

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B2301 Strojní inženýrství
Studijní zaměření: Stavba výrobních strojů a zařízení

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Snižování hodnoty třecího momentu u rotačního pohybu

Autor: **Luboš Zviefelhofer**
Vedoucí práce: **Doc. Ing. Václav Vaněk Ph.D.**

Akademický rok: 2011/2012

Prohlášení o autorství

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

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

V Plzni dne: 22. 6. 2012



.....
podpis autora

Poděkování

Na tomto místě bych velice rád poděkoval Doc. Ing. Václavu Vaňkovi PhD. a Ing. Zdeňkovi Hořejšímu za jejich odborné rady, konzultace a připomínky během zpracování mé bakalářské práce.

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Luboš ZVIEFELHOFER**
Osobní číslo: **S11B0017K**
Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Stavba výrobních strojů a zařízení**
Název tématu: **Snižování hodnoty třecího momentu u rotačního pohybu**
Zadávající katedra: **Katedra konstruování strojů**

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

Základní požadavky:

Snížení hodnoty třecího momentu u výrobku GPA-S

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova bakalářské práce:

1. popis výrobku a problému
2. popsání měřící metody ve výrobě
3. vyhodnocení všech pracovišť v lince, zda na nich nedochází k problému
4. zjištění příčin tření a zapracování na jejich odstranění
5. vyhodnocení



Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah pracovní zprávy: **30-40 stran A4**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

HOSNEDL, S., KRÁTKÝ, J. Příručka strojního inženýra. Brno: Computer-Press, 1999

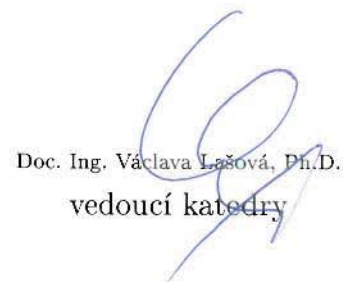
Podkladový materiál, výkresy, katalogy, apod. poskytnuté zadavatelem úkolu.

Vedoucí bakalářské práce: **Doc. Ing. Václav Vaněk, Ph.D.**
Katedra konstruování strojů
Konzultant bakalářské práce: **Ing. Zdeněk Hořejší**
BOSCH s.r.o.

Datum zadání bakalářské práce: **19. září 2011**
Termín odevzdání bakalářské práce: **25. května 2012**


Doc. Ing. Jiří Staněk, CSc.
děkan




Doc. Ing. Václava Lašová, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 19. září 2011

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Zviefelhofer	Jméno Luboš	
STUDIJNÍ OBOR	B2301 Strojní inženýrství – Stavba výrobních strojů a zařízení		
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Doc. Ing. Vaněk, Ph.D.	Jméno Václav	
PRACOVISŤE	ZČU - FST - KKS		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Snižování hodnoty třecího momentu u rotačního pohybu		

FAKULTA	Strojní	KATEDRA	KKS	ROK ODEVZD.	2012
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	37	TEXTOVÁ ČÁST	37	GRAFICKÁ ČÁST	0
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

<p>STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</p> <p>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p>	<p>Tato bakalářská práce popisuje snížení hodnoty třecího momentu v procesu výroby servomotoru. Pomocí Ishikawa diagramu byly definovány procesy, u kterých s největší pravděpodobností dochází ke zvyšování hodnoty třecího momentu, a tím i točivého momentu. Tato pracoviště byla podrobena analýze, byla zde navržena a zavedena opatření pro eliminaci třecích ztrát. Hodnoty točivého momentu byly v jednotlivých fázích úprav porovnávány pomocí histogramů a indexu způsobilosti procesu.</p>
<p>KLÍČOVÁ SLOVA</p> <p>ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</p>	<p>Točivý moment, servomotor, třecí ztráta, Ishikawa diagram, index způsobilosti procesu, histogram.</p>

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Surname Zviefelhofer	Name Luboš	
FIELD OF STUDY	B2301 Mechanical Engineering – Design of Manufacturing Machines and Equipment		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Doc. Ing. Vaněk, Ph.D.	Name Václav	
INSTITUTION	ZČU - FST - KKS		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Value reduction of friction torque by rotation motion		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machine Design	SUBMITTED IN	2012
----------------	---------------------------	-------------------	-------------------	-------------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	37	TEXT PART	37	GRAPHICAL PART	0
----------------	----	------------------	----	---------------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	<p>This bachelor thesis describes value reduction of friction torque in production process of servo-motor. Processes where the value of friction torque probably increases were defined by Ishikawa diagram. Workstations were put analyse, measures for elimination of friction losses were proposed and implemented. Evaluation of success rate of measures was compared by histograms and process capability.</p>
KEY WORDS	<p>Torque, servo-motor, friction loss, Ishikawa diagram, process capability, histogram.</p>

Obsah

1	Historie firmy	8
1.1	Společnost Bosch - celosvětově	8
1.2	Robert Bosch, spol. s r.o., České Budějovice	8
2	Výrobek GPA-S	10
2.1	Výrobek GPA-S Wahler	10
2.2	Popis důležitých dílů v sestavě	11
3	Montážní linka	13
4	Třecí moment	15
4.1	Měření a vyhodnocení točivého momentu	15
4.2	Porovnání shodných a neshodných dílů u točivého momentu	16
5	Analýza stavu točivého momentu	17
5.1	Vznik nežádoucího tření	20
6	Vliv pracovišť na zvyšování tření	21
6.1	Pracoviště AP 10	21
6.2	Pracoviště AP 20	22
6.3	Pracoviště AP 50	23
6.4	Analýza stavu po zavedení opatření na AP 10, AP 20, AP 50	23
6.5	Pracoviště AP 90	25
6.5.1	Metoda měření na oddělení kvality	26
6.5.2	Metoda měření ve výrobě	27
6.5.3	Porovnání měřících metod	28
6.5.4	Upnutí měřeného dílu a pohyb měřícího zařízení	28
6.6	Analýza stavu po zavedení opatření na AP 90	32
7	Závěr	35
	Literatura	36
	Internetové odkazy	36

Přehled použitých zkratk a symbolů:

Značka	Název	Jednotka
c_p, c_{pk}	Index způsobilosti procesu	[-]
LSL	Dolní specifikační mez	[Nmm]
USL	Horní specifikační mez	[Nmm]
μ	Střední hodnota (aritmetický průměr)	[Nmm]
σ	Směrodatná odchylka	[Nmm]

1 Historie firmy

1.1 Společnost Bosch - celosvětově

V roce 1886 byla otevřena Dílna pro jemnou mechaniku a elektrotechniku panem Robertem Boschem. Zaměstnával dva pracovníky, kteří se zabývali konstrukcí a instalací elektrických zařízení všeho druhu, včetně telefonních systémů a dálkových elektrických indikátorů hladiny vody. Klíčovým milníkem ve vývoji společnosti bylo magnetoelektrické zapalování, které bylo vyrobeno na základě požadavku zákazníka. Ten si přál, aby byl vyroben na principu kolínského výrobce motorů Deutz. Díky tomu Bosch jako první použil magnetoelektrické zapalování pro motor vozidla.

