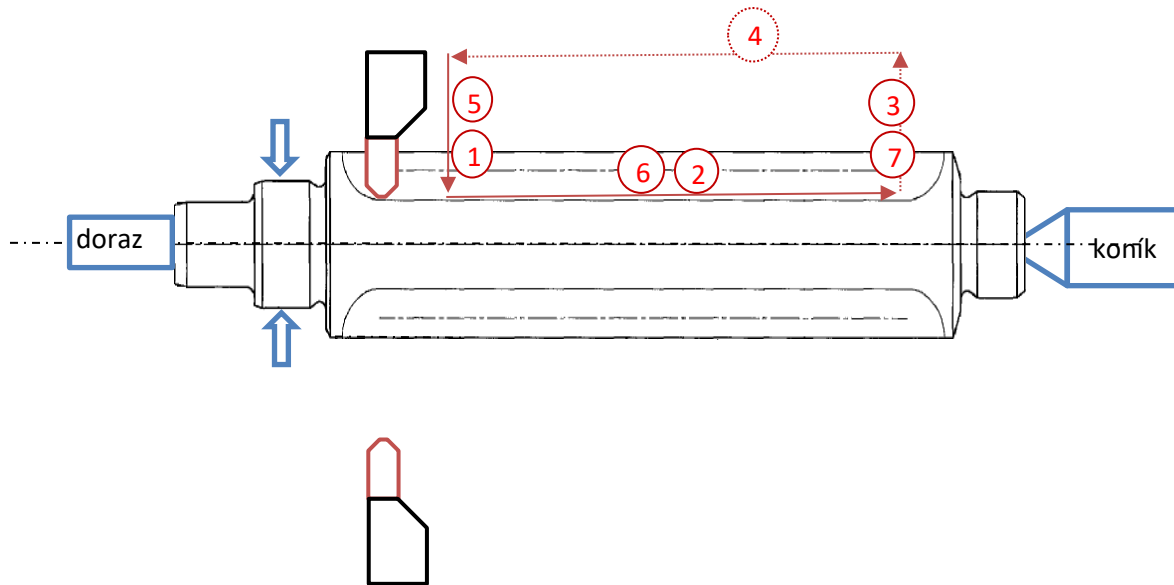
2.3.1 PWS210 WS thread cutting

Na pozici PWS210 stojí stroj od společnosti Leistritz. Jedná se o pětiosé obráběcí centrum, které je účelově postavené pro hrubovací operaci řezání šnekové hřídele. Stroj využívá whirling ring s radiálně uspořádanými karbidovými destičkami. Díky značné řezací rychlosti karbidových destiček odchází většina tepla modře zbarvenými třískami. Díky tomu se minimálně zahřívá obrobek a vzniká jen velmi malá chyba stoupání závitů. V současné situaci společnost JTEKT využívá lichoběžníkové karbidové destičky od společnosti Leistritz.



Obr. 2.8: Stroj PWS210 thread cutting [4]

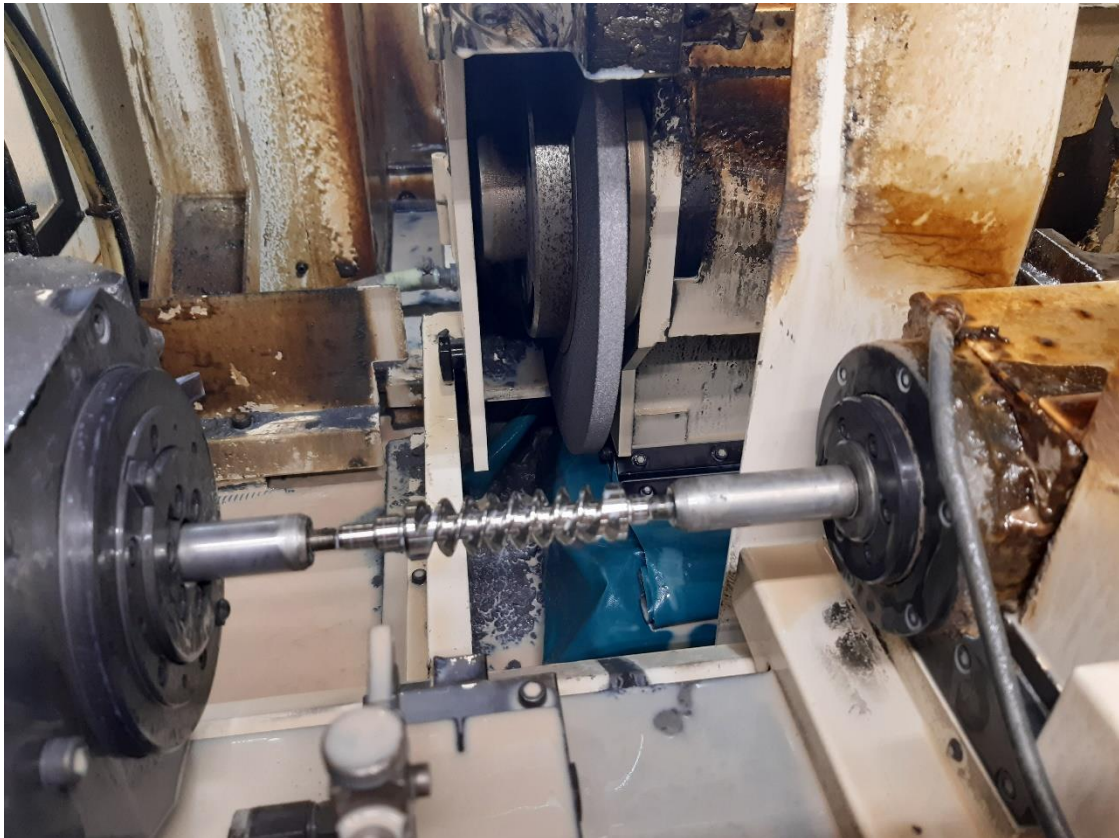
Pro lepší představu fungování stroje PWS210 je zde uvedeno schéma upnutí a obrábění na daném stroji, viz Obr. 2.9.



Obr. 2.9: Schéma upnutí a obrábění na stroji PWS210 [4]

2.3.2 PWS220 WS outer grinding

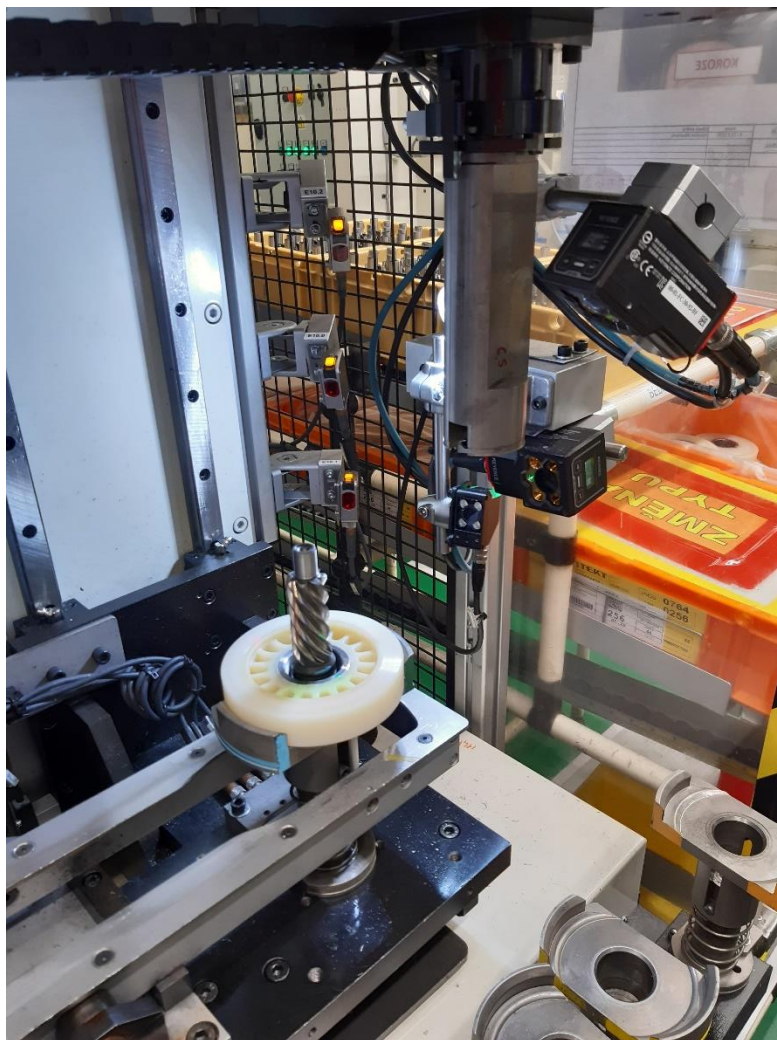
Na pozici PWS220 stojí stroj od společnosti Tsugamy. Jedná se o tříosou kotoučovou brusku. Stroj je účelově přizpůsoben k broušení vnějších průměrů šnekové hřídele, na které se lisují ložiska. Pro broušení průměrů využíváme brusný kotouč 32A 60 K8 VSK-1 38. Po této stanici se kontrolují všechny broušené průměry každého dílu na vzduchovém měřicím zařízení od společnosti Jenoptik. Po kontrole průměrů šneková hřídel čeká u pozice PWS230.



Obr. 2.10: Stroj PWS220 WS outer grinding [4]

2.3.3 PS210 R/G pressin

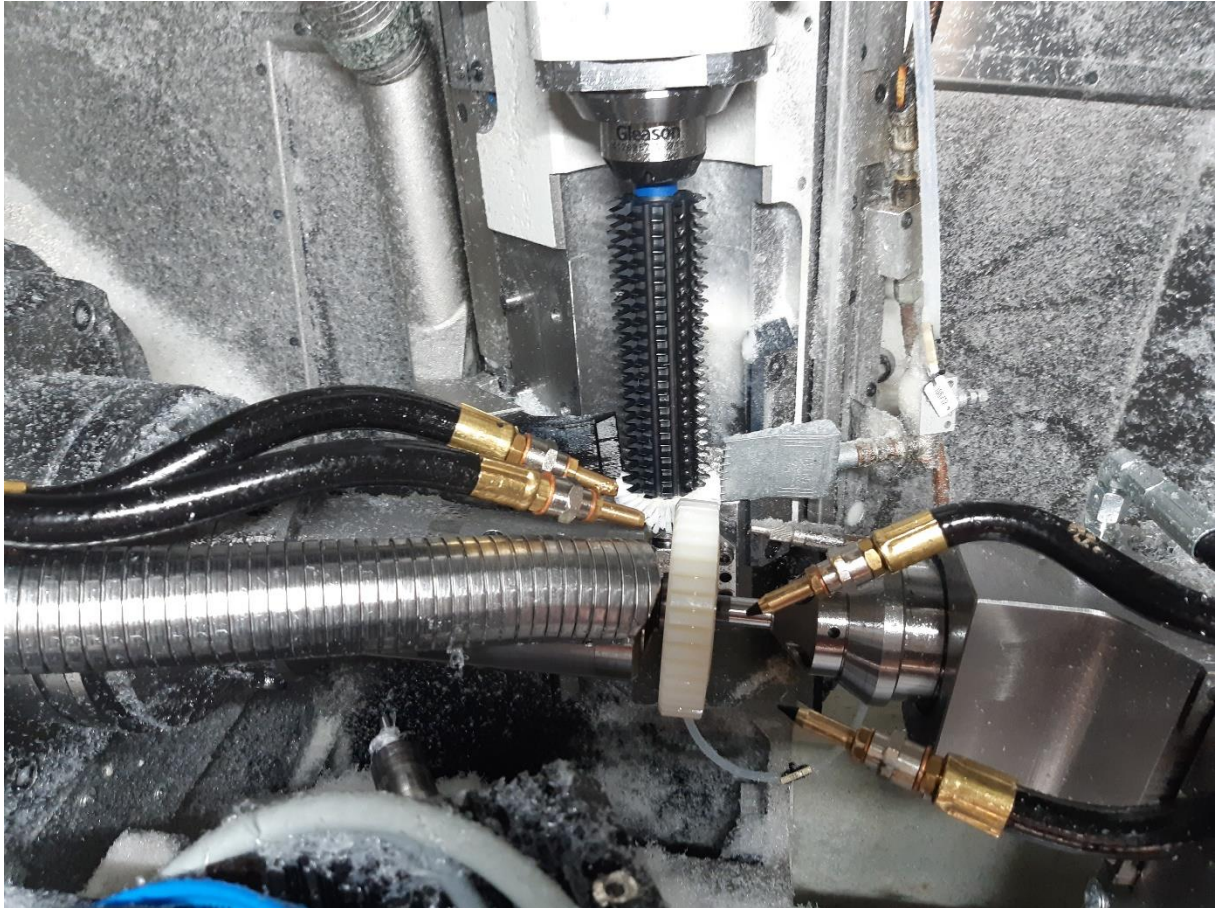
Na pozici PS210 stojí speciálně navržený lisovací stroj, který je účelově zaměřený na lisování hřídele a plastového kola. Na této stanici se kontroluje průběh lisovací síly na každém díle a jednou za směnu se kontroluje pozice zalisování kola.



Obr. 2.11: Stroj PS210 R/G pressin [4]

2.3.4 PS220 R/G hobbing

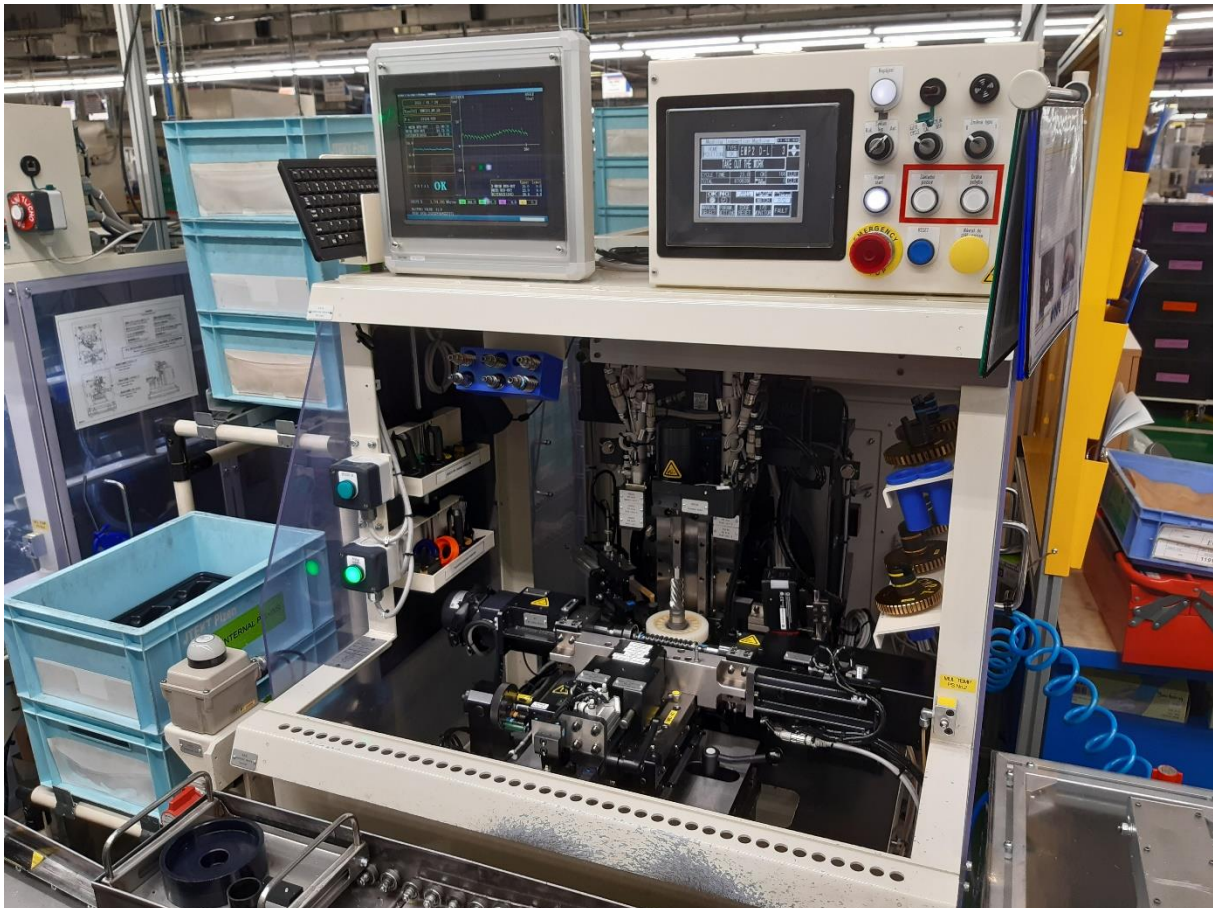
Na pozici PS220 je stroj od společnosti Gleason. Jedná se o pětiosé obráběcí centrum, které je účelově zaměřené na frézování globoidního ozubení do plastového kola. Obráběcí centrum využívá speciální válcové frézy, které jsou vyráběny jako speciální nástroje od společnosti Schnyder. Stroj obsahuje také frézu na odstranění otřepů, které vznikly po vyfrézování globoidního ozubení.



Obr. 2.12: Stroj PS220 R/G hobbing [4]

2.3.5 PS260 distance and runout inspection

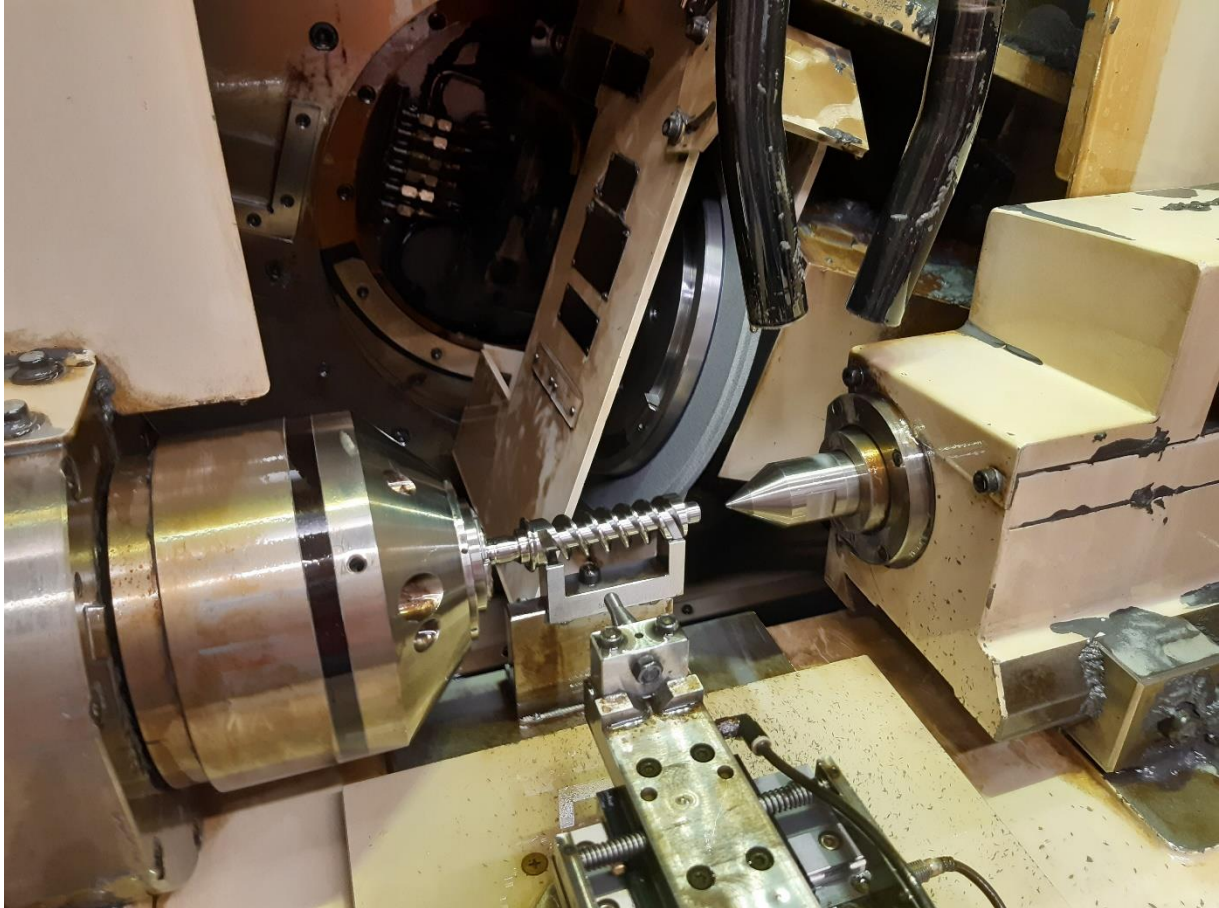
Na pozici PS260 je speciálně navržené měřící zařízení, které kontroluje osovou vzdálenost, házení a celkové házení každého globoidního kola. Na této pozici dochází k vyřazení zmetků, které jsou vyrobeny na frézovacím centru. Po změření osové vzdálenosti je tato hodnota uložena do paměti paletky. Paletka putuje s dílem až do konce linky. Naměřená osová vzdálenost je pro každý díl originální, a proto je třeba pro každou hodnotu vytvořit originální šnekovou hřídel.