V letech 1900 – 1925 si společnost upevnila své postavení na trhu pro automobilový průmysl, který začal postupně vzkvétat. Firma začala zakládat první prodejní pobočky a výrobní provozy v Anglii a Francii, postupně docházelo k rozšiřování i do dalších evropských zemí i na jiné světadíly (USA, Jižní Afrika, Austrálie, Argentina, Čína, Japonsko).

V další fázi začal Bosch zakládat nové obchodní jednotky, které se specializovaly na oblasti mimo automobilovou techniku. Dělo se tak v letech 1925 – 1960. Bosch se začal rozvíjet v odvětvích, jako například elektrické nářadí, plynové kotle, radiové přijímače do automobilů a domácností, domácí spotřebiče. Vznikla také nová obchodní jednotka v automobilovém průmyslu, kterou se stal vstříkovací systém pro vznětové motory nákladních automobilů, který se postupem času začal používat i pro osobní automobily. Z tohoto systému se vyvinul vstříkovací systém pro zážehové motory. Rozvoj firmy Bosch byl částečně ohrožen, kvůli demonopolizaci musela poskytnout konkurenci všechny své patenty a průmyslové vzory.

V letech 1960 -1990 bylo provedeno mnoho zásadních reforem struktury firmy a stanov. Firma se přeměnila na divize, první byla divize Power Tools (elektrické nářadí). V roce 1987 firma výrazně expandovala, protože se začínala prosazovat v telekomunikační sféře. V oblasti automobilové techniky byly uvedeny na trh nové elektronicky řízené vstříkovací systémy pro zážehové motory D-Jetronic, protiblokovací brzdový systém ABS, elektronické řídicí jednotky EDC pro vznětové motory, navigační systémy Blaupunkt TravelPilot.

V poslední fázi, která trvá do současnosti, dochází k průniku na východoevropské trhy a rychlému růstu asijských ekonomik. V roce 1993 činil podíl obrátu ze zahraničí 49% a do roku 2006 expandoval na 74%. V současnosti se vedení společnosti převážně specializuje na otázky obnovitelných energií, energetické účinnosti a snižování emisí.

1.2 Robert Bosch, spol. s r.o., České Budějovice

V roce 1899 byla v Českých Budějovicích postavena slévárna, ze které později vznikla akciová společnost První jihočeská továrna, kde se vyráběly stroje, vodní turbíny a stavěly se mlýny. Po znárodnění na přelomu 40. a 50. let 20. století vznikl národní podnik Motor, který mimo jiné vyráběl i motocyklové a automobilové karburátory a brzdové tlakové nádoby.

V roce 1992 byl vytvořen joint venture mezi firmou Motor a Bosch, která byla zapsána do obchodního rejstříku jako Robert Bosch spol. s r.o. a byla dceřinou společností celosvětového koncernu Bosch. V Českých Budějovicích vznikl jen výrobní závod, veškeré vývojové činnosti se uskutečňovaly v Německu. Firma se zabývala výrobou komponentů pro automobilový průmysl, například elektrických palivových čerpadel, vík hlav válců motorů, sacích modulů a plynových pedálů.

Od roku 1995 je koncern Bosch jediným vlastníkem společnosti. V roce 1996 bylo rozhodnuto, že se v Českých Budějovicích vybuduje nezávislý, plně vybavený podnik, který bude mít vlastní výzkumné a vývojové oddělení a testovací centrum. Díky tomu se začal roz-

širovat i program, kdy výrobky jsou nejen vyráběné, ale i vyvíjené a testované v Českých Budějovicích.

Nejdůležitějším produktem ve výrobním programu v současné době je modul pro DNOX. Tento výrobek slouží k odbourávání obsahu oxidu dusíku NO_x ve výfukových plynech. Pracuje na principu dávkování močoviny (známé pod obchodním názvem Ad Blue) do katalyzátoru, ve kterém dochází k reakci oxidu dusíku se čpavkem. Neškodným produktem této reakce je voda a dusík.

Dalším velmi významným výrobkem je nádržový čerpadlový modul, který slouží k dopravě paliva z nádrže automobilu k motoru. Na přání zákazníka je možné rozšířit jeho funkci o regulaci systémového tlaku, o filtraci paliva a měření stavu paliva v nádrži.

Multifunkční pohon GPA-S je dalším velmi významným produktem firmy Bosch, jehož vývoj byl plně v kompetenci vývojového centra v Českých Budějovicích. Jednotku lze použít pro řízení turbo přepínače, řízení spalin, bypass k ventilům, regulace řídicího tlaku atd. Podrobněji je tento výrobek popsán v následujících kapitolách.

Výrobek, který se ve společnosti Bosch spol. s r.o. vyrábí od roku 1997, je kontaktní plynový pedál. Výroba tohoto modulu postupně přechází v bezkontaktní verzi. Elektronický plynový pedál v automobilech předává informaci prostřednictvím odporového děliče kontaktního senzoru (pro kontaktní verzi) nebo programovatelného čipu (pro bezkontaktní verzi) změnou výstupního napětí.

Přepadové potrubí paliva je nejnovější výrobek, který se ve firmě vyrábí. Jeho funkcí je dodávání nespotřebovaného paliva od jednotlivých vstřikovacích jednotek zpět před vstřikovací čerpadlo.

Dalším produktem je sací modul, který ovlivňuje procesy výměny plnicího vzduchu dávající motoru příslušnou charakteristiku výkonu. Moduly sání je možné na přání zákazníka kombinovat s dalšími komponenty, např. senzorem tlaku, rozdělovačem paliva nebo škrtkací klapkou, která je také vyráběná ve společnosti Bosch v Českých Budějovicích.

V současnosti firma Robert Bosch České Budějovice dodává své výrobky do všech velkých evropských automobilových závodů. Výrobní plocha zaujímá $50\,000\text{m}^2$, ve firmě je zaměstnáno 2000 pracovníků.