Obr. 2.13: Stroj PS260 Distance and runout inspection [4]

2.3.6 PWS230 thread grinding

Na pozici PWS230 se nachází stroj od společnosti Karats. Jedná se o speciální pětiosou brusku, která je specializovaná na broušení šnekových hřídelí. Při příjezdu paletky s naměřenou hodnotou osové vzdálenosti na tuto pozici stroj načte hodnotu a dle této hodnoty vypočte osovou vzdálenost broušené šnekové hřídele. Na pozici PWS230 se potkává tok materiálu z PS210 a z PWS210. Pro broušení šnekových hřídelí je využit korundový brusný kotouč od společnosti Hermes (EKW 180 G10 V09). Jako chladicí médium je využit olej.



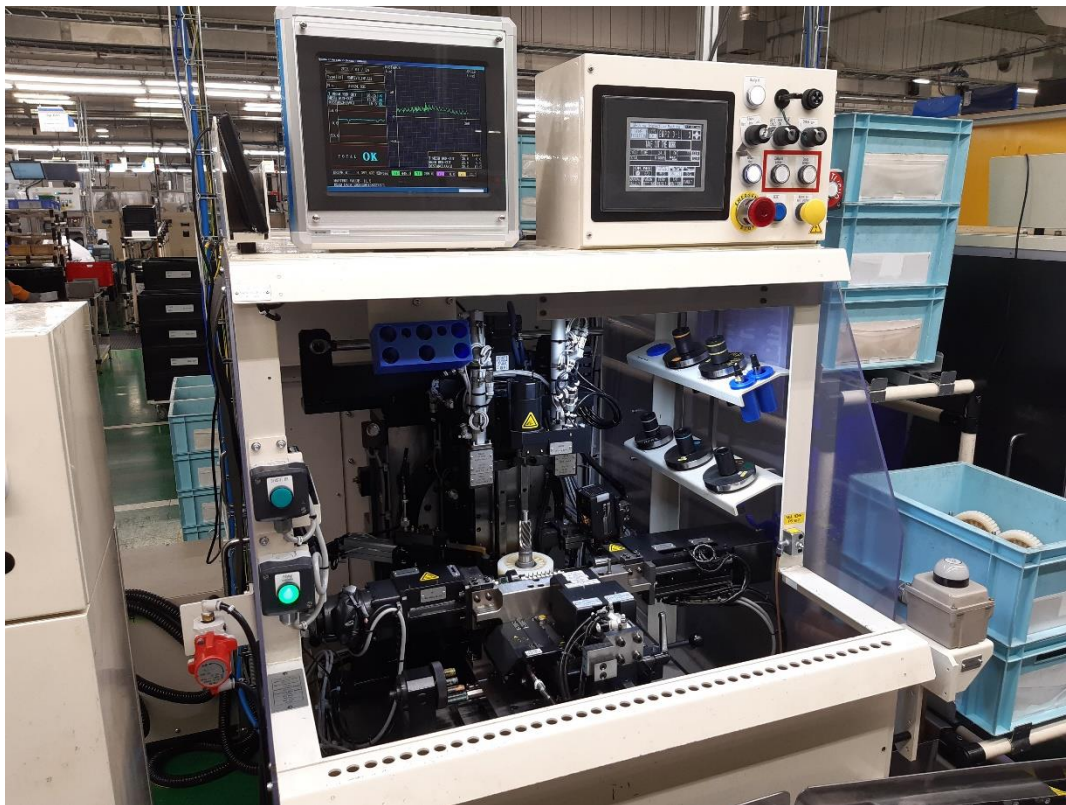
Obr. 2.14: Stroj PWS230 Thread grinding [4]

2.3.7 WS cleaning

Jedná se o pozici, kde se nachází průmyslový vysavač. Vysavač má za úkol odstranit zbytkový olej, který na šnekové hřídeli zůstal po pozici PWS230. Při nedostatečném očištění se na šnekové hřídeli usazují prachové částice. Prachové částice mohou v pozdějším procesu sestavování systému řízení způsobovat potíže vyvolané špatným kontaktem v soukolí. Jedná se zejména o zvýšenou hlučnost šnekového soukolí.

2.3.8 PWS240 matching

Na pozici PWS240 se nachází speciálně navržené měřicí zařízení, které kontroluje finální osovou vzdálenost, házení a celkové házení každého celého šnekového soukolí. Hlídací systém (Fishbone) zkontroluje výslednou hodnotu osové vzdálenosti s naměřenou hodnotou z pozice PS260. Pokud se reálná hodnota od teoretické liší do ± 5 mikrometrů, je vše v pořádku a Fishbone šnekové soukolí vyhodnotí jako soukolí, které je připraveno pro sestavení systému řízení. Pokud se hodnota liší o více než ± 5 mikrometrů, Fishbone zastaví stroj a díl nepustí k dalšímu zpracování. Ve výsledku to znamená vyhození šnekové hřídel do zmetků s tím, že pro dané kolo je vybrousit novou šnekovou hřídel. OK šneková soukolí, která projdou touto stanicí, se balí do prolisů, které jsou skladovány a dle potřeby odebírány pro sestavení konečného systému řízení.



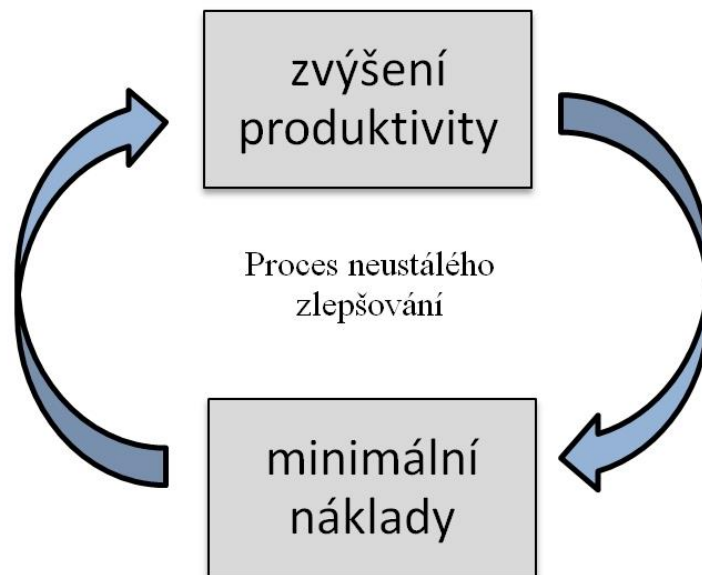
Obr. 2.15: Stroj PWS240 Matching [4]

3 Racionalizace práce v oblasti strojírenské výroby

Hlavní podstatou racionalizace práce je snaha o stálé zdokonalování výrobního systému při vynaložení minimálních nákladů. Při opakovaném zvyšování produktivity lze dosáhnout naplnění současného procesu a v tu chvíli je tou nejlevnější variantou změnit celou technologii a postup opakovat.

Jedním z nejdůležitějších faktorů pro společnosti je možnost zvýšení efektivnosti a produktivity práce. Neustálé zvyšování produktivity zlepšuje ekonomické výsledky společnosti. Dalším bonusem je posílení konkurenceschopnosti na daném trhu. V praxi se jedná o to, aby se výrobní systém realizoval na stále se zvyšující úrovni techniky, technologie, organizace práce, výroby a řízení.

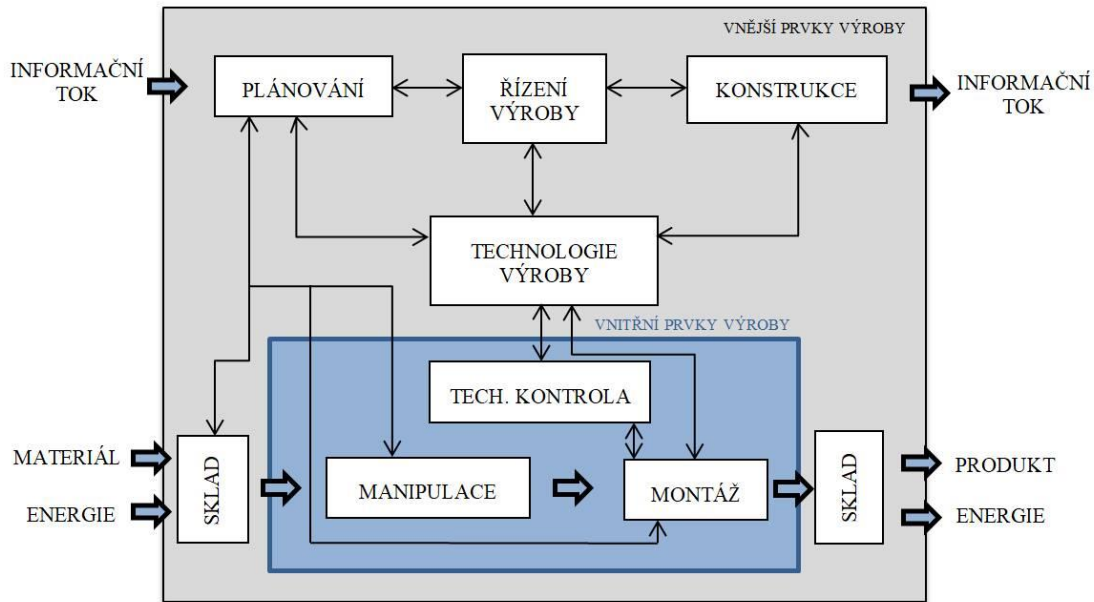
Za základní prvek racionalizace lze považovat snahu o redukci zbytečných ztrát a využití takto získaných prostředků pro zvýšení efektivnosti společnosti. Díky nově vzniklým racionalizačním opatřením jsou zaváděny nové technologie a organizační opatření, které dokážou udržet či zlepšit konkurenceschopnost společnosti na daném trhu. [7][2]



Obr. 3.1: Cíle racionalizace v podniku [7]

3.1 Výrobní proces

Pro každý výrobní proces ve strojírenské společnosti je charakteristický souhrn technologických, manipulačních, kontrolních a řídicích činností. Hlavním účelem tohoto souhrnu je přizpůsobit tvar, složení, rozměry, jakost a spojení výchozích materiálů či polotovarů dle požadavků zákazníka.



Obr. 3.2: Zjednodušené schéma struktury výrobně-montážního systému [7]

Na Obr. 3.2 lze vidět schéma výrobně-montážního systému, na kterém jsou patrné prvky vnější a vnitřní struktury. Toto základní dělení je velmi důležitým prvkem z hlediska časové, obsahové a prostorové návaznosti toku informací, materiálu, rozmístění a využití výrobních prostředků. Tato zjednodušená struktura odpovídá výrobně montážnímu systému ve společnosti JTEKT.

Vnější prvky zajišťují především provoz výrobních systémů jako celku. Vnějšími prvky jsou např. útvary technické přípravy výroby, expedice a výrobně plánovací útvary.

Vnitřní prvky struktury zajišťují především vlastní výrobu a montáž souborů součástí a kontrolují jejich funkci. [7]

3.2 Racionalizace práce

Racionalizace práce popisuje vztah mezi technologií, organizací, fyziologií a psychologií práce na daném pracovišti. V praxi se jedná o technické normování práce na daném pracovišti. [2]

3.2.1 Základní postup racionalizace práce

Mezi základní postupy racionalizace lze zařadit: [2]

- analýzu pracovního systému,
- posouzení funkce současného pracovního systému,
- vytváření racionalizačních opatření,
- realizaci provedených opatření,
- vyhodnocení přínosů.

Racionalizaci práce lze v dnešní době zařadit do konceptu tzv. štíhlé výroby.

3.2.2 Štíhlá výroba

Pro výrobní společnosti je štíhlá výroba pojmem a metodou, díky které si mohou stanovit interní firemní cíle pro zefektivnění výroby. Hlavním cílem celé štíhlé výroby je nalezení procesů, které brzdí celý výrobní systém, a tím brzdí ziskovost celého projektu. Je snaha tyto procesy po nalezení eliminovat za využití systémů štíhlé výroby. Hlavním cílem systémů štíhlé výroby je poskytnutí informací o přínosu odstranění štíhlého místa na pracovišti. Pojem štíhlá výroba lze definovat jako redukci plýtvání. Pro redukci plýtvání je nutné použít určitou metodu zkoumání daného procesu, a poté definovat jasné kroky pro zlepšení daného procesu.[5]

Ve výrobní společnosti probíhají výrobní procesy, které lze rozdělit na dvě základní skupiny. Do první skupiny lze zařadit procesy, které výrobku přidávají určitou přidanou hodnotu. Za danou přidanou hodnotu je zákazník ochoten zaplatit. Do druhé skupiny lze zařadit procesy, které výrobku žádnou přidanou hodnotu nepřidávají. Danou druhou skupinu procesů lze dále rozdělit na procesy nezbytné, příkladem může být účetnictví, a procesy zbytečné, příkladem může být výroba zmetků. Zbytečné procesy lze označit za plýtvání. Zbytečné procesy jsou nejvýraznější u hromadné výroby. Při hromadné výrobě dochází ke zbytečné spotřebě zdrojů a díky tomu k určité ztrátovosti finančních prostředků. Hlavním cílem štíhlé výroby je redukovat tyto zbytečné procesy pro dosažení vyšší efektivity výroby.[6]

Štíhlá výroba obsahuje 7 základních druhů plýtvání. Dané základní druhy plýtvání jsou uvedeny níže.

Plýtvání způsobené nadprodukcí

Tento druh plýtvání vzniká při vyšší výrobě, než jakou požaduje zákazník. Hlavním důvodem vzniku daného plýtvání je zvýšení výrobní kapacity, a tím dosažení vyšší produktivity práce zaměstnanců. Při dosažení vyšší produktivity práce je třeba přepočítat kapacitu výrobní linky a plánovat výrobu dle aktuálních možností. Dalším důvodem, který způsobuje plýtvání, je výroba výrobků do zásoby. Tato výroba je použita při výpadku linky nebo během zavádění nových vylepšení výrobní linky. Cílem tohoto plýtvání je ovšem další zvýšení produktivity práce. S nadprodukcí dílů je vázaná potřeba využití větších skladovacích prostor, což má za následek zvýšení nákladů na dopravu a uskladnění.[6]

Plýtvání způsobené nadbytečnými zásobami

Tento druh plýtvání je zaměřen na díly, které jsou vyrobeny nad rámec objednávky a zabírají pouze místo ve skladu. Dalším příkladem může být skladování polotovárů, nedokončených dílů, zmetků, atd. Na všechny tyto díly se vztahují určité finanční prostředky. Ve skutečnosti

tyto finanční prostředky prodražují finální produkt pro zákazníka a díky tomu se snižuje konkurenceschopnost společnosti. Tento druh plýtvání patří mezi nejvíce rozšířené.[7]

Plýtvání způsobené opravami a zmetky

Tento druh plýtvání je zaměřen na nedokonalosti během výroby a díky nim výrobě zmetků či dílů, které je třeba dodělat či opravit (práce, čas zaměstnanců, energie, atd.). Cílem každé výrobní linky je výroba bez zmetků. Je tedy důležité kontrolovat vyráběné díly na požadované vlastnosti. Pokud díly nejsou kontrolovány, může dojít k odeslání zmetků k zákazníkovi, který může poté požadovat finanční náhradu či může dokonce zrušit celý kontrakt. [7]

Plýtvání způsobené zbytečnými pohyby

Tento druh plýtvání je způsoben zbytečnými pohyby zaměstnance. Jedná se například o chůzi pro nevhodně umístěný materiál. Těmito pohyby je operátor vystaven zbytečné zátěži, která se může projevit brzkou únavou. Únava může mít za následek neodhalení vadného kusu, a tím může dojít k výrobě zmetků. Pro danou pracovní pozici je důležité stanovit pracovní postup, který jasně definuje pohyby operátora. [7]

Plýtvání způsobené špatným technologickým postupem

Tento druh plýtvání lze odhalit i v samotném technologickém procesu výroby a lze ho odstranit pouhým zdravým rozumem. [7]

Plýtvání způsobené prostoji

Tento druh plýtvání vzniká nejčastěji během poruchy stroje nebo později dovezenou dávkou operátorem logistiky. [7]

Plýtvání v oblasti dopravy

Tento druh plýtvání je specifický pro logistiku zavážení dílů do výrobní linky. Plýtvání lze snadno identifikovat. Příkladem může být čekající vozík na vozík předcházející, který zásobuje jinou výrobní linku. [7]

Je velmi obtížné určit hranice mezi jednotlivými druhy plýtvání, a proto se hranice mezi jednotlivými druhy plýtvání jen velmi složitě určuje. Cílem je odstranění všech plýtvání ve výrobě, avšak toho nelze nikdy dosáhnout, proto je snaha snížit plýtvání na nejnižší možnou úroveň. [7]

3.2.3 Zásady implementace štíhlé výroby

Hlavní zásady pro implementaci štíhlé výroby jsou následující:

- definování hodnoty z hlediska koncového zákazníka,
- rozlišit všechny procesy, které se nacházejí v rámci výrobního procesu a nepřidávají žádnou přidanou hodnotu,
- definovat zásady zajišťující vytváření přidané hodnoty v těsném sledu ve výrobním systému, aby produkt plynule postupoval směrem k zákazníkovi,
- klást důraz na princip tahového systému výroby s počátečním požadavkem zákazníka,
- odstranit všechny zbytečné kroky pro zavedení plynulého toku a principu tahové výroby. [7]

Důležitým faktorem pro daný proces je důsledné pozorování zaměstnanců z různých oddělení. Díky pozorování lze stanovit několik pohledů na danou operaci a díky tomu eliminovat tzv. provozní slepotu typu „Vždycky se to tak dělalo, tak proč to měnit.“.

Štíhlé myšlení je zaměřeno na činnosti, které přidávají hodnotu výrobku. Důležité podmínky, které musí splnit činnosti přidávající hodnotu, jsou následující:

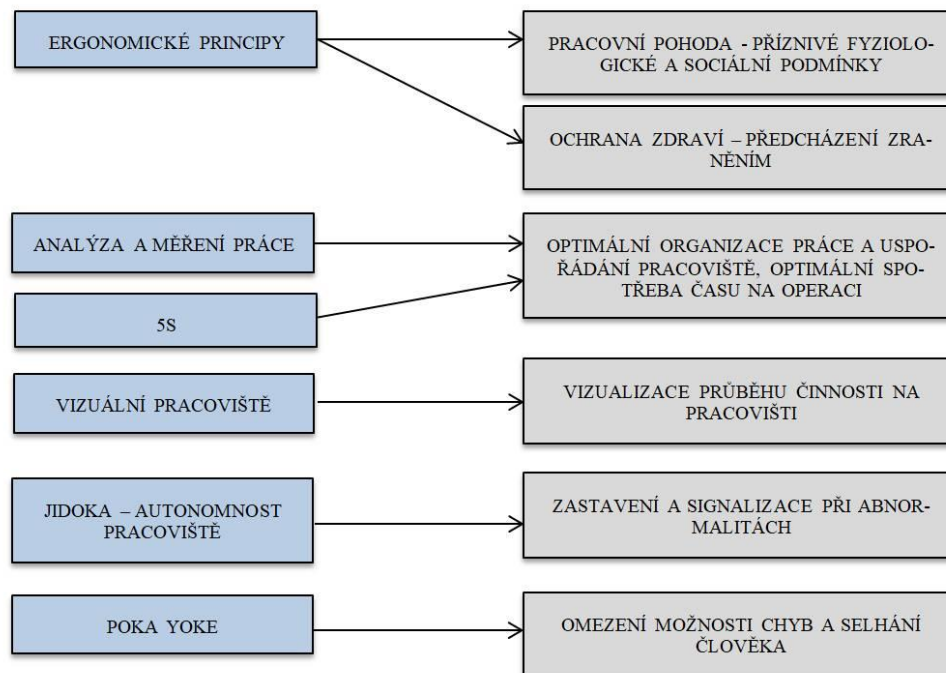
- ochota zákazníka zaplatit za produkt,
- dochází k fyzické přeměně produktu,
- je provedena napoprvé a správně.

Hlavní předností štihlé výroby je výpomoc s odstraněním nedostatků ve výrobě. Při procesu racionalizace je použit tahový princip. Tento princip znamená, že pozdější procesy výroby si určují, co mají dělat operace předcházející. Díky tomuto principu lze velmi brzy odhalit vadný či nekvalitní výrobek, a připravit tak včasnou nápravu chyb. [7]

3.2.4 Štihlé pracoviště

Pro štihlou výrobu je základním prvkem štihlé pracoviště. Na tomto pracovišti je zavedeno 5S. 5S je tvořeno slovy seříd', uspořádej, rozděl, zdokumentuj a dodržuj. Na štihlém pracovišti je důležité sjednocení 5S, ergonomie a společně s analýzou a měřením práce se snaží dosáhnout maximálního výkonu operátora při minimální námaze. [7]

Štihlé pracoviště by mělo obsahovat šest základních principů, které jsou znázorněny na Obr. 3.3.



Obr. 3.3: Principy štihlého pracoviště [7]

Hlavní cíle štihlého pracoviště jsou následující:

- zvýšení výkonnosti,
- snížení úrazovosti a snížení zatížení organismu,
- zvýšení autonomnosti a možnost vícestrojové obsluhy,
- zlepšení kvality a stability procesu.

Při aplikaci štihlého pracoviště je častým cílem zvýšit produktivitu a snížit zatížení pracovníků. Dalším cílem je obvykle snížit chybovosti operátorů, a tím získat nižší zmetkovitost. [7]

3.3 Metody předem stanovených časů

Cílem metod předem stanovených časů je přesný návrh časové náročnosti jednotlivých operací ve výrobě. Před realizací nebo změnou výrobního postupu lze předběžně stanovit díky těmto studiím časovou náročnost operace pro operátora. Na základě návrhu lze dané pracoviště ještě optimalizovat a lze nalézt zbytečné časy, které vedou k prodloužení výroby, a tím k neefektivitě výroby. Jednotlivé pohyby lze hodnotit časovou jednotkou. Tato časová jednotka je nazvána TMU a je dána z anglického Time Measurement Units. Časové hodnoty pohybů operátorů jsou velmi malé a obtížně měřitelné běžnými časovými jednotkami, a proto se využívá speciální jednotka, která představuje jednu stotisícinu hodiny. Jednotka je odvozena od rychlosti použité u filmových kamer. Výhodou této jednotky je její snadné zacházení a navázání na filmovou studii. Převod mezi TMU a standardními časovými jednotkami lze nalézt v následující tabulce. [2]

Tab. 3.1: Převod mezi TMU a standardními časovými jednotkami

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

3.3.1 Metoda analýzy pohybových modelů

Metoda analýzy pohybových modelů neboli MOST byla poprvé průmyslově použita v roce 1972 ve Švédsku. Daná metoda vychází z představy, že práce je výsledek síly působící po dráze. Jedná se o systém měření práce, který se zaměřuje na činnosti spojené s pohybem předmětů. Dané pohyby předmětů jsou popsány ve formě předem definovaných pohybových modelů. Každému pohybovému modelu je přiřazena časová hodnota potřebná k jejímu vykonání. Základní systém zvaný BASIC MOST rozděluje činnosti do čtyř základních pohybových modelů. Při této metodě se využívají velká písmena a čísla ve formě indexů. Čísla představují dané druhy pohybů. Označení daných pohybů je podrobně popsáno níže.

A – Vzdálenost pohybu

Veličina zahrnuje všechny prostorové pohyby nebo činnosti prstů.

B – Pohyby těla (trupu)

Veličina charakterizuje svislé pohyby těla (nahoru a dolů) nebo činnosti k překonání překážek.

G – Získání kontroly

Veličina popisuje získání úplné ruční kontroly nad daným předmětem i jeho postupné ukončení kontroly nad předmětem.

P – Umístění

Veličina analyzuje činnosti s předmětem přemístěným, seřazeným nebo orientovaným.

M – Řízený pohyb

Veličina určuje všechny ručně řízené přesuny.

X – Čas procesu

Tento parametr není určen pro ruční akce, ale pro odpovídající čas práce elektrických či mechanických zařízení.

I – Zarovnání

Veličina určuje přesnou pozici nebo orientaci předmětů. [9][1]

3.3.2 MTM analýza

MTM analýza patří mezi analýzy předem určených časů a využívá se pro stanovení výsledného teoretického času operace. Výhodou této analýzy je její vysoká přesnost. Oproti tomu velkou nevýhodou je její časová náročnost a nutnost znát představu budoucí linky či operace. Pro stanovení času se využívá rozpad jednotlivých pohybů. Po záznamu pohybu se dle normy přiřadí určená časová náročnost daného pohybu. Časová náročnost je dána TMU časovou jednotkou, kterou lze převést na sekundy dle následujícího přepočtu: 1 TMU odpovídá 0,036 sekund. MTM analýza je založena na rozpadu do nejzákladnějších pohybů a jejich opětovném spojování s již známou časovou náročností. Výsledkem je časový úsek celé pracovní operace. [3] [10]

3.3.3 Simogram

Jedná se o záznam a rozbor již existující pracovní operace či výkonu práce. Výsledkem záznamu je rozstřel jednotlivých úkonů, které lze měřit na základě pořízeného záznamu. Záznam je zpravidla ve formě videa. Jednotlivé úkony lze dělit a dále dle rozboru řídit. Zjištěné nedostatky v pohybech a časech je možné nalézt a eliminovat. [3]

3.4 Kontrola dílů v JTEKT

QA (Quality) laboratoř je důležitou a nezbytnou součástí každé výroby. Ve společnosti JTEKT se inženýr kvality zabývá měřením kvality vyráběného šnekového soukolí a na základě výsledků vystavuje příslušné korekce, které mají významný vliv na výsledný hluk soukolí. Se zvyšujícími se nároky zákazníků na nižší hlučnost vozidel je kladen velký důraz na správnost nastavení jednotlivých operací, které mají vliv na hlukovou emisi systému řízení. Tento trend snižování hluku je aktuálně velmi důležitý, a to zejména v případě využití v elektrických vozech, kde je hlučnost extrémně nízká. Cílem inženýrů kvality je zajistit požadovanou kvalitu vyráběných dílů. Ve společnosti JTEKT se pro kontrolu šnekového soukolí využívá měřicí zařízení společnosti Klingelberg. Jedná se o měřicí zařízení Klingelberg P26.

3.4.1 Měřicí zařízení Klingelberg P26

Měřicí centrum Klingelberg P26 je určeno pro automatickou kontrolu profilu, sklonu zubů, házení a dalších důležitých parametrů šnekových hřídel a šnekových kol. Dané měřicí zařízení obsahuje pohon pro rotaci obrobku, stojan s opěrnými hroty, 3 měřicí osy (horizontální, vertikální, tangenciální) a 3D měřicí sondu s lineárními pohony. Tyto části zajišťují čtyřosé souvislé CNC řízení.

Pro zahájení měření je třeba založit nový program, kde se vyplní parametry ozubení, referenční polohy pro daný typ obrobku a způsob vyhodnocení. Poté stačí upnout obrobek a spustit příslušný program, který naměří a vyhodnotí jednotlivé parametry. Dané parametry pak zařízení odešle k tisku pro vydání oficiálního protokolu měření. [11]



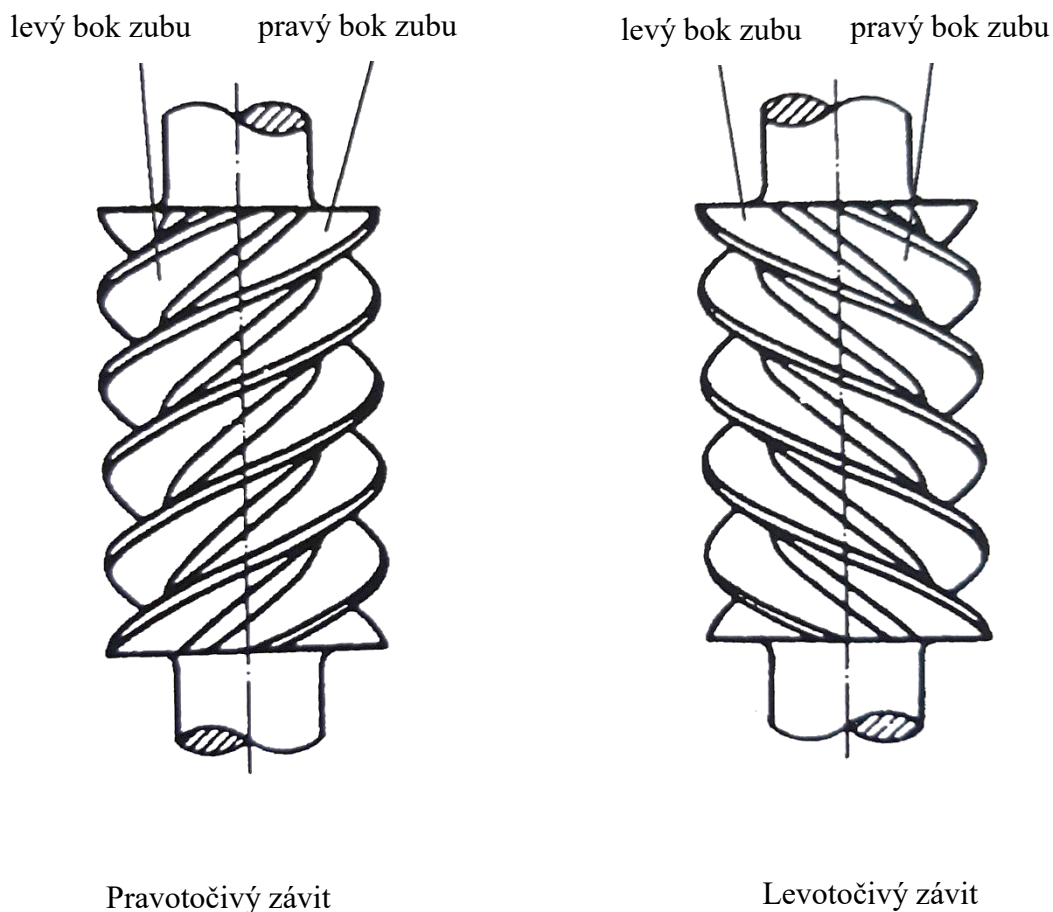
Obr. 3.4: Zařízení Klingelberg P26 [4]

Tab. 3.2: Základní parametry zařízení Klingelberg P26

Hmotnost zařízení	1200 kg
Modul (vztaženo k čelnímu kolu)	0,5-12 mm
Vertikální rozsah měření	max. 400 mm
Horizontální rozsah měření	±75 mm
Úhel sklonu nebo úhel stoupání	0-90°
Maximální zatížení zařízení	80 kg
Rozsah upínání	15-600 mm

3.4.2 Parametry kontrolované šnekové hřídele

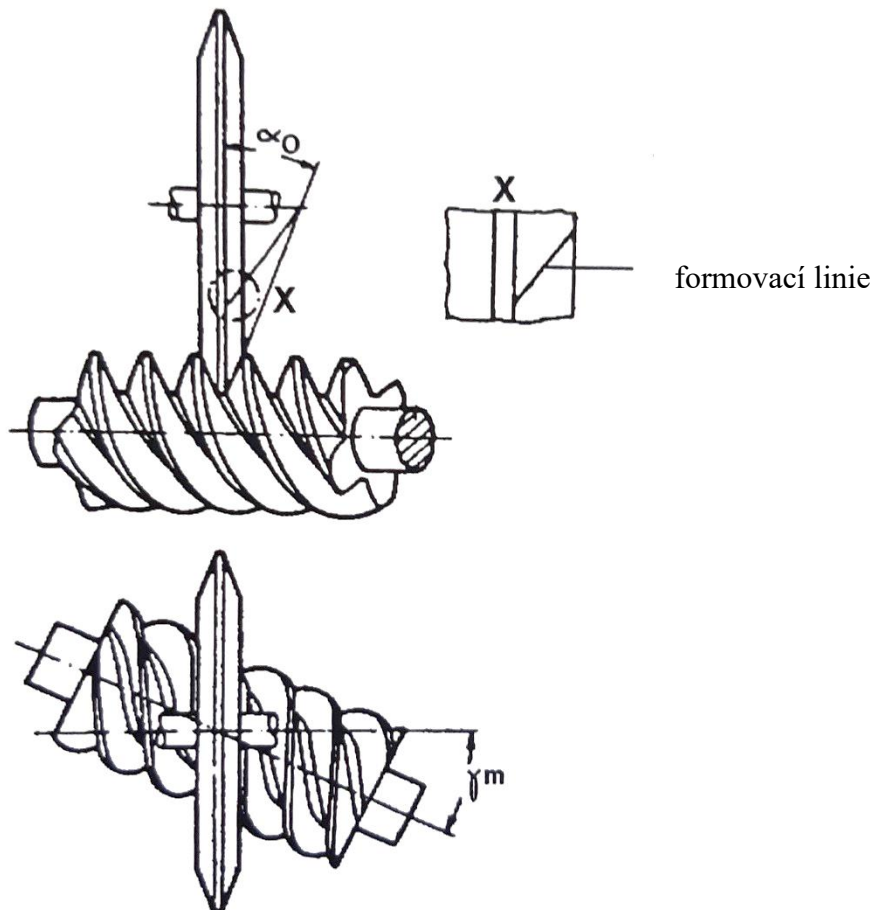
Základním parametrem šnekové hřídele je rozlišení levotočivé a pravotočivé šnekové hřídele, a tím vzniká rozdíl umístění levého a pravého boku zubu.



Obr. 3.5: Základní rozdělení šnekové hřídele[4]

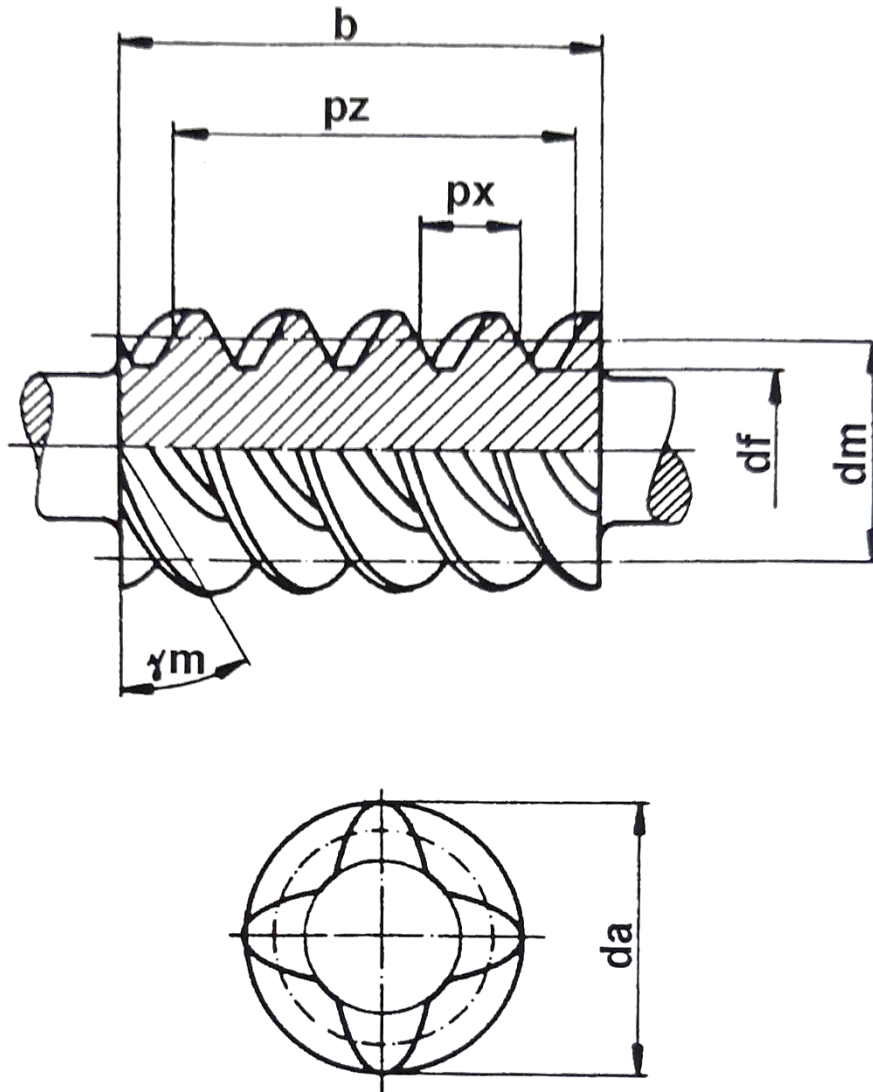
Pro samotné vyhodnocení šnekové hřídele je velmi důležité správné upnutí dílu mezi hroty. Pokud by došlo k převrácení dílu, tak měřící zařízení není schopné tento fakt bez další zabezpečovací techniky (čidla, kamery, poka yoka, atd.) zjistit a došlo by k nárazu s následným možným poškozením dotykové sondy. [11]

Na základě zvolené technologie obrábění je třeba dodržet i správný způsob vyhodnocení, který je také předepsán ve výkresové dokumentaci. Jedná se o typ vyhodnocení ZK. Jedná se o vyhodnocení, při kterém je využita technologie výroby s velkými rotačními nástroji, které vytvářejí dva boky a mají tedy lichoběžníkový tvar. Tento druh vyhodnocení je závislý na aktuálním průměru nástroje, který je vždy nutné zapsat do parametrů vyhodnocení. Na Obr. 3.6 lze vidět zobrazení formovací linie nástroje, která tvoří výsledný tvar obrobku. [11]



Obr. 3.6: Využitá technologie obrábění pro zvolení správné metody vyhodnocení měření[4]

Na Obr. 3.7 jsou zobrazeny základní parametry šnekové hřídele, které je třeba kontrolovat. Většina těchto parametrů se kontroluje během uvolnění z výroby. Některé parametry, např. osovou vzdálenost, je ovšem třeba kontrolovat u každého dílu v rámci výrobního procesu. Tento parametr je extrémně důležitý pro správný kontakt v soukolí. Při nesprávném kontaktu v soukolí vzniká hluk, který je nepříjemný pro uživatele automobilu. [11]



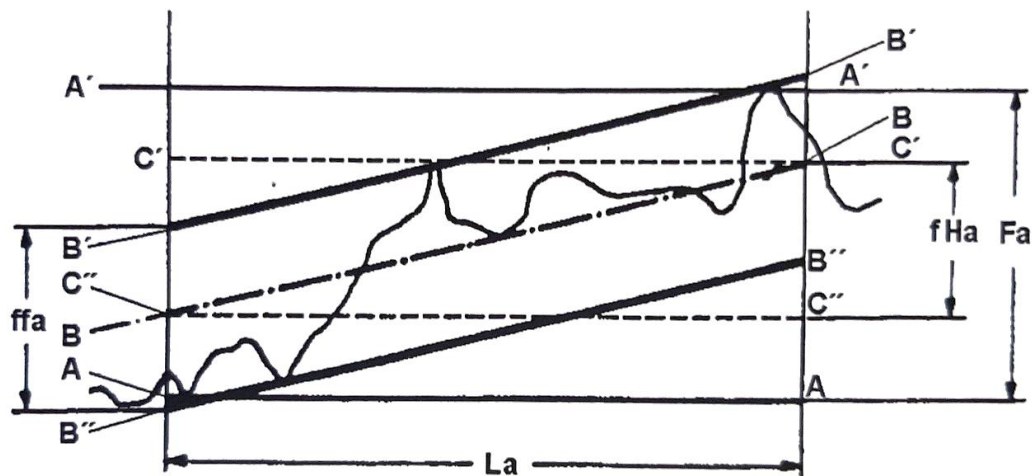
Obr. 3.7: Zobrazení základních parametrů šnekové hřídele [4]

V Tab. 3.3 jsou uvedeny základní parametry šnekové hřídele, které jsou vyznačeny na výše uvedeném obrázku.