2 Výrobek GPA-S

Výrobek GPA-S se používá jako pohon pro podpůrné funkce uvnitř motoru. Jedná se o zkratku General Purpose Actuator-small (překlad „obecný účelový pohon-malý“). Označení „S“ (small) znamená, že je možné řízením pootáčet o velmi malý úhel. Jeho využití je možné v různých oblastech motorového systému jako například řízení turbo přepínače, řízení spalín, bypass k ventilům, regulace řídicího tlaku atd.

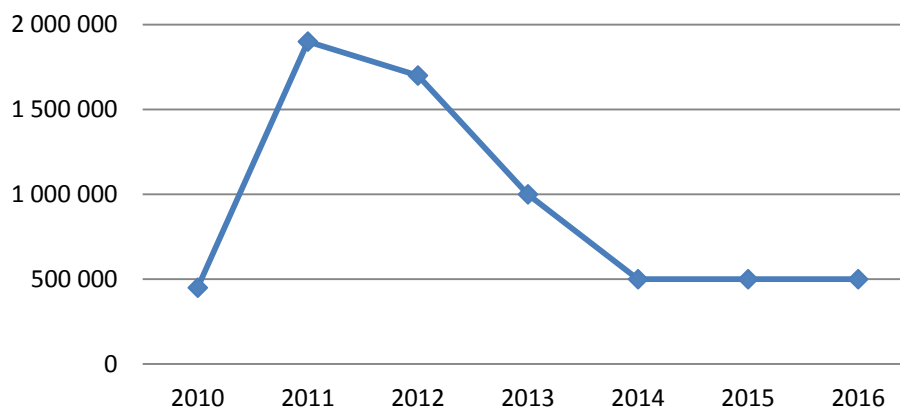
V současnosti se díl GPA-S dodává v šesti provedeních čtyřem zákazníkům – BMW, DC, Wahler, Mahle – VW. První projekt se zaváděl pro zákazníka BMW v roce 2006. Další dva projekty, které byly zavedeny do výroby, byly modifikace výrobku pro BMW. Zákazníkem obou projektů je firma Daimler. Dále se souběžně zaváděly další dva typy GPA-S, které byly novými platformami. Projekt pro zákazníka Mahle-VW a Wahler. Mahle se v současnosti vyrábí už jen na náhradní díly. Projekt pro Wahler je naopak nosným typem. Posledním výrobkem GPA-S, který byl uveden do sériové výroby je projekt pro zákazníka BMW. Tato sestava je variantou projektu pro BMW z roku 2006. Jedinou změnou, která se v této variantě stala, je změna barvy materiálu páčky.



Obrázek 1: GPA-S Wahler

2.1 Výrobek GPA-S Wahler

Bakalářská práce je zpracována pro typ GPA-S Wahler, tento výrobek je nosným typem pro celou výrobu GPA-S pohonů. Vývoj produkce je naznačen v grafu 1. Projekt začal v září 2010, proto bylo v tomto roce vyrobeno menší množství dílů. V grafu je v letech 2010, 2011 vyznačeno, co bylo opravdu vyrobeno. Od roku 2012 do 2016 je zobrazen výhled od zákazníka, který poskytl na začátku projektu, aby bylo možné správně naplánovat výrobní kapacitu.



Graf 1: Vývoj počtu dílů GPA-S Wahler

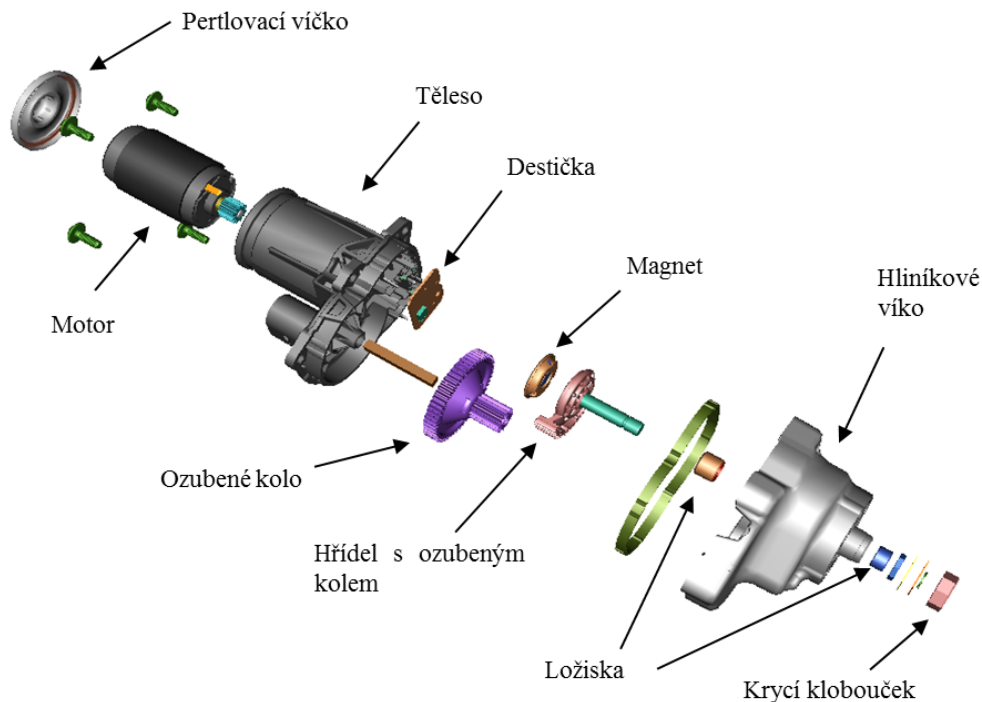
Tento typ výrobku se používá jako řídicí jednotka pro regulátor výfukových plynů – EGR ventil (zkratka anglického výrazu: Exhaust Gas Recirculation). EGR ventil reguluje množství emisí oxidu dusíku ve výfukových plynech, aniž by snížil výkon motoru. Byl navržen na základě neustále se zpřísňujících mezinárodních norem na výfukové plyny s ohledem na životní prostředí. Pokud není katalyzátor schopen zlikvidovat emise oxidů dusíku, pak dojde díky EGR ventilu k přepuštění části plynů zpět do sání motoru, při smísení s nasátým vzduchem se sníží obsah kyslíku ve směsi a dojde k poklesu teplot při spalování a zároveň ke snížení emisí.



Obrázek 2: EGR ventil

2.2 Popis důležitých dílů v sestavě

Sestava GPA-S Wahler se skládá z mnoha komponentů. Na obrázku 3 je zobrazen rozpad sestavy na jednotlivé díly.