Tab. 3.3: Základní parametry šnekové hřídele

b	Šířka ozubení
pz	Stoupání
px	Rozteč
df	Patní kružnice
dm	Roztečná kružnice
da	Hlavová kružnice
γ_m	Úhel stoupání

Na Obr. 3.8 lze vidět způsob hodnocení profilu.



Obr. 3.8: Způsob hodnocení profilu [4]

V Tab. 3.4 jsou uvedeny základní parametry pro hodnocení profilu, které jsou vyznačeny na výše uvedeném obrázku.

Tab. 3.4: Základní parametry pro hodnocení profilu

Fa	Celková úchylka profilu
fHa	Úhlová úchylka profilu
ffa	Tvarová úchylka průběhu profilu
La	Rozsah hodnocení profilu
B	Průměrovaná čára aktuálního profilu
A A'	Jmenovité profily, které se dotýkají na skutečném boku
B' B''	Obalové rovnoběžky zajišťující přímky skutečné evolventy
C' C''	Jmenovité profily, které protínají sklony na počátku, popř. koncovém bodě rozsahu

Níže je uveden bližší popis vybraných parametrů pro hodnocení profilu. [11]

Celková úchylka profilu Fa

Tato celková odchylka boku zubu, kterou lze vidět na Obr. 3.8, představuje vzdálenost mezi dvěma jmenovitými profily AA a A'A'. Tyto jmenovité profily dotykově svírají maximální a minimální hodnotu z vyhodnocované části.

Úhlová úchylka profilu fHa

Tato úchylka představuje vzdálenost mezi dvěma jmenovitými profily C' C' a C''C''. Profily protínají v počátečním a koncovém bodě průměrovou čáru aktuálního profilu.

Celková úchylka sklonu F_b

Tato celková úchylka sklonu zubu, kterou lze vidět na XXX, představuje vzdálenost mezi dvěma jmenovitými sklony AA a A'A'. Tyto jmenovité sklony dotykově svírají maximální a minimální hodnotu z vyhodnocované části.

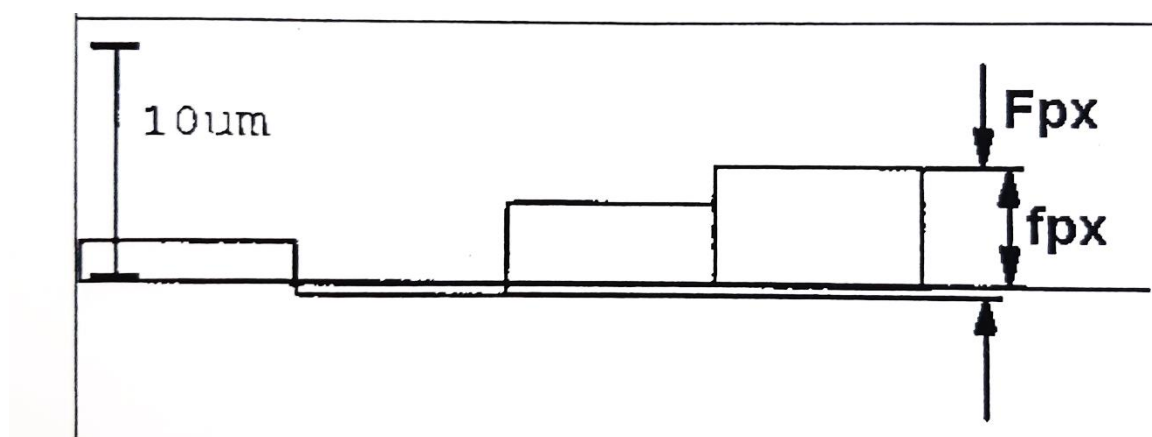
Úhlová úchylka sklonu f_{Hb}

Úchylka představuje vzdálenost mezi dvěma jmenovitými profily C' C' a C''C''. Profily protínají v počátečním a koncovém bodě průměrovou čáru aktuálního sklonu.

Tvarová úchylka sklonu f_{fb}

Tato úchylka představuje vzdálenost mezi rovnoběžkami přímkou skutečné šroubovice se skutečnou výškou stoupání. Tvarová úchylka sklonu obsahuje jak vlnitost daného sklonu, tak jeho samotný sklon.

Na Obr. 3.10 lze vidět grafické znázornění hodnocení rozteče zubů. [11]



Obr. 3.10: Způsob hodnocení rozteče zubů [4]

V Tab. 3.6 jsou uvedeny základní parametry pro hodnocení rozteče zubů, které jsou vyznačeny na výše uvedeném obrázku.

Tab. 3.6: Základní parametry pro vyhodnocení rozteče zubů

F_{px}	Celková úchylka rozteče
f_{px}	Maximální úchylka rozteče od nominální hodnoty

Níže je uveden bližší popis vybraných parametrů pro hodnocení rozteče zubů.

Celková úchylka rozteče F_{px}

Celková úchylka rozteče vyjadřuje vzdálenost mezi maximální hodnotou a minimální hodnotou naměřené rozteče.

Maximální úchylka rozteče od nominální hodnoty f_{px}

Tato úchylka vyjadřuje maximální naměřenou rozteč od nominální hodnoty. [11]

3.5 Stabilita procesu

Zde je provedeno vyhodnocení stability procesu a jeho vliv na výrobu. Na počátku každé výroby nového systému řízení je třeba validovat daný proces. Jeden ze základních typů validace procesu je vyhodnocení indexu způsobilosti procesu výroby pro danou operaci. Index způsobilosti procesu je vyhodnocení kvality a její variace na určitém počtu dílů a hlavním smyslem je jednoznačně určit výstup procesu v rámci tolerovaného rozmezí hodnot. Index způsobilosti procesu je založen na statistickém vyhodnocení.

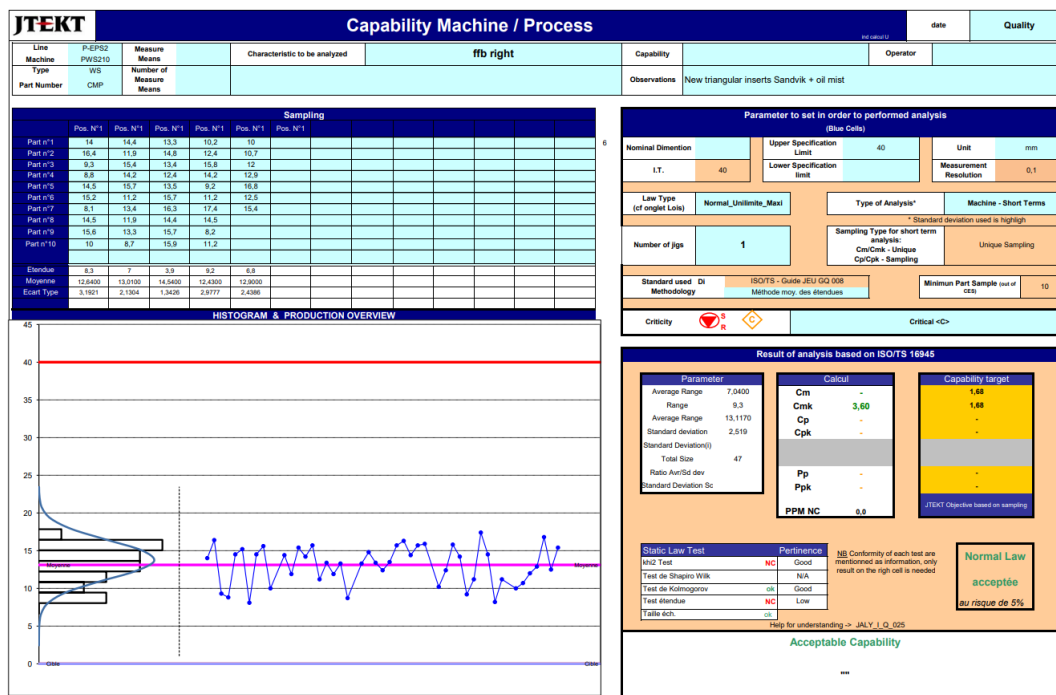
Index způsobilosti procesu lze rozdělit na dva základní druhy.

Prvním druhem je dlouhodobé vyhodnocení indexu způsobilosti procesu, které se vyhodnocuje napříč určitým časovým úsekem. Příkladem může být kvalita 30 ks výrobků, které byly vyrobeny v rámci uvolnění linky za poslední 1 měsíc.

Druhým druhem je krátkodobé vyhodnocení indexu způsobilosti procesu, které se používá při každém nastavení nového procesu či při jeho významné úpravě. Příkladem může být kvalita 30 ks výrobků, které jsou vyrobeny po sobě a jejich posloupnost zůstane zachována i pro samotné vyhodnocení indexu.

Ve společnosti JTEKT se pro vyhodnocení využívá připravený dokument, do kterého stačí vyplnit pouze naměřené hodnoty a dokument sám provede vyhodnocení daného procesu výroby. Každý zákazník má jiné cíle pro hodnocení indexu způsobilosti procesu, a proto je třeba vždy celý proces připravit pro vyhodnocení s tou nejpřísnější hodnotou indexu způsobilosti.

Na Obr. 3.11 je vidět ukázka vyhodnocení indexu způsobilosti procesu ve společnosti JTEKT. V daném formuláři lze vidět jaký projekt a jaký parametr se aktuálně vyhodnocuje. Důležitou poznámkou je informace za jakým důvodem se index způsobilosti vykonává. Příkladem může být úprava rezných parametrů, změna upínání nebo přemístění stroje. Další důležitou hodnotou je daná tolerance hodnoceného parametru. Poté stačí pouze vyplnit naměřené údaje, které jsou vyhodnoceny parametry C_m a C_{mk} . Dalším hodnocením je rozmístění náměrů dle Gaussovy křivky. Pokud rozmístění bodů nekoresponduje s Gaussovou křivkou, je třeba upravit proces a vytvořit akční plán.



Obr. 3.11: Ukázka vyhodnocení indexu způsobilosti procesu ve společnosti JTEKT [4]

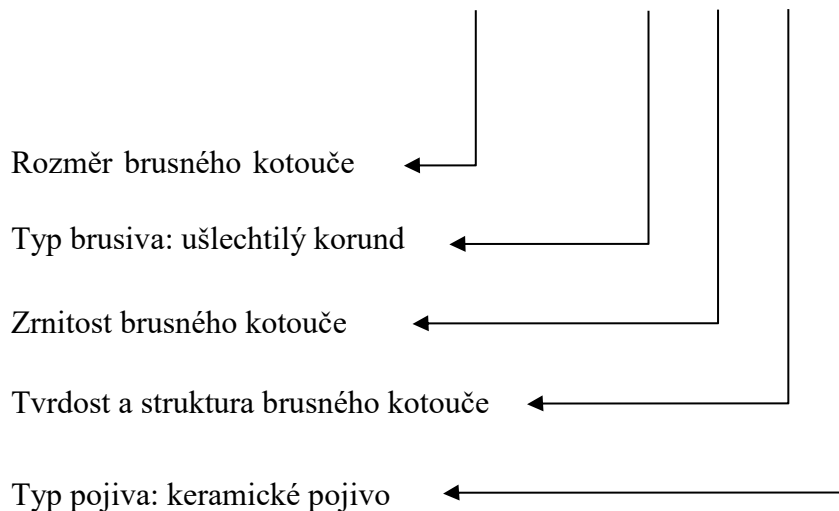
3.6 Značení brusných kotoučů

Zde je popsáno základní značení brusných kotoučů. Praktická část zahrnuje změnu brusného kotouče, proto je nutné popsat, k jaké změně dochází a z jakého důvodu.

Společnost JTEKT vyrábí řízení pro velké množství zákazníků, a tak má na starosti velké množství projektů. Z tohoto důvodu je kladen velký důraz na standardizaci nástrojů, zejména pak brusných kotoučů. Hlavní nevýhodou rozdílných nástrojů je jejich složité skladování, jejich náročné zavážení do skladu s rozdílnou specifikací a nutné rozlišení nástrojů pro jednotlivé projekty. K rozdílné specifikaci dochází opravdu ve výjimečných případech, jako je změna technologie či úspora nákladů. Pokud se specifikace změní, je snaha opět zavést nový standard. Výhodou zavedení nového standardu je samozřejmě nižší pořizovací cena při nákupu velkého množství nástrojů.

Aktuální standard ve společnosti JTEKT:

355/225x16/12x152,4 EKW 180 G10 V09



Z důvodu využívání specializovaných strojů má společnost JTEKT svůj tvar brusných kotoučů, který není určen normou. Pro samotný brusný kotouč je velmi důležitým kritériem i jeho jednotnost struktury. Tento parametr je velmi důležitý pro vyvážení kotouče na upínací přírubě. V případě, že kotouč nebude správně vyvážen na vyvažovačce, dochází tak k vlnění kotouče a nerovnoměrnému broušení dílu. Tyto díly poté vykazují vady v podobě plošek. Rozpoznávacím parametrem špatně vyváženého kotouče jsou vibrace stroje při plný otáčkách kotouče. Míra vibrací je závislá na technologii výroby brusných kotoučů danou společností.

4 Návrh opatření pro zvýšení taktu výrobní linky

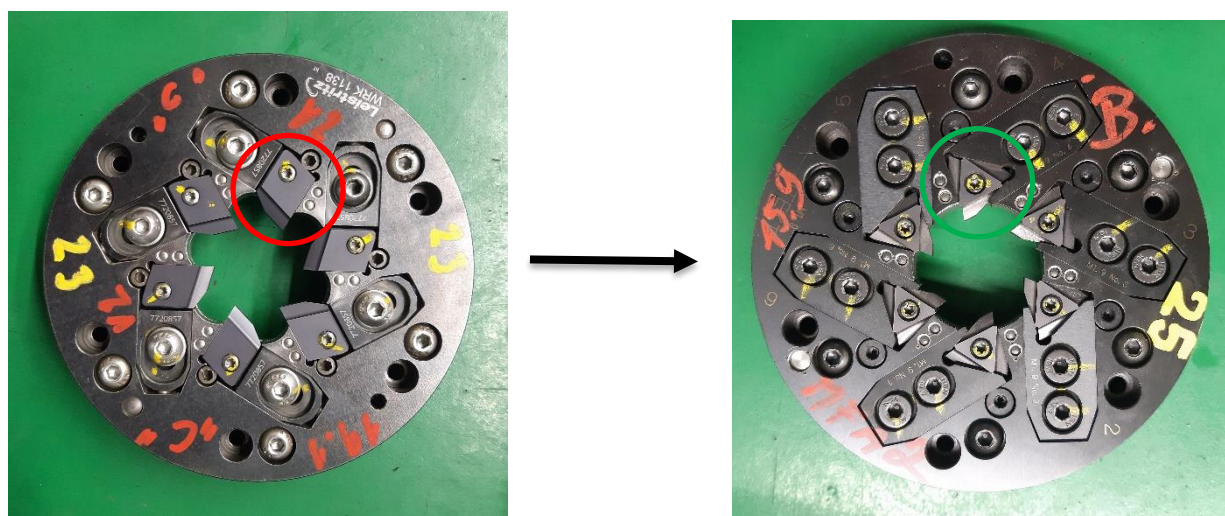
S rostoucí poptávkou systémů řízení pro osobní automobily je kladen větší důraz na efektivitu výroby a časové využití výrobních linek. Linka P-EPS2 je navržena na výsledný výrobní čas 38 sekund, ale s možností zrychlení dané linky na 27 sekund. Z kapacitních důvodů je rozhodnuto zrychlit aktuální výrobní linku z 38 sekund na 27 sekund. V praxi to znamená investovat co nejméně finančních prostředků pro to, aby výrobní linka dokázala každých 27 sekund vyrobit šnekové soukolí, které splňuje všechny požadavky na kvalitu.

Z analýzy současného stavu lze definovat body, na které je třeba se zaměřit pro dosažení výsledného zrychlení výrobní linky. Níže jsou uvedeny dané body.

1. Stroj PWS210 nestíhá výrobní čas (35 sekund automatický čas stroje + 2 sekundy manuální čas operátora)
2. Stroj PWS230 nestíhá výrobní čas (35 sekund automatický čas stroje + 3 sekundy manuální čas operátora)
3. Operátor nestíhá všechny svoje výrobní postupy (38 sekund)

4.1 Stroj PWS210 nestíhá výrobní čas

Stroj PWS210 nestíhá vyrobit požadovaný díl v nově stanoveném čase 27 sekund. Ze získaných zkušeností je možné daný stroj zrychlit změnou řezných podmínek, které ovšem negativně ovlivní stabilitu procesu a životnost nástroje, zvýšením počtu řezných destiček v nástroji, nebo změnou řezných destiček. Pro zachování stability kvality dílu během zrychlené výroby je zvoleno řešení v podobě výměny řezných destiček. Při analýze současného stavu je zjištěno, že jsou na daném stroji využity lichoběžníkové destičky od společnosti Leistriz. Tyto lichoběžníkové destičky jsou v rámci zrychlení nahrazeny destičkami trojúhelníkovými. Pro společnost JTEKT je cílem standardizovat nástroje napříč celou společností z důvodu snížení pořizovacích nákladů a z důvodu odstranění nežádoucích nástrojových záměn mezi projekty. Z tohoto důvodu je ve společnosti JTEKT stanoven standard využití trojúhelníkových karbidových destiček od společnosti Sandvik. Tyto destičky zvládají vyšší zatížení při zachování stejné životnosti nástroje a kvality dílu. Díky dané záměně destiček lze zvýšit posuvovou rychlost z původních 10300 mm/min na aktuálních 173000 mm/min, čím se dosáhne požadovaného výrobního času stroje 27 sekund.