Obrázek 3: Rozpad GPA-S Wahler

Těleso (Getriebegehäuse) je díl, který je vyráběn z polyamidu. Součástí dílu je zákaznická zástrčka, která obsahuje 5 kontaktů a umožňuje propojení s řídicí jednotkou automobilu. Dva z pěti kontaktů napájí GPA-S pohon 12 V a zbylé tři slouží ke komunikaci s řídicí jednotkou. Getriebegehäuse je vyráběna na jiném oddělení v rámci firmy.

Víko (Gehäusedeckel) je odlito z hliníku a funkční rozměry jsou obrobeny. Těleso společně s hliníkovým víkem tvoří obal GPA-S.

Při návrhu byl použit sériový nízkonapěťový motor, který dodavatelská firma vyrábí i pro další zákazníky v rámci automobilového průmyslu.

Destička (Leiterplatte) je osazena Halloým senzorem, kondenzátory a odpory. Nej důležitější komponent čip řídí celé GPA-S.

Další díl se skládá z hřídele a ozubeného kola (Zahnradsegment). Osička je vyrobena z nerezového materiálu 1.4305 a je obstříknuta polyamidem PA66. Osička vystupuje ven z GPA-S a přenáší rotační pohyb na klapku řídicího ventilu.

Ozubené kolo (Zwischenrad) je vyrobeno z polyamidem PA66 a je konstruováno se dvěma průměry, které slouží jako převodový stupeň mezi motorem a výstupní hřídelí.

Pertlovací víčko (Verschlussdeckel) je vyrobeno lisováním z nerezového plechu. Jeho funkcí je ochrana motoru a utěsnění jednotky GPA-S.

Dalším důležitým dílem je magnet, který je zastříknutý v plastovém pouzdře, vyrobeném z polyamidem PA66. Magnet je umístěn v přesně stanovené vzdálenosti od Hallova senzoru, se kterým komunikuje na bezkontaktním principu magnetického pole, které je závislé na natáčení magnetu.

Krycí klobouček (Lagerschild) je vyroben lisováním z nerezového plechu. Je nasazen na výstupní hřídeli a nalisován na hliníkové víko. Slouží k utěsnění GPA-S.

Spodní (Lagerbuchse) a horní (Nadellager) ložiska jsou lisována do hliníkového víka a pomáhají k zajištění rotačního pohybu výstupní hřídele.

3 Montážní linka

Nakupované díly a komponenty vyráběné v rámci firmy jsou smontovány do sestavy na montážní lince pro výrobek GPA-S. Vzhledem k počtu vyráběných dílů je pro výrobu zapotřebí dvou montážních linek. Jedna (starší) montážní linka je variabilní a je možné na ní vyrábět i jiné varianty GPA-S. Druhá (nová) linka je navržena a zkonstruována pouze na typ Wahler¹.

Linka byla navržena s ohledem na výrobní systém firmy Bosch, který je založen na principu štíhlé výroby a logistiky. Jednotlivá pracoviště v lince jsou rozmístěna do písmene U s ohledem na možnost variability počtu pracovníků v lince na základě počtu dílů objednaných od zákazníka. V lince je využíváno vysokých kvalitativních standardů, standardizované práce, toku jednoho dílu (one piece flow) a automatického vyhození dílů po ukončení pracovního cyklu tzv. hanedashi principů.

Kapacita linky je dána na 1 600 ks/směnu, linka pracuje v nepřetržitém provozu 20 směn za týden a pracuje zde 4-5 zaměstnanců na směnu.

Linka Wahler se skládá z devíti samostatně stojících strojů (viz obrázek 4). Je koncipována do tvaru U a má daný tok materiálu. Stroje v lince jsou označeny AP 10 až AP 90. Pracoviště AP 100 je pracoviště výstupní kontroly.

Stručný popis pracovišť:

- AP 10 – Lisování motoru a hřídele ozubeného kola;
- AP 20 – Pertlování;
- AP 30 – Lisování destičky;
- AP 40 – Ultrazvukové svařování;
- AP 50 – Lisování ložisek;
- AP 60 – Nastavení axiální vůle;
- AP 70 – Lisování těsnění;
- AP 80 – Šroubování;
- AP 90 – Programování, měření;
- AP 100 – Vizuální kontrola, buy-off.

Jak již bylo napsáno výše, linka, která je podrobena zkoumání kvůli nepříjemně vysoké hodnotě třetího momentu, byla zkonstruována jako nová linka. Byly zde použity nové procesy, se kterými ve společnosti Bosch nebyly prakticky žádné zkušenosti. Na tomto základě byly v počáteční fázi i další problémy, které musely být postupně odstraňovány. Jednalo se o problémy s následujícími procesy:

- Lisování senzorové destičky;
- Pertlování neboli lemování víčka na těleso;
- Ultrazvukové svařování magnetu.