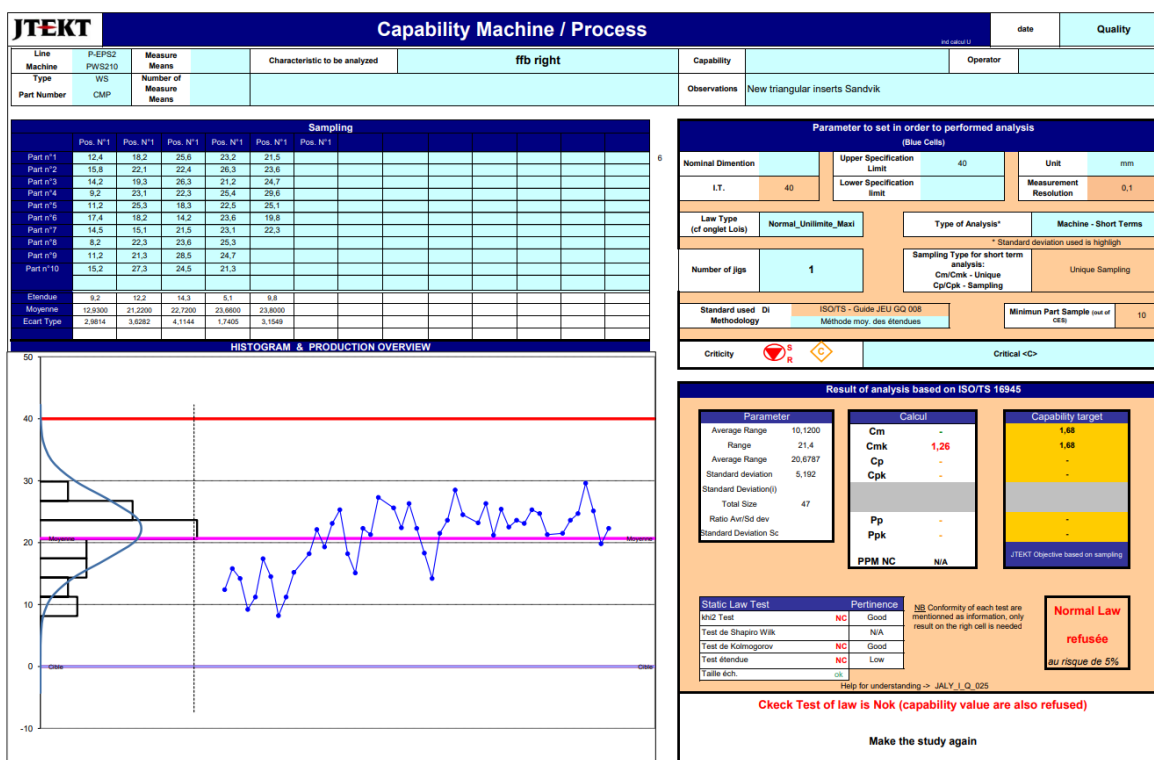


Obr. 4.1: Záměna destiček pro zrychlení frézovací operace [4]

Při prvním testu nových destiček je stanoven cíl dosažení požadovaného výrobního času 27 sekund a vyrobit díly pro zjištění stability procesu. Z původní posuvové rychlosti 10300 mm/min je nutné rychlost zvýšit na 17300 mm/min pro získání požadovaného času. Při těchto rychlostech vzniká velké množství tepla, které výrazně ovlivňuje stoupání druhého závitu na šnekové hřídeli, a dochází tím i k ovlivnění dalších důležitých parametrů šnekové hřídele (tloušťka zubu, hloubka jednotlivých závitů, atd.).

Níže je uvedena ukázka z vyhodnocení stability procesu. Z důvodu velkého množství výsledků je zde prezentován pouze jeden parametr. Na závěr jsou v tabulce shrnuty výsledky všech kontrolovaných parametrů šnekové hřídele.

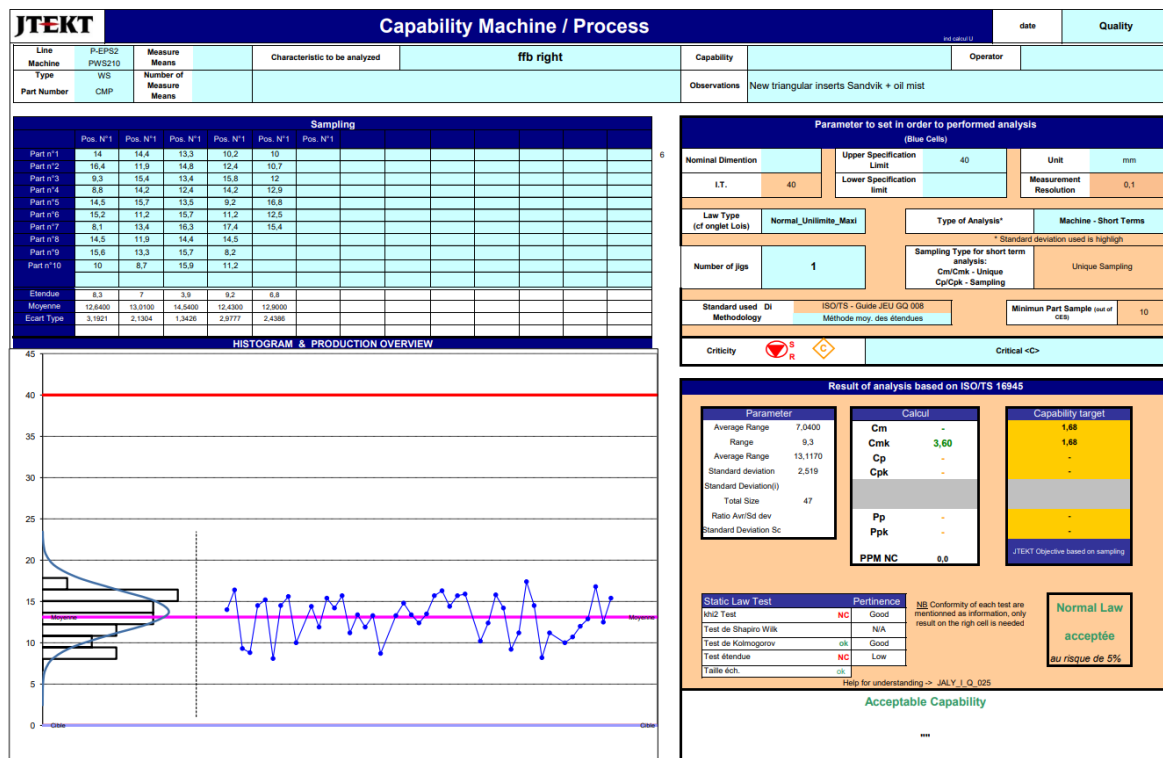
Během testování je potvrzen předpoklad značného zvýšení teploty na základě změny barvy třísek a pocitově nepříjemné teploty dílu při jeho odebírání ze stroje. Na pozici je snížen i akustický komfort pro operátora. Zde platí, že s rostoucí řeznou rychlostí se zvyšuje hluk stroje. Dle vyhodnocené stability procesu lze vidět vliv teploty na parametr ffb. Na prvních deseti kusech se stroj chová dle požadavků, ale po zahřátí celého prostoru dojde k nárůstu hodnoty. Po nárůstu hodnoty je proces vyhodnocen jako nestabilní a je zapotřebí sestavit akční plán pro dosažení stability procesu. Hlavním bodem akčního plánu se stala zvýšená teplota při řezu a její částečné odstranění.



Obr. 4.2: Ukázka parametru ffb z prvního testu stability procesu – nevyhovující [4]

Na základě získaných zkušeností a po konzultaci se společností Sandvik je v rámci řešení rozhodnuto o instalaci olejové mlhy do stroje. Olejová mlha dokáže snížit dopady tepla na parametry šnekové hřídele a zvýšit životnost nástroje.

Po instalaci olejové mlhy je proveden další test s cílem úspěšné validace stability procesu s dosaženým výrobním časem. Olejová mlha má pozitivní vliv na akustický komfort v okolí stroje a dle vyhodnocení stability procesu i pozitivní vliv na proces výroby.



Obr. 4.3: Ukázka parametru ffb z druhého testu stability procesu – vyhovující [4]

Po vyhodnocení všech náměrů lze konstatovat, že proces je stabilní a lze ho použít pro standardní výrobu.

Tab. 4.1: Kompletní vyhodnocení stability procesu

	Dfs	fp left	Fp left	fp right	Fp right	fHa left	ffa left	fHa right	ffa right	fHB left	ffb left	fHB right	ffb right
Cm	2,54	-	-	-	-	9,48	-	7,83	-	2,68	-	2,35	-
Cmk	2,52	1,77	2,20	2,98	3,46	6,76	8,65	6,37	8,19	1,98	3,09	2,16	3,60
Horní limit	50	45	50	45	50	35	45	35	45	35	40	35	40
Dolní limit	-50	0	0	0	0	-35	0	-35	0	-35	0	-35	0

Tímto postupem je dosaženo zrychlení stroje PWS210 z 38 sekund na 27 sekund.

4.2 Stroj PWS230 nestíhá výrobní čas

Zde je popsáno zrychlení stroje PWS230, který brousí šnekové hřídele na požadovaný rozměr. Stroj PWS230 je stroj japonské značky Karats. Jedná se o pětiosé obráběcí centrum se specializací na broušení šnekových hřídelí. Pro broušení šnekových hřídelí se ve společnosti JTEKT využívá brusný kotouč Hermes EKW 180 G10 V09G.

Standardem v oblasti technologie broušení je takzvané broušení na dva průchody brusným kotoučem. Tato technologie je založena na myšlence, že každý závit je broušen dvakrát. První průchod je hrubovací a druhý průchod dokončovací. Automatický čas stroje činí 36 sekund + manuální čas operátora činí 2 sekundy. Cílem je zrychlení automatického času stroje na 25 sekund, přičemž manuální čas operátora zůstává 2 sekundy. Vzhledem k požadované velké úspoře času není možné dané úspory dosáhnout zrychlením řezných parametrů bez následku zhoršení kvality vyráběných dílů. Z důvodu velké časové úspory je využita technologie jednorůchodového broušení. V praxi to znamená, že každý závit je broušen pouze jednou, a to rovnou dokončovací operací. Pro danou technologii je ovšem velmi důležitá vysoká kvalita operace řezání na stroji PWS210, rovnoměrný přídavek pro broušení, požadované vyvážení brusného kotouče a nízké házení orovnávače. V rámci operace řezání na stroji PWS210 může docházet k různým chybám v parametrech ozubení. Příkladem může být špatná rozteč, velký rozdíl mezi průměrem přes drátky nebo velká vlnitost stoupání. Veškeré tyto parametry ovlivní výsledné parametry šnekové hřídele po broušení. V praxi to znamená, že čím jsou dosaženy lepší výsledky po řezání, tím jsou dosaženy lepší výsledky po broušení.

První test jednorůchodového broušení

Pro první test je využito standardních podmínek. Jedná se o použití aktuálně využívaných destiček pro řezání šnekové hřídele a o následné použití standardního kotouče EKW 180 G10 V09G. Z důvodu zachování stability broušení je třeba upravit přídavek pro broušení, který pro standardní dvouprůchodové broušení činí 0,65 mm. Nový přídavek je stanoven na 0,45 mm. Při tomto přídávku je zachováno ideální zatížení na kotouči. V případě nedodržení požadovaného přídávku dojde k výraznému nárůstu zatížení na kotouči, které způsobí zborcení profilu, a tak výrobu zmetků. V případě výrazného snížení přídávku naopak může docházet k nerovnoměrnému řezu, který způsobí vlnění kotouče, což opět vede k výrobě zmetků.

Během prvního testu je zjištěno nadměrné lokální borcení profilu brusného kotouče. Při testu je tak nově nastaven větší úběr kotouče na orovnáni z hodnoty 0,02 mm na hodnotu 0,035 mm, ale pro sériovou výrobu je tento postup nepřijatelný, a to z důvodu nepřipustného snížení životnosti brusného kotouče. Je zjištěno, že hlavním důvodem borcení profilu je nerovnoměrný přídavek po profilu zubu. Daný nerovnoměrný přídavek způsobuje lokální přetížení brusného kotouče, které způsobuje lokální borcení profilu.

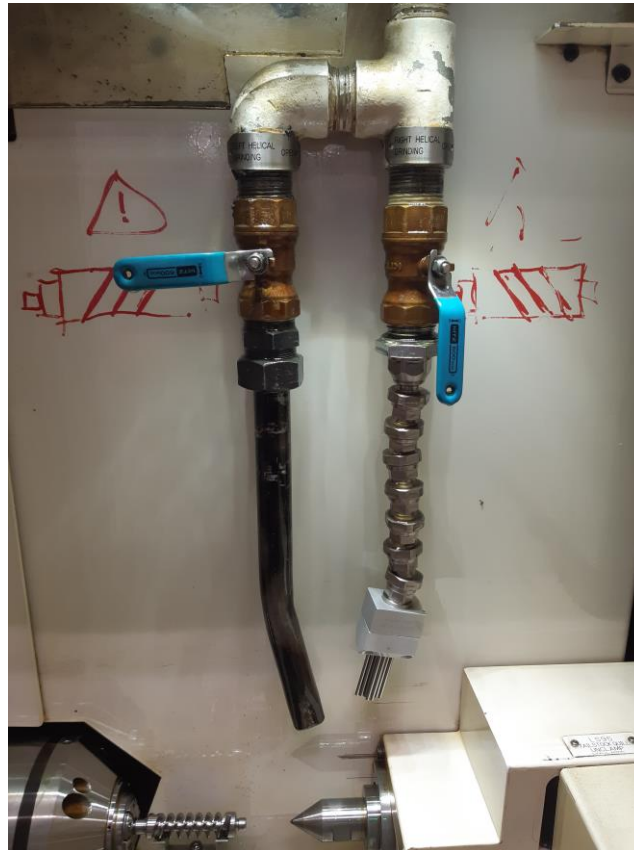
Při testu je dále zjištěn problém v podobě vzniku plošek. Vzniklé plošky zvyšují míru hluku samotného řízení. Plošky jsou umístěny na horní hraně profilu zubu, viz Obr. 4.4. Po přezkoumání plošek mikroskopem je evidentní, že se jedná o podříznutí ze stroje PWS210. Při prvním testu jsou použity řezné destičky, které jsou navrženy pro přídavek 0,65 mm. Na základě prvního testu je stanoveno, že pro využití jednorůchodového broušení je nutné navrhnout nový tvar řezných destiček pro docílení přídávku 0,45 mm.



Obr. 4.4: Vzniklé plošky při jednorůchodovém broušení [4]

Druhý test jednorůchodového broušení

Pro druhý test je navržen nový tvar řezných destiček od společnosti Leistritz, který odpovídá přídavku 0,45 mm. Pro druhý test je dále nakonfigurován nový brusný kotouč. Ve spolupráci s odborníky ze společnosti Hermes je navržen kotouč EKW 180 H-I10 V64. Tento kotouč je navržen pro dosažení stability při vyšším zatížení při zachování kvality. Tohoto efektu je docíleno větším množstvím pojiva v brusném kotouči. Množství pojiva v kotouči však nesmí být příliš velké, jinak by brusný kotouč způsoboval popaly na díle, které mohou mít za následek změnu struktury materiálu provázenou nežádoucí změnou charakteru chování materiálu. Z důvodu obav z rizika možnosti vzniku popalů na díle vznikla myšlenka vytvořit nový systém přívodu chladicí kapaliny, který bude lépe odvádět teplo a vzniklé třísky z místa řezu. V současné době je ve společnosti JTEKT zajištěn přívod chladicí kapaliny do místa řezu za pomoci ohnuté trubky.



Obr. 4.5: Systém přívodu chladicí kapaliny - vlevo původní, vpravo nový [4]

Nový systém přívodu chladicí kapaliny neboli oleje je zvolen od společnosti Grindaix. Tato společnost se dlouhodobě zabývá vývojem systémů chlazení a v tomto oboru patří mezi špičku. Pro společnost JTEKT vytvořila systém přívodu oleje na míru. Jedná se o sestavu trubiček, která kopíruje tvar profilu zubu šnekové hřídele. Výsledkem je několik malých proudů oleje, které kopírují celý profil zubu. S tímto cíleným přívodem oleje dochází k lepšímu odvodu tepla a třísek z místa řezu, a tím vzniku lepší drsnosti na výsledném dílu.

Test nového přívodu chladicí kapaliny je proveden na standardní výrobě pouze se změnou přívodu chlazení. Toto porovnání je zvoleno z důvodu získaných zkušeností s již zaběhnutým projektem. Daný projekt má při své výrobě určitý průběh drsnosti, a lze tak spolehlivě určit, jaký má nový systém chlazení vliv. V Tab. 4.2 lze vidět naměřené čtyři díly, které jsou vyrobeny po sobě a za stejných podmínek. Každý díl byl změřen na čtrnácti místech. Tímto způsobem je zaznamenán celý skutečný průběh drsnosti na vyrobeném díle. Z každé strany je poté proveden průměr všech hodnot. Každá strana ze všech šnekových hřídelí je zprůměrována, a je tak získán průměr hodnoty Ra pro všechny šnekové hřídele. Z tabulky vyplývá, že průměrná hodnota Ra viditelná od průměru 12 mm je 0,26 a od průměru 10 mm je 0,23.

Tab. 4.2: Náměry hodnot drsností pro stávající systém chlazení

Stávající systém chlazení								
č. dílu	1		2		3		4	
	ø12 mm Ra [-]	ø10 mm Ra [-]	ø12 mm Ra [-]	ø10 mm Ra [-]	ø12 mm Ra [-]	ø10 mm Ra [-]	ø12 mm Ra [-]	ø10 mm Ra [-]
1	0,26	0,23	0,29	0,24	0,27	0,24	0,25	0,21
2	0,28	0,22	0,25	0,23	0,25	0,22	0,27	0,2
3	0,27	0,22	0,26	0,22	0,26	0,22	0,25	0,22
4	0,26	0,22	0,27	0,22	0,26	0,22	0,24	0,23
5	0,27	0,25	0,25	0,23	0,24	0,23	0,26	0,22
6	0,27	0,23	0,25	0,21	0,25	0,23	0,27	0,22
7	0,28	0,24	0,27	0,23	0,26	0,22	0,26	0,23
	0,27	0,23	0,26	0,23	0,26	0,23	0,26	0,22

ø 12 mm Ra [-]	0,26
ø 10 mm Ra [-]	0,23

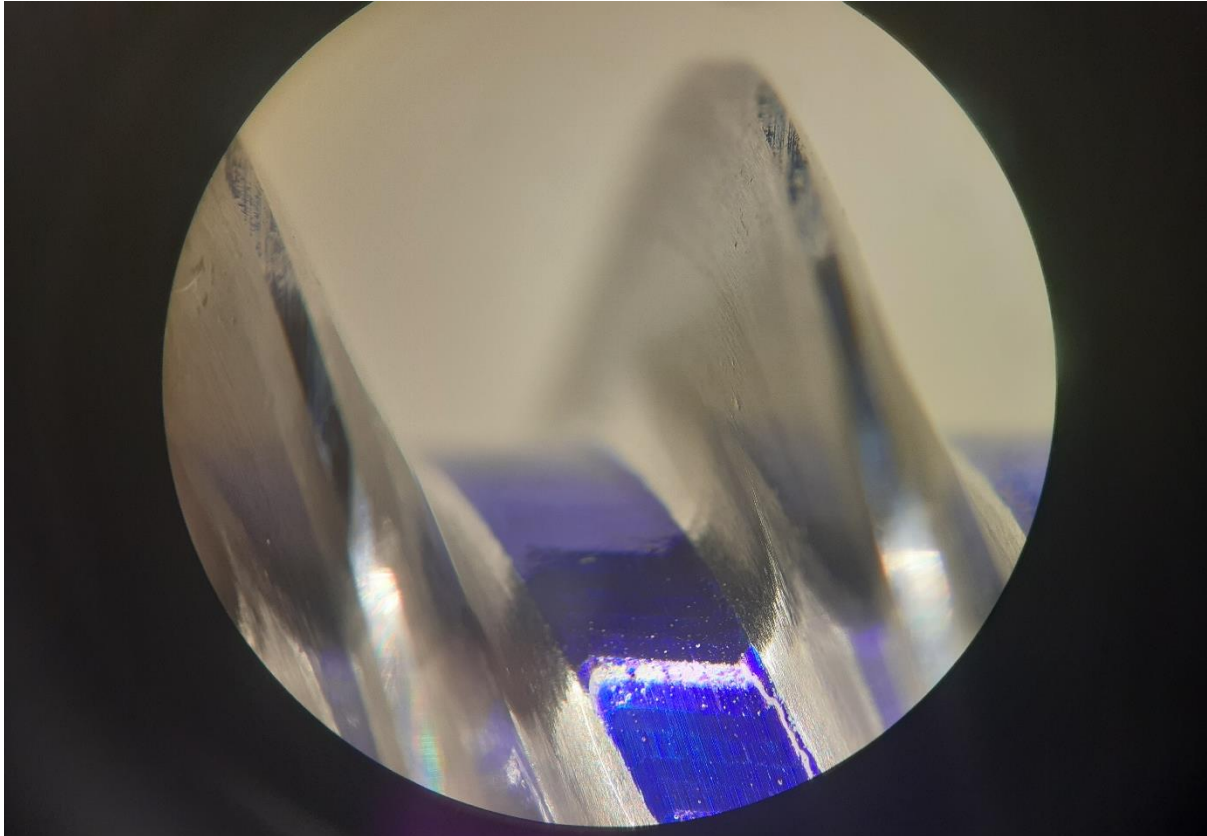
Naměřené výsledky pro nový systém chlazení lze vidět v Tab. 4.3. Na základě vyhodnocených výsledků lze konstatovat zlepšení drsnosti broušeného povrchu. Zlepšená drsnost má za následek snížení hluku ve finálním řízení, a tím zlepšení akustického komfortu pro řidiče.

Tab. 4.3: Náměry hodnot drsností pro nový systém chlazení

Nový systém chlazení								
č. dílu	1		2		3		4	
	ø12 mm Ra [-]	ø10 mm Ra [-]	ø12 mm Ra [-]	ø10 mm Ra [-]	ø12 mm Ra [-]	ø10 mm Ra [-]	ø12 mm Ra [-]	ø10 mm Ra [-]
1	0,26	0,2	0,2	0,2	0,22	0,23	0,21	0,22
2	0,26	0,2	0,23	0,22	0,24	0,21	0,2	0,23
3	0,24	0,21	0,22	0,21	0,26	0,23	0,21	0,2
4	0,25	0,2	0,25	0,21	0,23	0,24	0,2	0,21
5	0,23	0,2	0,26	0,21	0,26	0,21	0,2	0,21
6	0,24	0,2	0,25	0,22	0,25	0,25	0,19	0,2
7	0,27	0,2	0,27	0,21	0,24	0,24	0,22	0,2
	0,25	0,20	0,24	0,21	0,24	0,23	0,20	0,21

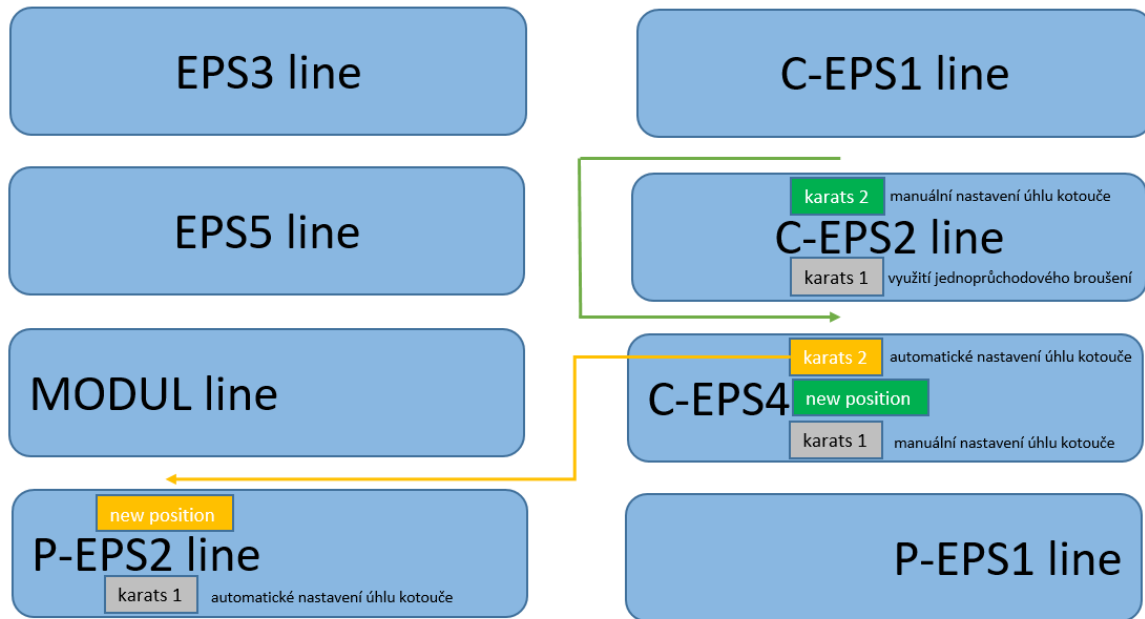
ø 12 mm Ra [-]	0,23
ø 10 mm Ra [-]	0,21

Na základě provedení výše zmíněných dvou testů je zjištěno, že lze vyrábět díly s požadovanou přesností při časové úspoře 11 sekund. Na Obr. 4.6 lze vidět vizuální kontrolu mikroskopem po jednorůchodovém broušení. V rámci dané kontroly je důležité ověřit kompletně broušený spodní rádius, který v případě nevybroušení může způsobovat vytrvalostní problémy šnekového soukolí. Pro vizuální kontrolu mikroskopem se díl před broušením barví dílenskou barvou.



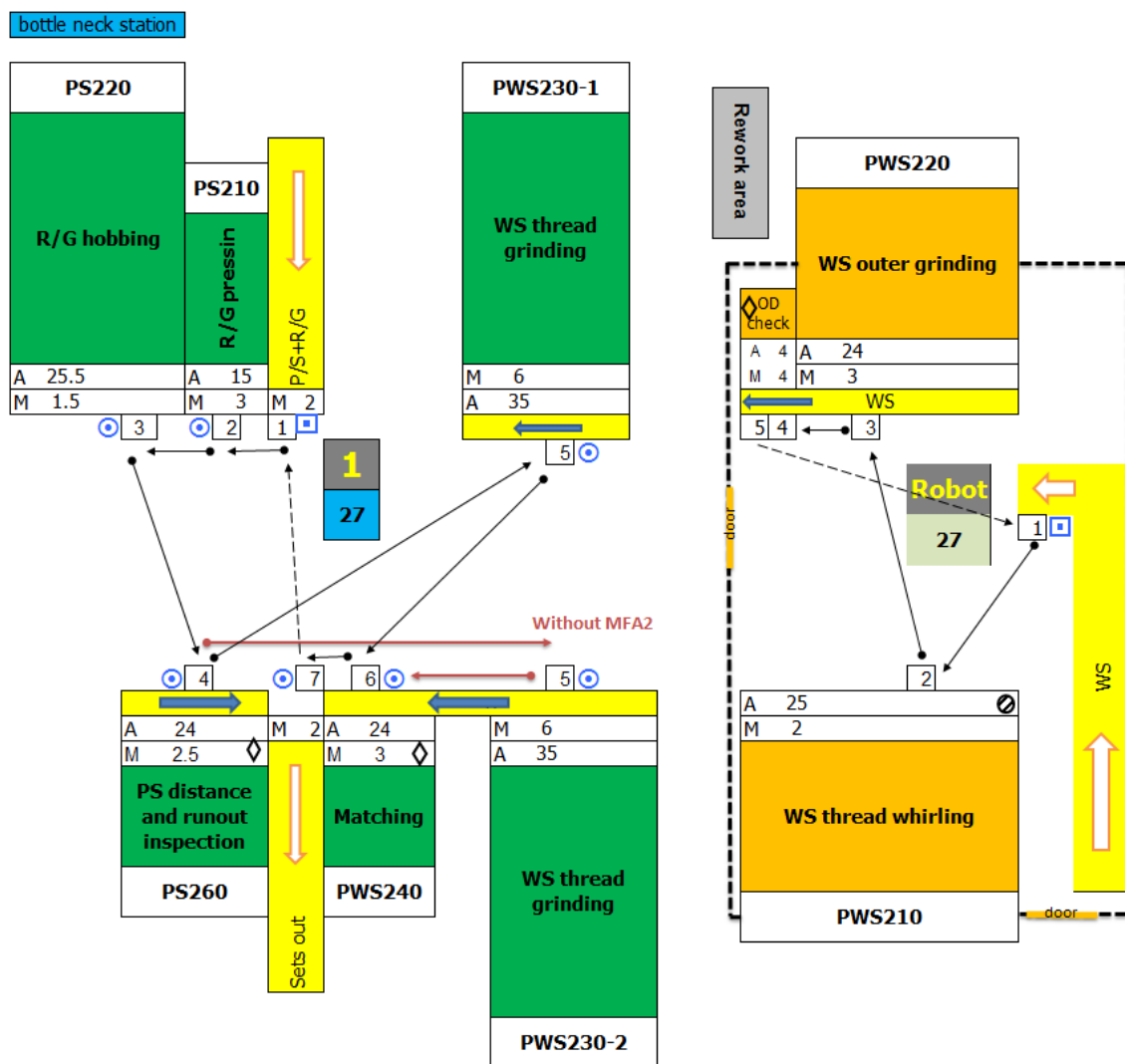
Obr. 4.6: Vizuální kontrola mikroskopem broušeného profilu po jednorůchodovém broušení [4]

Z hlediska bezpečnosti výroby a z pohledu budoucích kapacitních plánů na jednotlivých linkách ve společnosti JTEKT je rozhodnuto přeorganizovat uspořádání strojů. Jelikož je stroj PWS230 označen jako kritický, je nutné vytvořit plán pro jeho zálohu se zachováním zrychlení na 27 sekund. Kritický stroj je stroj, který při poruše ohrozí výrobu a pokrytí zakázek. Jelikož linka P-EPS2 jako jediná zásobuje linku EPS5, kde se vyrábí nejlepší DP-EPS systémy řízení, je velmi nebezpečné fungovat dlouhodobě s jedním strojem. Na základě analýzy výrobní kapacity na dalších 5 let je rozhodnuto přeuspořádání brusek ve společnosti JTEKT. Ve společnosti JTEKT jsou součástí každé výrobní linky dva stroje od společnosti Karats, které se mohou mezi sebou lišit generačními změnami. Linka P-EPS2 je jedinou výrobní linkou, kde se nachází pouze jediný stroj od společnosti Karats. Jednorůchodové broušení je aplikováno na lince C-EPS2 na jednom ze dvou strojů od společnosti Karats. Druhý stroj od společnosti Karats, který má manuální nastavení úhlu kotouče, je přesunut na výrobní linku C-EPS4, kde tento stroj je vyměněn za jiný stroj od společnosti Karats, který má již automatické nastavení úhlu kotouče. Tento stroj od společnosti Karats je věkově nejbližší ke stroji, který se již na výrobní lince P-EPS2 nachází. Dané dva stroje mají společnou vlastnost, kterou je automatické nastavení úhlu kotouče.



Obr. 4.7: Grafické znázornění přesunu strojů mezi linkami [4]

Díky přesunu strojů je dosaženo zdvojení kritického stroje na výrobní lince P-EPS2, která je řešena v rámci dané diplomové práce, a díky tomu je splněna i podmínka zrychlení linky na 27 sekund. Operátor při svých pracovních cyklech chodí nyní střídavě k jednomu a poté k druhému stroji od společnosti Karats na výrobní lince P-EPS2. Oba stroje od společnosti Karats mají aktuální automatický čas 36 sekund. Tento přesun byl samozřejmě umožněn jen díky využití jednorůchodového broušení, které je využito na lince C-EPS2.



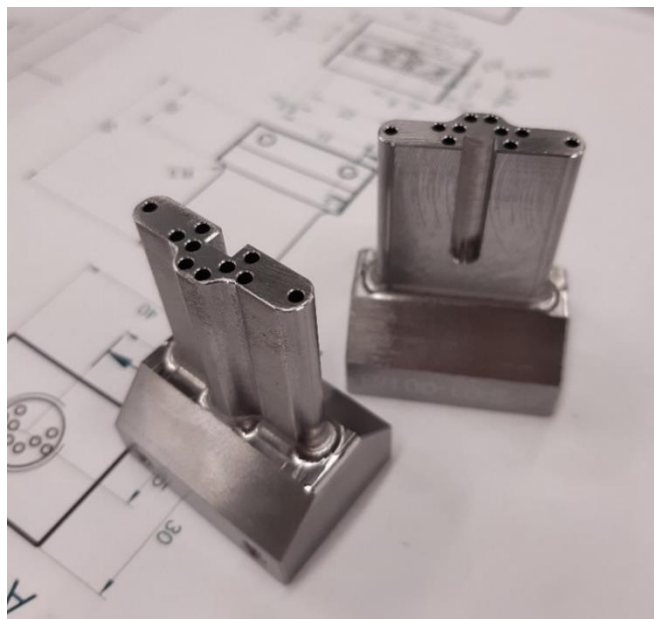
Obr. 4.9: Nové rozložení výrobní linky P-EPS2 [4]

V rámci návrhu nového rozložení výrobní linky je provedeno významné snížení vzdáleností mezi stroji. S tím souvisí i změna systému zavážení výrobní linky. Ve výchozím stavu je výrobní linka zavážena systémem „přivezu, co odvezu“. Jedná se o systém, kdy každý díl má svoje vlastní místo v dopravníku a při odhození prázdné bedny z výrobní linky se logistika dozví, který projekt se aktuálně vyrábí, a dle odhozených beden dováží nové. Výhodou je neplánování výroby a možnost výrobu aktuálně přizpůsobovat požadavkům následujících výrobních linek nebo požadavkům skladu. Nevýhodou daného systému zavážení je velký dopravník vstupujících dílů. Současný dopravník má deset drah, přičemž každý projekt má svoji dráhu. V rámci zrychlení je zaveden nový návrh systému zavážení, který je založen na současném systému zavážení, avšak jeho cílem je sjednotit dopravník pro vstupující díly, a tím ušetřit vzdálenost, čímž se sníží potřebný výrobní čas. V rámci optimalizace je vytvořen nový přechodový dopravník stojící mimo výrobní linku, který svojí kapacitou stačí pro rozjezd výrobní linky. Díky přechodovému dopravníku má operátor logistiky dostatek času zavést nové díly do stávajícího společného dopravníku výrobní linky. Tato změna má za následek ušetření 2 metrů pohybu operátora na výrobní lince.

Na podobném principu je také snížena velikost dopravníku pro vyrobené díly na polovinu. Důsledkem této změny je častější vykládání dopravníku na paletu. Jedná se o prodloužení času, který není výrobní, a tudíž nemá vliv na výrobní čas operátora.

V rámci další studie rozložení strojů na výrobní lince je pozornost zaměřena na pozici WS cleaning. Jedná se o vysavač, který má za úkol odstranit olej po broušení ze šnekové hřídele. Při nedostatečném odstranění oleje z vyráběného dílu dochází k usazování nečistot během skladování, a tím dochází k vyššímu výskytu zmetků. Tato pozice zaměstnává operátora na vkládání dílu do vysavače, jehož manuální čas činí 2 sekundy. Nevýhodou daného zařízení je zejména zvýšený hluk na výrobní lince, vynášení oleje ze stroje od společnosti Karats a zpomalení chodu výrobní linky. Zvýšený hluk, který vzniká při odsávání, může při celodenní práci operátorům způsobit nepříjemnou bolest hlavy. Vynášení oleje je problematické, protože olej se postupně roznáší po celé výrobní lince, čímž vznikají nebezpečná kluzká místa, a vzniká tak riziko možného uklouznutí operátora. Vynášení oleje je též problematické z důvodu životního prostředí. Životní prostředí je zatíženo nebezpečným odpadem vznikajícím při vynášení oleje ze stroje. Jedná se o samotný olej a značné množství rukavic pro operátory, kteří při výměně dílu uchopí díl od oleje a rukavice jsou olejem nasáknuty. Po určité době je třeba rukavice vyměnit. Tato skutečnost způsobuje i kožní problémy operátorům, a vytváří tak špatný dojem z fungování společnosti. Důsledkem vynášení oleje jsou samozřejmě i zvyšující se náklady z důvodu zvýšené spotřeby oleje a rukavic pro operátory.

V rámci řešení je stanovena implementace nového způsobu čištění šnekové hřídele. Nový způsob čištění je instalován přímo do výrobního stroje. Daným návrhem řešení dojde k odstranění všech nevýhod starého způsobu čištění, které jsou popsány výše. Vzorem pro návrh systému čištění je návrh systému chlazení od společnosti Grindaix. Návrh od dané společnosti je upraven tak, aby celou výrobu nového systému čištění, které je součástí systému chlazení, bylo možné provést ve společnosti JTEKT. K základním chladicím trubičkám, které jsou součástí systému chlazení, jsou přidány dvě postranní trubičky na čištění, viz Obr. 4.10. K těmto dvěma trubičkám je přiveden zdroj vzduchu. Program stroje aktivuje po konci cyklu broušení přívod vzduchu, který následně očistí šnekovou hřídel přímo ve stroji. Kompletní výkres nového systému chlazení a čištění je uveden v příloze diplomové práce.



Obr. 4.10: Navržený koncový díl systému chlazení a čištění [4]

Po instalaci nového systému chlazení a čištění je nutné provést jeho testování. V rámci testování je nutné ověřit správnou funkci systému chlazení. To znamená, že je nutné si ověřit hodnoty drsnosti broušených ploch. Získané hodnoty drsnosti broušených ploch jsou uvedeny v Tab. 4.4. Na základě získaných hodnot drsností lze konstatovat, že nový systém chlazení vyhovuje. V rámci testování je také ověřena funkce nového systému čištění. Z daného testování vyplývá, že je možné zrušit pozici WS cleaning. Díky zrušení této pozice lze teoreticky ušetřit 2 sekundy v rámci manuálního času operátora. Nevýhodou implementace nového systému čištění je prodloužení automatického času stroje. Daná nevýhoda je vyřešena implementací výrobního stroje od společnosti Karats z výrobní linky C-EPS4. Daný stroj má automatický čas 38 sekund, který je stejný s již přítomným strojem na lince. Operátor nyní střídavě obsluhuje oba stroje, a tím vznikne prostoj na každém stroji 14 sekund. Daný prostoj lze využít pro nově zavedený systém čištění šnekové hřídele, který je přímo ve stroji.

Tab. 4.4: Porovnání drsnosti broušených ploch

Číslo dílu		Drsnost ploch při použití původního systému chlazení Ra [-]	Drsnost ploch při použití nového systému chlazení Ra [-]
1	ø12 mm	0,27	0,21
	ø10 mm	0,26	0,21
2	ø12 mm	0,28	0,2
	ø10 mm	0,26	0,21
3	ø12 mm	0,27	0,2
	ø10 mm	0,26	0,19
4	ø12 mm	0,25	0,21
	ø10 mm	0,26	0,19
5	ø12 mm	0,25	0,21
	ø10 mm	0,24	0,21

Všechny požadavky na nový systém chlazení a čištění jsou splněny, a je tak možné ho implementovat pro všechny projekty na lince P-EPS2.