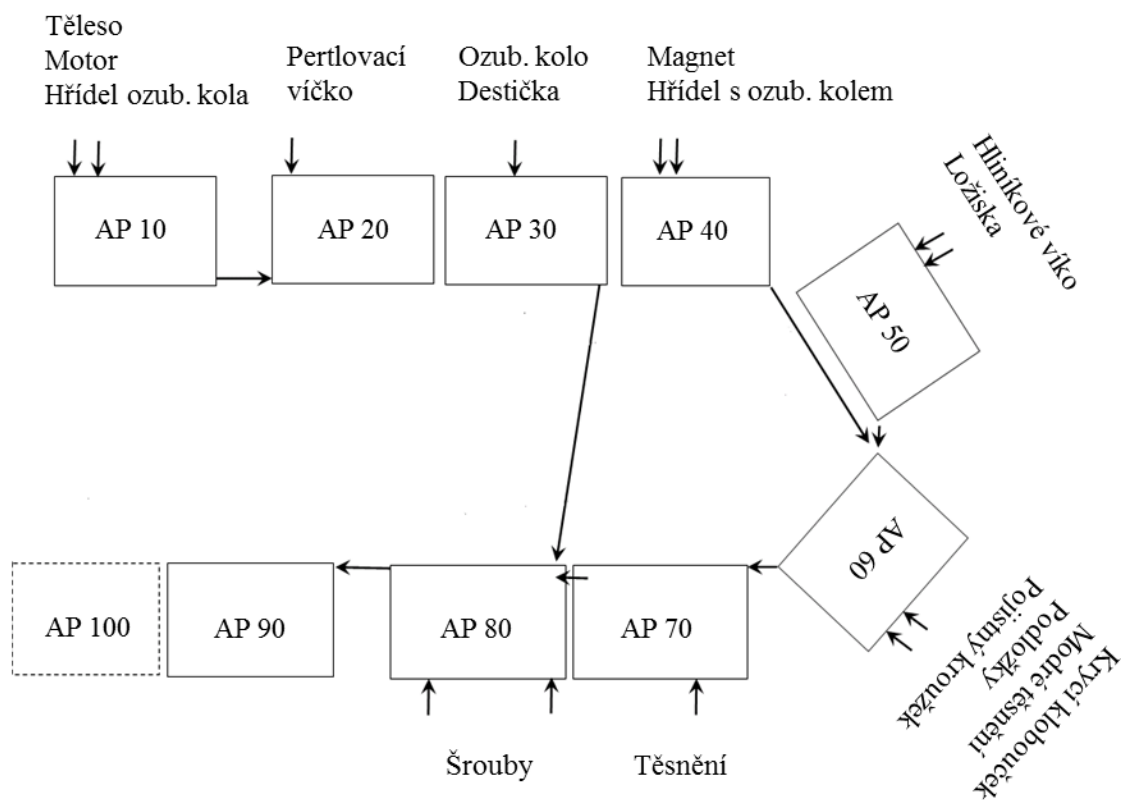
Přesné lisování senzorové destičky do tělesa probíhá pomocí lisovacího mechanismu, který pohybuje třemi elektrickými osami ve směru x, y, z. Proces probíhá tak, že lisovací osa se přesune nad zásobník destiček, zde je pomocí podtlakových senzorů destička odebrána a přesunuta do centrovacího přípravku. Po vystředění polohy je opět osou odebrána a převezena

¹ Poznámka: Další detailní popis a řešení problému tření bude prováděn na novější lince.

do lisovací pozice, kde je lisována danou silou a v požadované vzdálenosti. Problém se zde vyskytl s nastavením rychlosti os a s tím bylo spojeno nastavení správné lisovací pozice.

Dalším výrobním procesem, se kterým firma Bosch neměla žádné zkušenosti, bylo pertlování neboli lemování víčka. Pertlovací víčko pomocí pertlovacího kolečka a rotačního pohybu přípravku, ve kterém je umístěno těleso, je navaleno pod okraj tělesa z důvodu utěsnění celé sestavy. Docházelo k výpadkům na těsnost z důvodu poškození těsnění na vnitřní straně plechového víčka. To bylo odstraněno změnou velikosti přitlačného pneumatického válce, který zajišťoval polohu víčka na tělese.

Ultrazvukové svařování magnetu je dalším procesem, který komplikoval výrobu produktu GPA-S. Během svařování magnetu, který je zastříknutý v plastovém pouzdře, a hřídele s ozubeným kolem (Zahnradsegment) docházelo k velkému množství výpadků z důvodu poškození magnetu. Magnet vlivem ultrazvukového svařování praskal. Tento problém byl odstraněn technologickou změnou výroby. V původním procesu byla do základního přípravku vložena hřídel s ozubeným kolem a poté magnet obstríknutý plastem. Ke svaření došlo ze strany magnetu. Po změně se do základního přípravku vkládá nejprve magnet a potom hřídel s ozubeným kolem. Na tomto základě muselo dojít k úpravě tvaru sonotrody, aby bylo možné provádět svařování ze strany hřídele s ozubeným kolem.



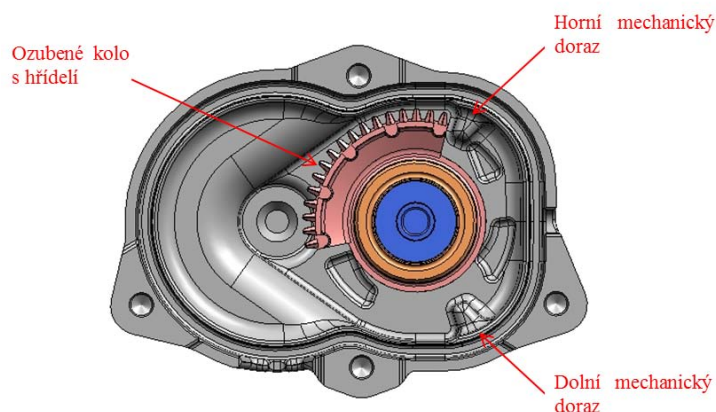
Obrázek 4: Schéma montážní linky

4 Třecí moment

Při pohybu motoru, na jehož výstupu je měděné ozubené kolečko, dochází k přenosu točivého momentu na ozubené kolo (Zwischenrad) a na ozubené kolo s hřídelí (Zahnradsegment). Hřídel je uložena do dvou ložisek a zajištěna modrým těsněním (Wellendichtring). Horní ložisko je válečkové a spodní kluzné. Všechny tyto součásti mohou způsobovat ztráty točivého momentu, na nichž největší podíl má tření. Na tomto základě zákazník specifikoval takovou hodnotu točivého momentu, která neohrozí funkci celého EGR ventilu, proto oddělení vývoje vystavilo zkušební předpis pro jeho měření.

4.1 Měření a vyhodnocení točivého momentu

Měření točivého momentu, který je ovlivněn třecím momentem, probíhá na pracovišti AP 90, které se skládá ze čtyř pracovních pozic. V první pozici je prováděno napěťové programování polohy mechanických dorazů, které se nacházejí v hliníkovém víku a určují rozsah pohybu ozubeného kola na hřídeli (Zahnradsegment), viz obrázek 5. Pro dolní doraz je hodnota napětí stanovena na 0,5 [V], pro horní 4,5 [V], což bylo dáno zákaznickým požadavkem.



Obrázek 5: Uložení ozubeného kola s hřídelí v hliníkovém víku

Ve druhé pracovní pozici je změřen točivý moment, který je nejvíce ovlivněn třecími ztrátami. Jeden směr měření je označen OMA a vyhodnocuje pohyb ozubeného kola od dolního k hornímu mechanickému dorazu, druhý směr je označen UMA a vyhodnocuje pohyb v opačném směru. Měření začíná roztočením pohonu úhlovou rychlostí 0,87 [rad/sec] proti kladnému směru otáčení UMA a tím probíhá hledání výchozího bodu měření, tzn. dolního dorazu. Po jeho dosažení je spuštěno samotné měření točivého momentu pomocí měřícího zařízení T20WN. Po dosažení horního mechanického dorazu se změni směr otáčení, ozubené kolo se pohybuje směrem k dolnímu mechanickému dorazu, během tohoto pohybu je opět měřena hodnota točivého momentu. Po dosažení dolního mechanického dorazu je měření zastaveno a servopohon vypnut. Měření trvá 2 [sec] v každém směru. V průběhu měření je zaznamenáno 800 hodnot v každém směru na úhlové dráze 1,75 [rad]. Těchto 1,75 [rad] představuje maximální rozsah pohybu mezi dorazy. Aby byly eliminovány výrazně vybočující hodnoty, je z každých čtyřech sousedních hodnot vypočítán dílčí aritmetický průměr. Takto vypočtenými hodnotami je proložena regresní přímka, která představuje průměrnou hodnotu točivého momentu. Tato hodnota nesmí přesáhnout 120 [Nmm]. Max. točivý moment, určený

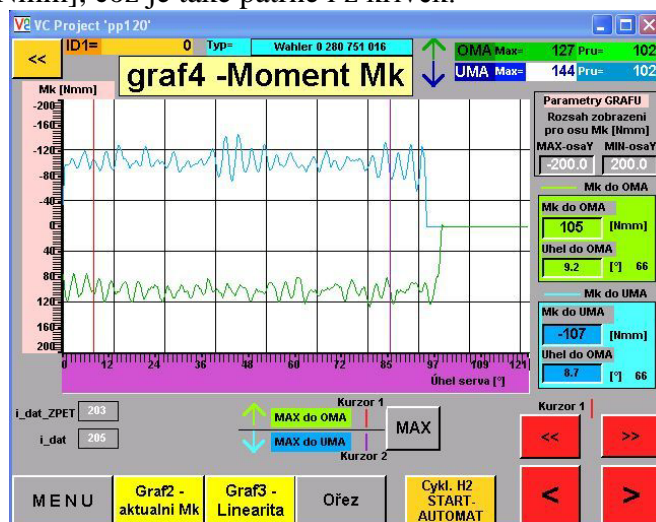
z dílčích aritmetických průměrů, je vždy hodnota maximální odchylky od regresní křivky točivého momentu a nesmí přesáhnout 175 [Nmm].

Po přesunutí dílu do třetí pracovní pozice je měřena doba projetí dráhy mezi dorazy při plném napěťovém zatížení v obou směrech pohybu. Tato doba musí být při napětí 13,5 [V] v rozmezí 30-69 [ms].

Ve čtvrté pracovní pozici je výrobek opatřen zákaznickou etiketou a dopravníkem přesunut na kontrolní a balící pracoviště.

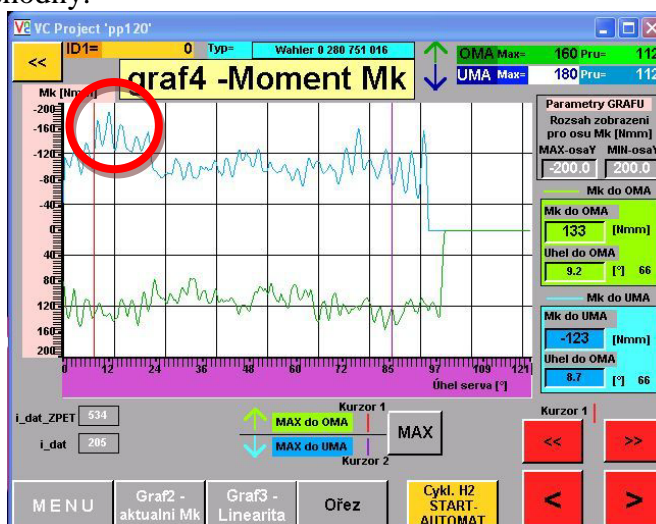
4.2 Porovnání shodných a neshodných dílů u točivého momentu

Obrázek 6 znázorňuje momentové křivky, které jsou v souladu se zkušebním předpisem. Horní křivka znázorňuje směr UMA (modrá barva), dolní křivka je směr OMA (zelená barva). Na obrázku v horním pravém rohu jsou vidět maximální a průměrné hodnoty dílčích průměrů směrů UMA a OMA. Díl je označen jako shodný v případě, že průměrná hodnota dílčích průměrů OMA a UMA je maximálně 120 [Nmm] a maximální hodnota dílčích průměrů nepřesahuje 175 [Nmm], což je také patrné i z křivek.



Obrázek 6: Vyhodnocení tření - OK

Na obrázku 7 je znázorněn případ, kdy hodnota maximálního točivého momentu dílčích průměrů přesáhla horní dovolenou hranici 175 [Nmm] a díl byl ve směru pohybu UMA vyhodnocen jako neshodný.



Obrázek 7: Vyhodnocení tření – neshodné díly

5 Analýza stavu točivého momentu

Z důvodu velkého množství dílů překračujících horní mez točivého momentu bylo zavedeno podrobné sledování počtu neshodných dílů (viz tabulka 1).

Tabulka 1: Analýza stavu točivého momentu před zásahem

Období	Vyrobené díly	Neshodné díly	Procentuální výpadek	
2010	září	44 901	807	1,80%
	říjen	90 531	182	0,20%
	listopad	86 099	566	0,66%
	prosinec	61 412	279	0,45%
2011	leden	92 969	482	0,52%
	únor	95 280	403	0,42%
	březen	103 353	387	0,37%
	duben	90 487	626	0,69%
	květen	89 248	1 617	1,81%
	červen	102 770	793	0,77%
	červenec	106 423	658	0,62%
	srpen	108 457	640	0,59%
	září	96 499	939	0,97%
Suma	1 168 429	8 379	0,72%	

Při výrobní kapacitě 1 600 [ks/směnu] se jedná v průměru o 12 neshodných dílů za směnu, což odpovídá 36 [ks/den]. Při přepočtu na peněžní hodnotu je hodnota neshodných dílů vyčíslena na 6 500 [Kč/den].

Dále bylo provedeno statistické vyhodnocení velikosti točivého momentu ve směru pohybu UMA a OMA pro průměrné a maximální hodnoty dílčích průměrů u 50 000 [ks], které představují nepřetržitě 2 týdenní sledování produkce.