Největší vliv na snížení manuálního času operátora má přeuspořádání strojů na výrobní lince. Stroje PS220 a PWS230 jsou přemístěny na kraje celé linky, a to z důvodu, že pracovní prostory jsou umístěny na stranách těchto strojů. Výhodou daného přemístění je skutečnost, že není třeba zbytečně obcházet celý stroj. Tento návrh snížil vzdálenost, kterou musí operátor při svém úkonu překonat, o 2,5 metru. Je nutné však zmínit i negativní vliv dané změny, kterým je zvýšení zastavěné plochy pro danou výrobní linku. To znamená, že výrobní linka aktuálně zabírá více místa na hale, což zvyšuje náklady na umístění strojů.

Po novém návrhu rozložení výrobní linky je nutné provést MTM analýzu, díky které lze spočítat výsledný teoretický čas operátora na novém rozložení výrobní linky. MTM analýzu lze vidět v Tab. 4.5.

Tab. 4.5: MTM analýza nového návrhu rozložení výrobní linky

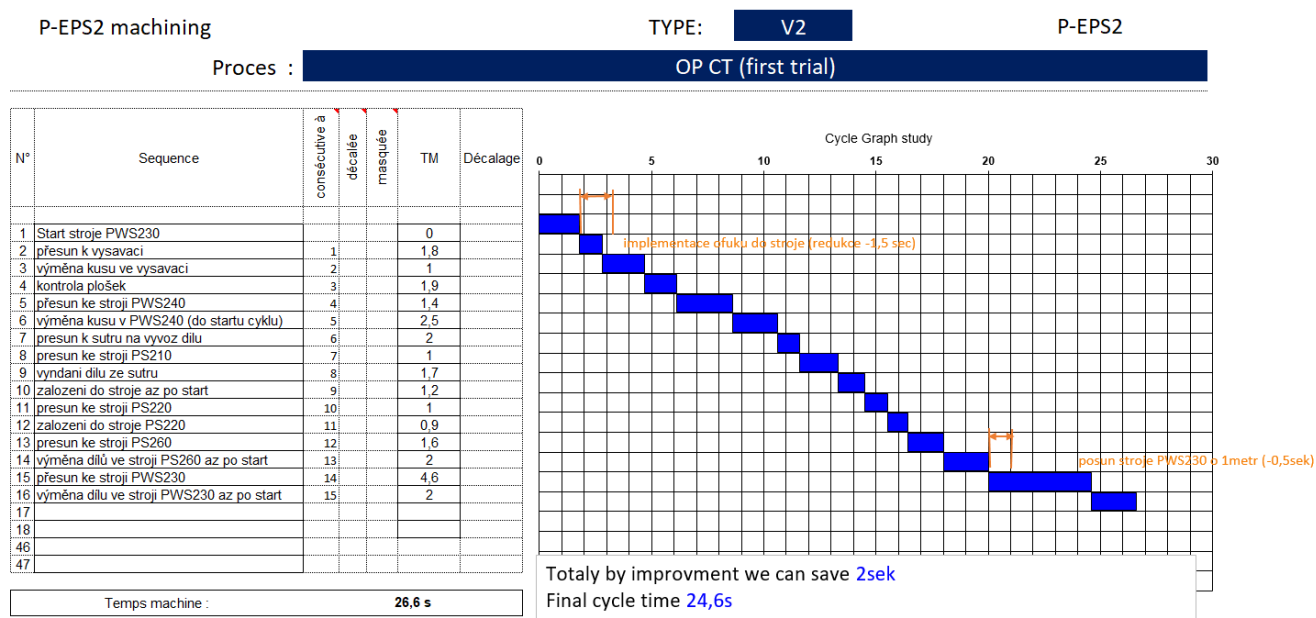
Pořadí operace	Operace	Klasifikace	Délka [cm]	TMU [-]
1.	Založení kola na hřídel			
	Sáhnout	RC	20	19,6
	Uchopit	G1A		2
	Přemístit	M-C	20	11,7
	Krok ke stroji PS210	W-P		15
2.	Stroj PS210			
	Umístit	P1-S-E		5,6
	Pustit	RL1		2
	Sáhnout	R-A	20	7,8
	Krok ke stroji PS220	W-P	2	30
3.	Stroj PS220			
	Sáhnout	R-A	16	7,1
	Uchopit	G1A		2
	Přemístit	M-C	40	18,5
	Umístit	p1-s-e		5,6
	Pustit	rl1		2
	Otočit tělo	TB-C2 90		37,2
	Krok ke stroji PS260	W-P	1	15
4.	Stroj PS260			
	Přemístit	M-B	30	13,3
	Umístit	p1-s-e		5,6
	Pustit	rl1		2
	Otočit tělo	TB-C2 90		37,2
	Sáhnout	R-B	20	10
	Uchopit	G1C1		7,3
	Krok ke stroji PWS230	W-P	6	90
5.	Stroj PWS230			
	Umístit	P1-S-E		5,6
	Sáhnout	R-C	20	11,4
	Uchopit	G4A		7,3
	Přemístit	M-A	30	12,7
	Pustit	RL1		2

	Otočit tělo	TB-C2 90		37,2
	Sáhnout	R-A	20	7,8
	Uchopit	G5		0
	Přemístit	M-A	30	12,7
	Otočit ruku	T-S	75	4,8
	Funkce zraku	EF		7,3
	Otočit ruku	T-S	75	4,8
	Přemístit	M-B	30	13,3
	Pustit	RL1		2
	Uchopit	G1C1		7,3
	Krok ke stroji PWS240	W-P	4	50
6.	Stroj PWS240			
	Umístit	P1-S-E		5,6
	Sáhnout	R-C	20	11,4
	Uchopit	G4A		7,3
	Přemístit	M-A	30	12,7
	Sáhnout	R-C	20	11,4
	Uchopit	G4A		7,3
	Přemístit	M-A	30	12,7
	Pustit	RL1		2
	Krok k dopravníku pro vyrobené díly	W-P	1	15
7.	Dopravník pro vyrobené díly			
	Přemístit	M-C	30	15,1
	Pustit	RL1		2
	Otočit tělo	TB-C2 90		37,2
	Krok na první pozici	W-P	2	30

Suma TMU [-]	702,4
přepočet TMU [s]	25,2864
Manuální čas operátora	25,3 sekund

Na základě MTM analýzy vychází výsledný manuální čas operátora 25,3 sekund. Cílem je dosáhnout manuálního času operátora 27 sekund. To znamená, že vytyčený cíl 27 sekund je splněn, a je tak možné nově připravené teoretické rozmístění strojů považovat za vyhovující.

Po MTM analýze je provedeno přemístění strojů a zároveň je také provedena příprava testu zaměřeného na časovou analýzu pohybu operátora na výrobní lince. Pro časovou analýzu pohybu operátora na výrobní lince je využit simogram. Simogram je rozstřel jednotlivých činností operátora do časových úseků dle záznamu videa. K jednotlivým činnostem operátora lze přiřadit skutečný manuální čas potřebný pro danou činnost. Příslušný simogram je uveden na Obr. 4.11. Ze simogramu lze vidět, že skutečný výsledný manuální čas operátora je 26,6 sekund. Zde je nutné zmínit, že daný simogram je vytvořen ještě před implementací nového systému čištění. To znamená, že lze v daném simogramu odstranit činnost „výměna kusu ve vysavači“, která má manuální čas operátora 1 sekundu, a snížit manuální čas operátora pro činnost „kontrola plošek“ o 0,5 sekund. Nejdelším časovým úsekem v simogramu, který operátor absolvuje, je činnost „přesun ke stroji PWS230“. Po dalším přezkoumání nového rozmístění výrobních strojů je zjištěno, že je možné stroj od společnosti Karats přesunout o 1 metr, a tím tak snížit manuální čas operátora o 0,5 sekund. Celkem lze skutečný výsledný manuální čas operátora snížit o 2 sekundy. Konečný manuální čas operátora činí 24,6 sekund.



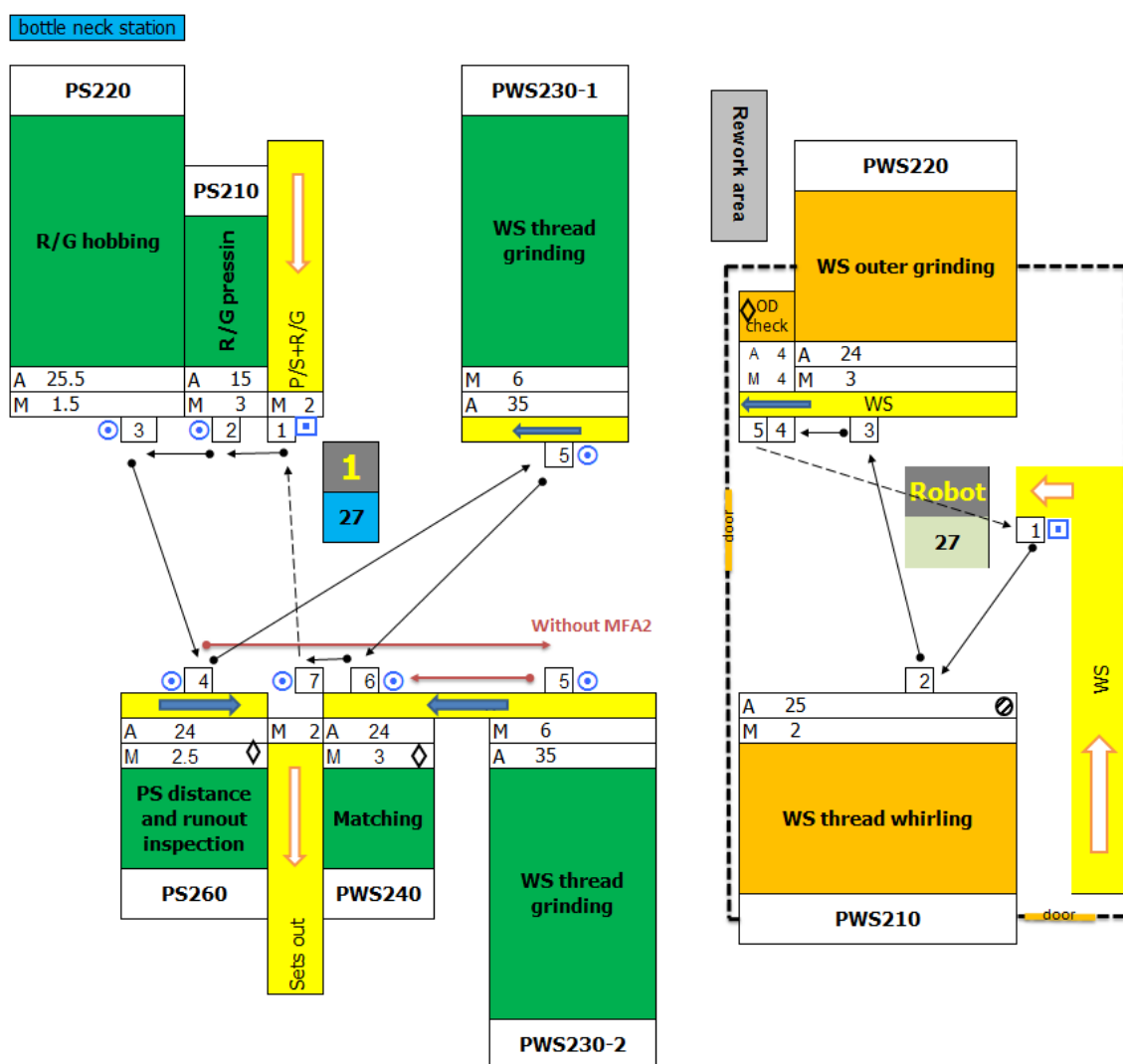
Obr. 4.11: Simogram [4]

Na základě porovnání teoretického manuálního času operátora stanoveného na základě MTM analýzy a skutečného manuálního času operátora stanoveného na základě simogramu, lze konstatovat odchylku 0,7 sekund. Závěrem lze uvést, že celkový manuální čas operátora je nižší než požadovaný původní cíl 27 sekund, a je tak vyhovující.

4.4 Shrnutí hlavních opatření

Zde je uvedeno shrnutí hlavních opatření, která jsou navržena a zrealizována v rámci praktické části diplomové práce. Navržená a zrealizovaná opatření mají zásadní vliv na snížení výrobního času linky z původních 38 sekund na 27 sekund.

Všechna důležitá zavedená opatření jsou názorně uvedena na Obr. 4.12. Z důvodu přehlednosti je v práci dané schéma uvedeno po druhé. Daná opatření se týkají stroje PWS210, stroje PWS230 a rozložení zobrazené výrobní linky P-EPS2.



Obr. 4.12: Navržené rozložení výrobní linky P-EPS2 [4]

V rámci prvního opatření je řešen stroj PWS210, který nestíhá vyrobit požadovaný díl v nově stanoveném čase 27 sekund. Pro zachování stability kvality dílu během zrychlené výroby je navrženo řešení v podobě výměny řezných destiček. V rámci opatření jsou původní lichoběžníkové destičky nahrazeny destičkami trojúhelníkovými. Výhodou náhrady řezných destiček je zvládnutí vyššího zatížení při zachování stejné životnosti nástroje a kvality dílu. Tímto opatřením je dosaženo zvládnutí vyšší posuvové rychlosti 173000 mm/min oproti původní posuvové rychlosti 10300 mm/min, čímž je možné zajistit zrychlení stroje PWS210.

V rámci druhého opatření je řešen stroj PWS230, který nestíhá vyrobit požadovaný díl v nově stanoveném čase 27 sekund. Stanoveného výrobního času 27 sekund na výrobní lince P-EPS2 je dosaženo zavedením technologie jednopřúchodového broušení na jednom ze dvou strojů na výrobní lince C-EPS2. Díky zavedení technologie jednopřúchodového broušení je zrychlen daný jeden stroj natolik, že sám vystačí pro zajištění výrobní kapacity dané výrobní linky C-EPS2. To znamená, že lze přesunout druhý stroj z výrobní linky C-EPS2 na linku C-EPS4. Tento přesun je zaveden z důvodu sjednocení generace strojů v rámci výrobních linek C-EPS4 a P-EPS2. To znamená, že generačně mladší stroj je přesunut z výrobní linky C-EPS4 na výrobní linku P-EPS2 a díky tomu je stroj PWS230 zdvojen na výrobní lince P-EPS2. Zdvojení tohoto stroje má za následek zvládnutí požadovaného výrobního času 27 sekund.

V rámci třetího a zároveň posledního opatření je řešen manuální čas operátora, protože operátor nestíhá vyrobit požadovaný díl v nově stanoveném čase 27 sekund. V rámci opatření je pro dosažení stanoveného výrobního času 27 sekund navrženo a zrealizováno nové rozložení výrobní linky P-EPS2. Tímto opatřením je dosaženo toho, že operátor nebrzdí výrobní takt, a je tak zvýšena výrobní kapacita dané výrobní linky. Pro návrh a realizaci uvedeného nového rozložení výrobní linky P-PES2 je využito MTM analýzy a simogramu.

5 Závěr

Diplomová práce se věnuje návrhu a realizaci zrychlení výrobní linky pro výrobu šnekového soukolí ve společnosti JTEKT s cílem zvýšit její výrobní takt.

Teoretická část diplomové práce se zabývá racionalizací práce ve výrobním procesu. Dále se věnuje výpočtu časové náročnosti při tvorbě nového rozložení výrobní linky a snímkování výrobní operace. Součástí teoretické části je i charakteristika práce ve společnosti JTEKT. Ta mj. zahrnuje specifikaci vyráběných součástí a jejich funkce v systému řízení. Dále je v této části detailně popsána výrobní linka, jejíž zrychlení z hlediska kapacity výroby je předmětem této diplomové práce.

Praktická část je zaměřena na jednotlivé operace výrobního procesu, u kterých bylo nutné provést studii a vytvořit plán pro přípravu jejich zrychlení. Pozornost je konkrétně zaměřena na tři operace, které jsou pro dosažení požadovaného času výroby, a tím zajištění požadované výrobní kapacity, zásadní. V prvním případě se jedná o zrychlení za pomoci nových rezných nástrojů. Ve druhém případě jde o novou technologii broušení. Ve třetím případě jde o návrh a realizaci nového rozvržení výrobní linky. Pro každou z těchto operací je příslušné řešení navrženo individuálně. Provedena je zde MTM analýza pro zjištění teoretického manuálního času operátora, který je poté porovnán se skutečným manuálním časem operátora, který byl zjištěn pomocí simogramu.

Závěrem lze konstatovat, že díky všem navrženým a aplikovaným řešením je dosaženo zrychlení výrobní linky šnekového soukolí z původních 38 sekund na 27 sekund. Toto zrychlení má za následek zvýšení produkce, a tím zvládnutí zvýšené výrobní poptávky na výrobní lince. Navýšení výrobní kapacity činí 133,3 šnekových soukolí za hodinu oproti původním 94,7 šnekovým soukolím za hodinu. Díky danému zrychlení dokáže výrobní linka plynule zásobovat další navazující výrobní linky, a dochází tak ke snížení ceny šnekového soukolí z důvodu snížení časové náročnosti na výrobu. Díky zrychlení výrobní linky, a tím snížení výrobní ceny šnekového soukolí, se tak společnost JTEKT stává více konkurenceschopnou a do budoucna získává výhodu lepšího zajištění práce pro své zaměstnance.