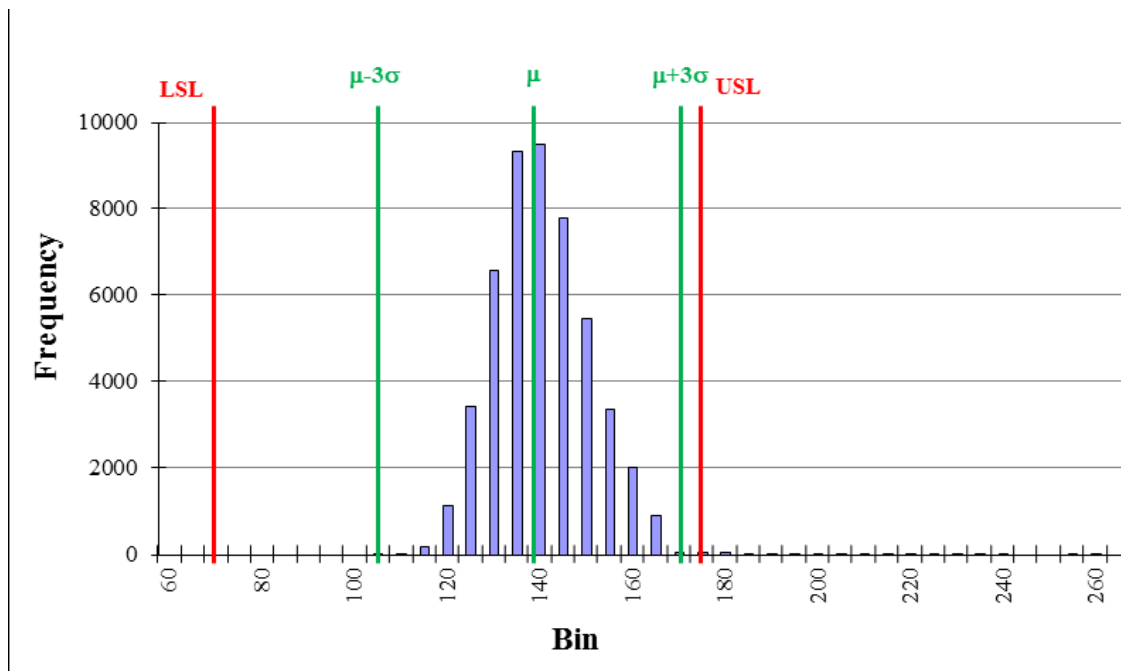
Vyhodnocení bylo provedeno pomocí histogramu, který zobrazuje četnosti jednotlivých hodnot. Takto vyhotovený histogram byl očištěn od velmi odlehlých hodnot, které představují jiný problém výrobku. Hodnoty, které se pohybovaly okolo nuly, znamenají, že motor se při zkoušení neroztočil a díl byl neshodný. Pokud se hodnoty naopak pohybovaly velmi vysoko, znamená to, že je motor zadřený nebo jsou nečistoty v převodech. Takové díly byly automaticky odloženy do zásobníku na zmetky a poté zrepasovány. Hodnoty, které byly vyřazeny z důvodu odlehlosti, lze počítat v řádu desítek z 50 000 dílů. Z histogramů očištěných od výrazně odlehlých hodnot je patrné, že se jedná o normální (Gaussovo) rozdělení.

Ve výrobě je vyhodnocována UMA_{max} a OMA_{max} , která nesmí přesáhnout hodnotu 175 [Nmm] a $OMA+UMA_{prům.}$ musí být max. 120 [Nmm].

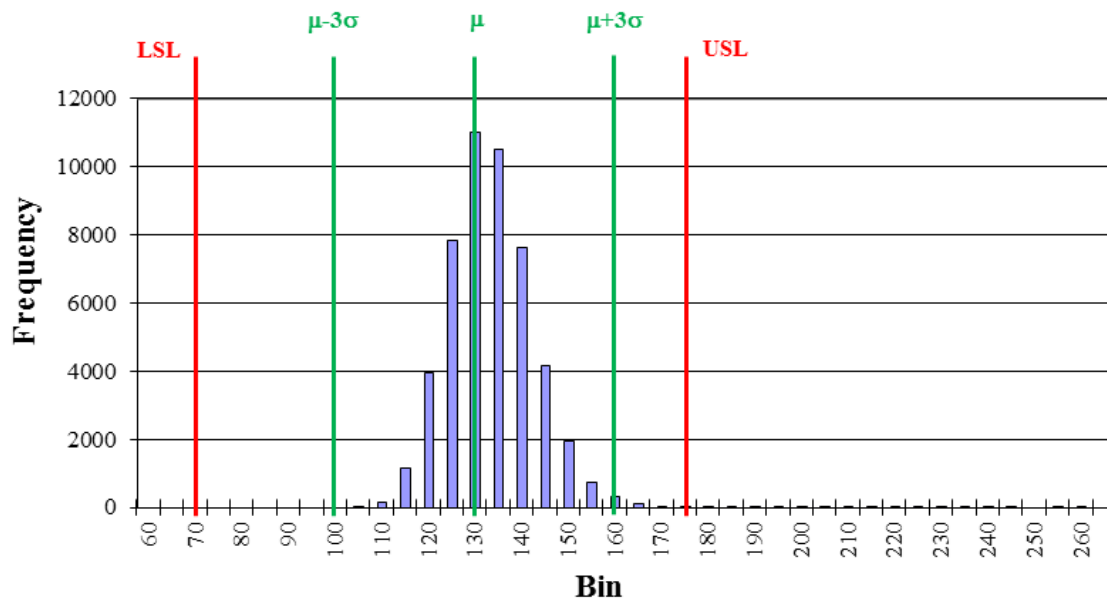
Účelem úprav, které budou na pracovištích prováděny, by mělo být dosažení snížení neshodných výrobků z důvodu zvýšeného točivého momentu způsobeného zvýšeným třením, což se projeví na posunutí histogramu směrem k nižším hodnotám.