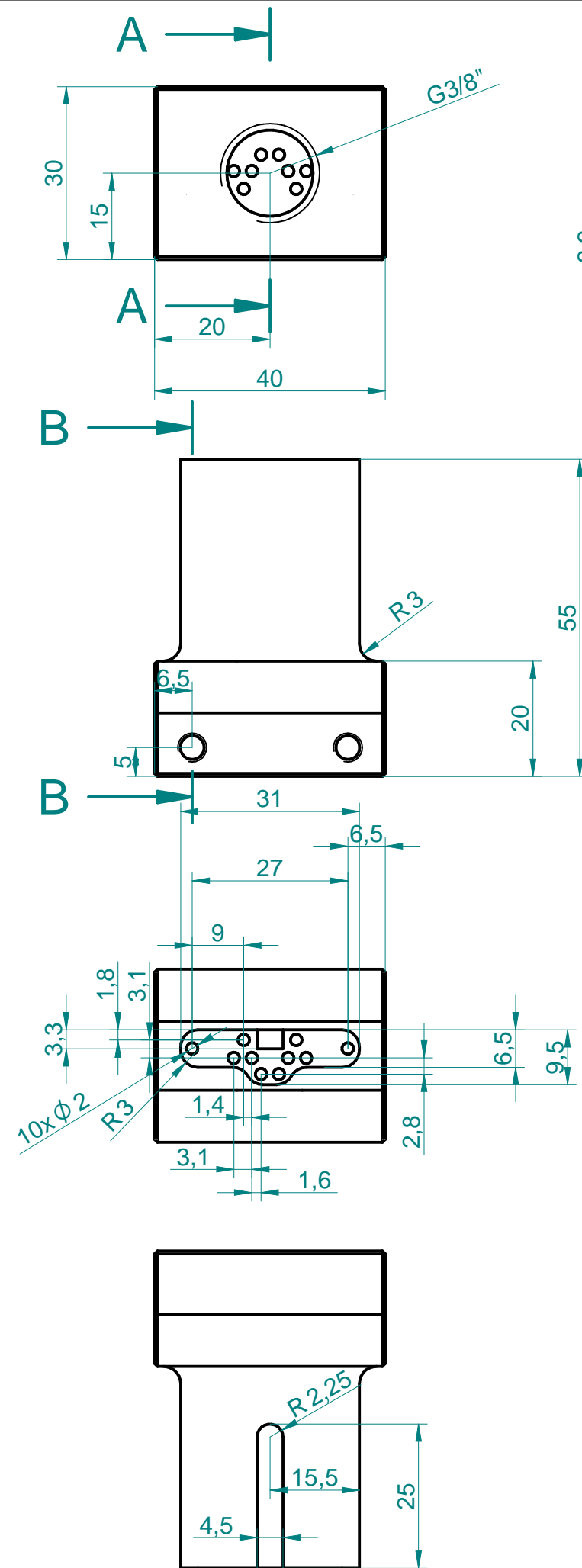
Seznam použité literatury

- [1] ZELENKA, Antonín a Mirko KRÁL. *Projektování výrobních systémů*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1995. ISBN 80-01-01302-2.
- [2] NOVÁK, Josef a Pavlína ŠLAMPOVÁ. *Racionalizace výroby*. Ostrava: Realizace VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2007. Číslo CZ.04.1.03/3.2.15.3/0414.
- [3] [ZPRACOVAL MIROSLAV KRÁL]. *Metody a techniky užívané v ergonomii*. Praha: Výzkumný ústav bezpečnosti práce, 2001. ISBN 8023879308
- [4] Archiv JTEKT Automotive Czech Plzen s.r.o.
- [5] FAULKNER, Bill. *Lean Management definition*. In: EHow [online]. ©2009 - 2012 [cit. 2012-04-05]. Dostupné z: http://www.ehow.com/about_6556988_lean-management-definition.html
- [6] DAŇKOVÁ, Kateřina. Projekt racionalizace pracoviště víceosých strojů ve společnosti CZUB, a.s. Zlín, 2012. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta managementu a ekonomiky.
- [7] VAŠÍČEK, Jáchym. Studie racionalizace práce při upínání obrobku pro soustruh Takamaz X10-i, Plzeň, 2019. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni. Fakulta strojní.
- [8] HIROYUKI, H.: *5S pro operátory: 5 pilířů vizuálního pracoviště*. Brno: SC&C Partner, 2009. ISBN 978-80-904099-1-0
- [9] TOMEK, G., VÁVROVÁ, V. *Řízení výroby .2., rozš.adopl.vyd.* Praha: Grada, 2000. Expert (Grada). ISBN 80-71-69-955-1
- [10] ZELENKA, A., PRECLÍK, V. *Racionalizace výroby*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2004. ISBN 80-01-02870-4
- [11] BÍMOVÁ, Eliška. Stanovení vytíženosti kontrolních měrových středisek pro převodovku MQ200 a MQ100, 2011. Diplomová práce. Technická univerzita v Liberci. Fakulta textilní.

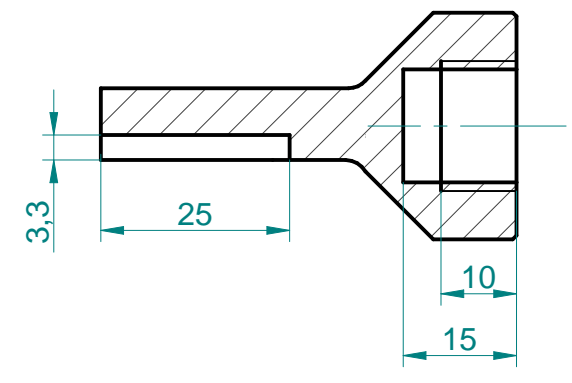
PŘÍLOHA č. 1

Výkres nového systému chlazení a čištění WS

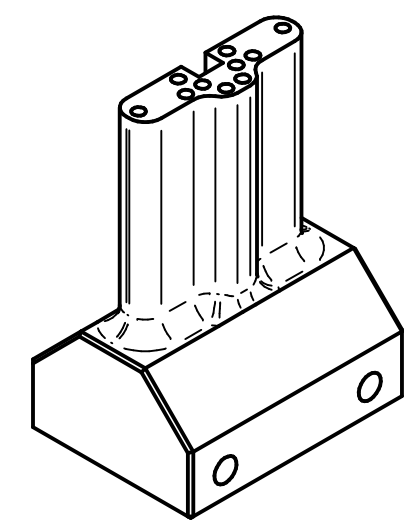
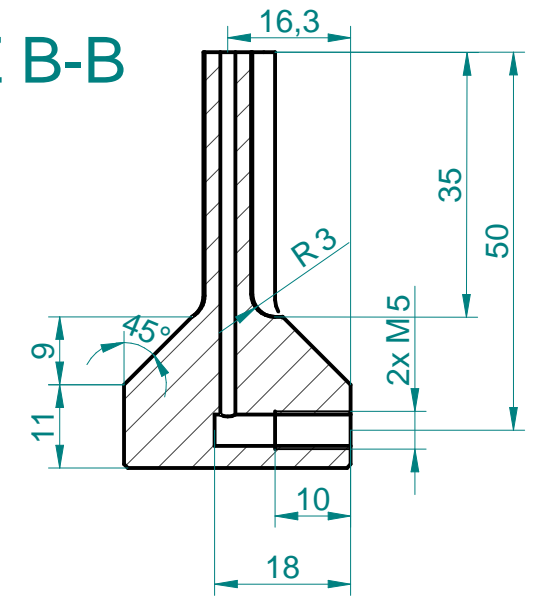
3,2 (✓)



ŘEZ A-A



ŘEZ B-B



Vasicek	11.1.2021	B	Uprava designu pro možnost výroby interne (kaizen)						
Vasicek	10.11.2020	A	Vytvoření dokumentu						
Jméno	Datum	Revize	Změna						
Délka	Tol.	Radius / Zkos	Tol.	Hrany srazit min 0,2x45°. Díl označit číslem výkresu-revize.					
120 < x ≤ 400	± 0,5	6 < x	± 1	Navrh	Zkontroloval	Měřitko	Hmotnost	Materiál	Tloušťka
30 < x ≤ 120	± 0,3	3 < x ≤ 6	± 0,5	vasicek.j		1:1	0.186 kg	12 050	
6 < x ≤ 30	± 0,2	0,5 < x ≤ 3	± 0,2	Datum	Datum	Chemicko-tepelné zpracování / povrch			
0,05 < x ≤ 6	± 0,1			11.1.2021					
Síkmnost	Tol.	Kolmost	Tol.	Název					
120 < x ≤ 400	± 10'	1000 < x ≤ 3000	1	Nozzle cleaning and cooling					
50 < x ≤ 120	± 20'	300 < x ≤ 1000	0,8	JTEKT					
10 < x ≤ 50	± 30'	100 < x ≤ 300	0,6	Automotive Czech Pilsen					
0 < x ≤ 10	± 1°	0 < x ≤ 100	0,4	Číslo výkresu					
Přímost / Plochost	Tol.	Souměmost	Tol.	455-01-001-B					
300 < x ≤ 1000	0,6	1000 < x ≤ 3000	1	Revise					
100 < x ≤ 300	0,4	300 < x ≤ 1000	0,8	List					
30 < x ≤ 100	0,2	0 < x ≤ 300	0,6	B					
10 < x ≤ 30	0,1			1/1					
0 < x ≤ 10	0,05								
Kruhové házení	Tol.								
x	0,2								

PŘÍLOHA č. 2

Normativ pro MTM analýzu

DATA KARTA pro MTM - 1

Sáhnout R (reach)						Popis
dráha [cm]	TMU					
	R-A	R-B	R-C	R-D	R-E	
do 2	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	<p>Základní pohyb sáhnout se může provést rukou nebo jednotlivými prsty. Dráha pohybu je měřena z bodu výchozí polohy do bodu cílové polohy po přímce.</p> <p>Legenda:</p> <p>A - Sáhnout po předmětu na určitém místě, anebo po předmětu v druhé ruce. Malé nároky na kontrolu, pohyb probíhá téměř automaticky.</p> <p>B - Sáhnout po jednotlivě ležícím předmětu, jehož poloha se může čas od času měnit. Mírné nároky na kontrolu.</p> <p>C - Sáhnout po předmětu, který je smíšen s ostatními a je nutno jej vybrat. Vysoké nároky na kontrolu.</p> <p>D - Sáhnání pro velmi malý, těžko uchopitelný, předmět, kde je možné poranění. Vysoké nároky na kontrolu.</p> <p>E - Pohyb ruky do neurčité polohy, například zpět k tělu. Malé nároky na kontrolu.</p>
4	3,4	3,4	5,1	5,1	3,2	
6	4,5	4,5	6,5	6,5	4,4	
8	5,5	5,5	7,5	7,5	5,5	
10	6,1	6,3	8,4	8,4	6,8	
12	6,4	7,4	9,1	9,1	7,3	
14	6,8	8,2	9,7	9,7	7,8	
16	7,1	8,8	10,3	10,3	8,2	
18	7,5	9,4	10,8	10,8	8,7	
20	7,8	10,0	11,4	11,4	9,2	
22	8,1	10,5	11,9	11,9	9,7	
24	8,5	11,1	12,5	12,5	10,2	
26	8,8	11,7	13,0	13,0	10,7	
28	9,2	12,2	13,6	13,6	11,2	
30	9,5	12,8	14,1	14,1	11,7	
35	10,4	14,2	15,5	15,5	12,9	
40	11,3	15,6	16,8	16,8	14,1	
45	12,1	17,0	18,2	18,2	15,3	
50	13,0	18,4	19,6	19,6	16,5	
55	13,9	19,8	20,9	20,9	17,8	
60	14,7	21,2	22,3	22,3	19,0	
65	15,6	22,6	23,6	23,6	20,2	
70	16,5	24,1	25,0	25,0	21,4	
75	17,3	25,5	26,4	26,4	22,6	
80	18,2	26,9	27,7	27,7	23,9	

Uchopit G (grasp)		Popis
symbol	TMU	
G1A	2,0	Jednoduché uchopení sevřením prstů. Předmět leží osamoceně a lze ho uchopit jednoduchým sevřením prstů.
G1B	3,5	Předmět je velmi malý a plochý a leží v jedné rovině s podložkou. Podmínkou je, že výška předmětu může být nejvýše 3 mm.
G1C1	7,3	Předmět je přibližně válcového tvaru a leží tak, že překážka existuje na jedné straně a zdola. Podmínkou je, že průměr je > 12 mm a < 25 mm
G1C2	8,7	Předmět je přibližně válcového tvaru a leží tak, že překážka existuje na jedné straně a zdola. Podmínkou je, že průměr je 6 až 12 mm
G1C3	10,8	Předmět je přibližně válcového tvaru a leží tak, že překážka existuje na jedné straně a zdola. Podmínkou je, že průměr je < 6 mm
G2	5,6	Přehmátnutí předmětu v jedné ruce. Slouží buď pro zlepšení uchopu nebo se hodnotí jako vyrovnání.
G3	5,6	Přebírání předmětu do druhé ruky. Pohyb spočívá v tom, že jedna ruka přebírá kontrolu nad předmětem, zatímco druhá ruka kontrolu nad předmětem ztrácí.
G4A	7,3	Výběrové uchopení je uchopení předmětu, který leží smíšeně s ostatními na hromadě. Podmínkou jsou rozměry > 25 x 25 x 25 mm.
G4B	9,1	Výběrové uchopení je uchopení předmětu, který leží smíšeně s ostatními na hromadě. Podmínkou jsou rozměry 25 x 25 x 25 mm až 6 x 6 x 3 mm.
G4C	12,9	Výběrové uchopení je uchopení předmětu, který leží smíšeně s ostatními na hromadě. Podmínkou jsou rozměry < 6 x 6 x 3 mm.
G5	0,0	Kontroly nad předmětem se dosáhne pouze dotykem bez sevření prstů. Takovéto uchopení nevyžaduje žádný čas.

Přemístit M (move)							Popis
dráha [cm]	TMU			Hmotnostní korekce			
	M-A	M-B	M-C	hmotnost [kg]	SC [TMU]	W koeficient	
do 2	2,0	2,0	2,0				<p>Přemístění je přesunutí jednoho nebo více dílů rukou nebo prsty na určité místo.</p> <p>Legenda:</p> <p>A - Pohyb probíhá téměř automaticky, malé nároky na kontrolu. Přemístit předmět do druhé ruky nebo k pevné záračce.</p> <p>B - Mírné nároky na kontrolu. Přemístit předmět na přibližné nebo neurčité místo. Vůle > 25 mm</p> <p>C - Vysoké nároky na kontrolu. Přemístit předmět na přesné místo. Vůle > 12 s 25 mm</p> <p>SC - statická komponenta; Statický účinek na svaly, který se započítává samostatně.</p> <p>W - dynamická komponenta pohybu; Koeficient, kterým se násobí základní čas.</p>
4	3,1	4,0	4,5	1	0,0	1,00	
6	4,1	5,0	5,8				
8	5,1	5,9	6,9	2	1,6	1,04	
10	6,0	6,8	7,9				
12	6,9	7,7	8,8	4	2,8	1,07	
14	7,7	8,5	9,8				
16	8,3	9,2	10,5	6	4,3	1,12	
18	9,0	9,8	11,1				
20	9,6	10,5	11,7	8	5,8	1,17	
22	10,2	11,2	12,4				
24	10,8	11,8	13,0	10	7,3	1,22	
26	11,5	12,3	13,7				
28	12,1	12,8	14,4	12	8,8	1,27	
30	12,7	13,3	15,1				
35	14,3	14,5	16,8	14	10,4	1,32	
40	15,8	15,6	18,5				
45	17,4	16,8	20,1	16	11,9	1,36	
50	19,0	18,0	21,8				
55	20,5	19,2	23,5	18	13,4	1,41	
60	22,1	20,4	25,2				
65	23,6	21,6	26,9	20	14,9	1,46	
70	25,2	22,8	28,6				
75	26,7	24,0	30,3	22	16,4	1,51	
80	28,3	25,2	32,0				

Umístit P (position)				Popis
stupeň líčování	symetričnost	TMU		
		E	D	
P1	S	5,6	11,2	<p>Umístění je pohyb prstů nebo ruky za účelem vložení dvou dílů do sebe nebo k sobě.</p> <p>Stupně líčování:</p> <p>P1 - Není potřeba žádný tlak na spojení a žádná zvláštní přesnost.</p> <p>P2 - Je potřeba lehký tlak prsty či ruky a zvýšená přesnost.</p> <p>P3 - Na spojení je potřeba silný tlak a vysokou přesnost.</p> <p>Symetričnost umístění:</p> <p>S - symetrický - spojovací výřezy umožňují spojení v každé poloze.</p> <p>SS - polosymetrický - spojovací průřezy umožňují spojení ve více polohách.</p> <p>NS - nesymetrický - spojovací průřezy umožňují spojování jen v jedné poloze.</p>
	SS	9,1	14,7	
	NS	10,4	16,0	
P2	S	16,2	21,8	
	SS	19,7	25,3	
	NS	21,0	26,6	
P3	S	43,0	48,6	
	SS	46,5	52,1	
	NS	47,8	53,4	
<p>Manipulace:</p> <p>E - lehká</p> <p>D - obtížná - předměty ploché, kluzké, těžké, pružné nebo těžší než 1 kg</p>				
Umísťování nad 25 mm je pohyb přemístění.				

DATA KARTA pro MTM - 1

Pohyby těla a nohou			
symbol	dráha	TMU	Popis
FM	do 10 cm	8,5	Pohyb chodidla bez tlaku
FMP	do 10 cm	19,1	Pohyb chodidla s tlakem
LM	do 15 cm	7,1	Pohyb jedné nohy
	za každý další cm	0,5	
SS-C1	30 cm	17,0	Úkrok stranou na 1 nohu
	za každý další cm	0,2	
SS-C2	30 cm	34,1	Úkrok stranou na obě nohy
	za každý další cm	0,4	
TB-C1	45° - 90°	18,6	Otočení těla pomocí jedné nohy
TB-C2		37,2	Otočení těla pomocí obou nohou
W-P	za 1 krok	15,0	Chůze bez zátěže a překážek
W-PO	za 1 krok	17,0	Chůze omezená nebo se zátěží > 23 kg
B		29,0	Předklonění
AB		31,9	Vzpřímení z předklonění
S		29,0	Sehnutí
AS		31,9	Vzpřímení ze sehnutí
KOK		29,0	Klek na jedno koleno
AKOK		31,9	Žvednutí z kleku na jednom kolenu
KBK		69,4	Klek na obě kolena
AKBK		76,7	Žvednutí z kleku a obou kolenu
SIT		34,7	Sednout
STD		43,4	Vstát

Pustit RL (release)		
symbol	TMU	Popis
RL1	2,0	Rozevření prstů k uvolnění předmětu.
RL2	0,0	Přerušením dotyku s předmětem dojde ke ztrátě kontroly.

Oddělit D (disengage)			
stupeň lícování	TMU		Popis
	E	D	
D1	4,0	5,7	Zpětný pohyb oddělení pro stupeň lícování: D1 - do 2,5 cm
D2	7,5	11,8	D2 - do 12 cm
D3	22,9	34,7	D3 - do 30 cm
Manipulace: E - lehká, D - obtížná			

Tlačit AP (apply pressure)		
symbol	TMU	Popis
APA	10,6	Jednostranně vyvíjený tlak libovolnou částí těla na zabezpečení dostatečné kontroly nad předmětem. AF+DM+RLF
APB	16,2	Tlak prstů nebo ruky za současného přehmátnutí. APA+G2

Funkce zraku E (eye travel a eye focus)		
symbol	TMU	Popis
ET	15,2 x T/D max 20,0	Sledování zrakem nebo přemístění pohledu: T - vzdálenost mezi zornými body (cm) D - vzdálenost očí od spojnice zorných bodů (cm)
EF	7,3	Pohled zaostřit (rozlišit)

Obrátit T (turn)				
úhel [°]	TMU			Popis
	T-S	T-M	T-L	
30	2,8	4,4	8,4	Při manipulaci se ruka otáčí okolo podélné osy předlokti o úhel °.
45	3,5	5,5	10,5	
60	4,1	6,5	12,3	Hmotnosti manipulovaného předmětu:
75	4,8	7,5	14,4	
90	5,4	8,5	16,2	S - do 1 kg
105	6,1	9,6	18,3	M - 1-5 kg
120	6,8	10,6	20,4	L - 5-16 kg
135	7,4	11,6	22,2	
150	8,1	12,7	24,3	
165	8,7	13,7	26,1	
180	9,4	14,8	28,2	

Tabulka současných pohybů																
	Oddělit D		Spojit 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	A E		
	D	E	D	E	D	E	O	W	O	W	O	W	O	W	O	W
Sáhnout R	A, E															
	B															
	C, D															
Přemístit M	A, Bm															
	B															
	C															
Uchopit G	1A, 2, 5															
	1B, 1C															
	4															
Spojit P	1S															
	1SS, 2S															
	1NS, 2SS, 2NS															
Oddělit D	1E, 1D															
	2															

Pohyby neuvedené v tabulce:

- T** Otočit - snadno se všemi základními pohyby, vyjma D a takového případu T, který vyžaduje kontrolu
- AP** Tlačit - každý případ prozkoumat
- P3** Umístit - vždy obtížné
- D3** Oddělit - za normálních okolností těžko
- RL** Pustit - vždy snadno
- D** Oddělit - každá třída soudržnosti obtížné, pokud je nutné zaučení a pokud je třeba brát ohled na možnost poranění ruky či poškození předmětu

- W** uvnitř normálního zorného pole
- O** mimo normální zorné pole
- E** snadná manipulace
- D** obtížná manipulace

Možnosti vykonávání současných pohybů:

- = snadno
- = po zacvičení
- = těžko i po zacvičení, analyzovat jako pohyby jdoucí za sebou

Přepočty časových hodnot				
	TMU	Sec.	Min.	Hod.
TMU	1	0,036	0,0006	0,00001
Sec.	27,8	1	-	-
Min.	1666,7	-	1	-
Hod.	100000	-	-	1