Tabulka 2: Výpočet aritmetického průměru a směrodatné odchylky před zavedením opatření

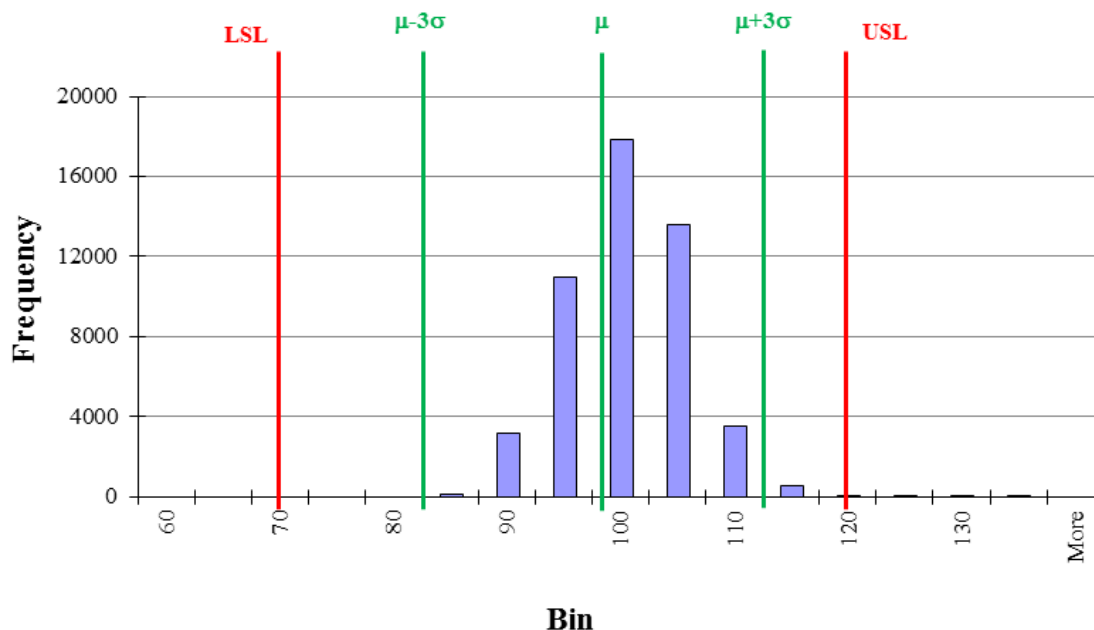
	UMA _{max} [Nmm]	OMA _{max} [Nmm]	OMA+UMA _{prům.} [Nmm]
μ	138	131	98
σ	11	10	5
$\mu - 3\sigma$	105	101	83
$\mu + 3\sigma$	171	161	113
Max. povolené hodnoty	175	175	120



Graf 2: Histogram UMA_{max}



Graf 3: Histogram OMA_{max}



Graf 4: Histogram OMA+UMA_{prům.}

Další statickou metodou, která byla použita pro vyhodnocení výsledků, je index způsobilosti procesu c_p , c_{pk} . Používá se pro vyjádření schopnosti procesu vyhovět požadavkům definovaným horní a dolní specifikační mezí USL (upper specification limit) a LSL (lower specification limit). Podle předpisu daného společností Bosch spol. s r.o. je definováno, že dlouhodobá schopnost procesu je dána hodnotou $c_{pk} \geq 1,33$.

Výpočet c_p je dán vzorcem:

$$c_p = \frac{USL - LSL}{6 * \sigma}$$

Výpočet c_{pk} je dán rovnicí:

$$c_{pk} = \min \left(\frac{USL - \mu}{3 * \sigma}; \frac{\mu - LSL}{3 * \sigma} \right)$$

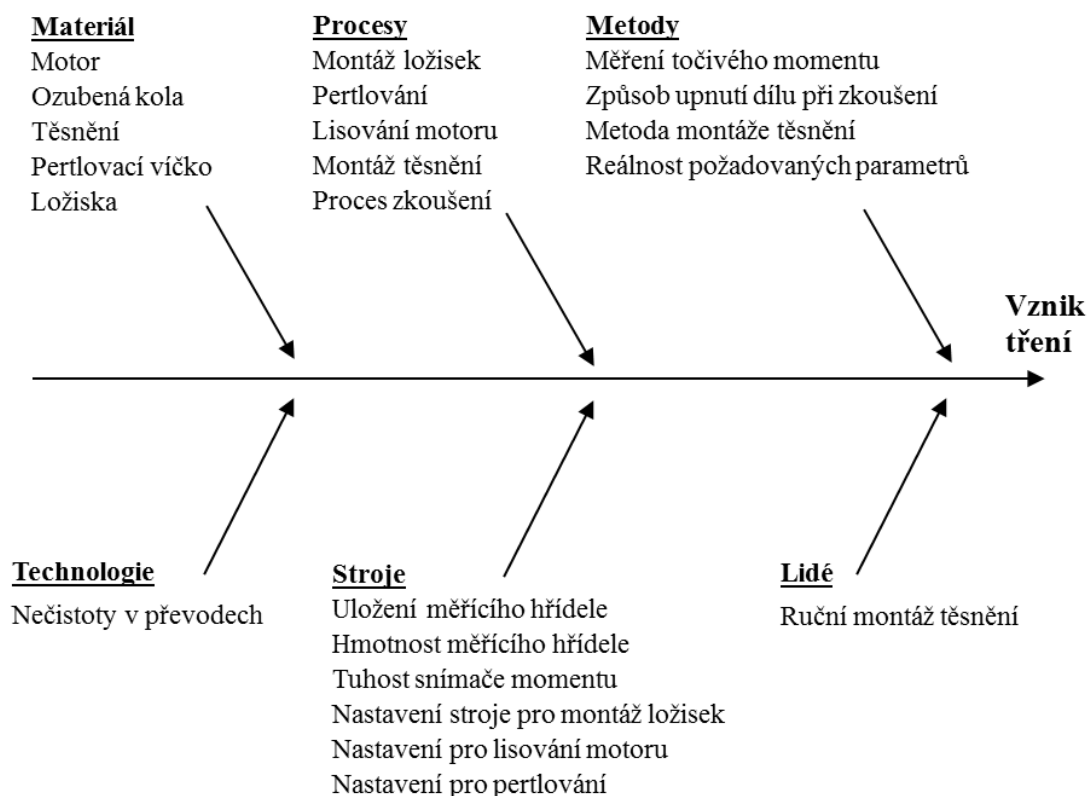
Tabulka 3 zobrazuje hodnoty indexu způsobilosti vypočtené před zahájením úprav na pracovištích výrobní linky. Výpočet proběhl z naměřených 50 000 hodnot očištěných o desítky hodnot, které byly velmi odlehle a nesouvisí přímo s řešeným problémem.

Tabulka 3: Výpočet indexu způsobilosti procesu – původní stav

	UMA _{max}	OMA _{max}	OMA+UMA _{prům.}
USL [Nmm]	175	175	120
LSL [Nmm]	70	70	70
σ [Nmm]	11	10	5
μ [Nmm]	138	131	98
c_p [-]	1,59	1,75	1,67
c_{pk} [-]	1,12	1,47	1,47

5.1 Vznik nežádoucího tření

Pro analýzu vzniku nežádoucího tření způsobujícího nárůst ztrátového momentu byla použita metoda Ishikawova diagramu neboli diagram příčin a následku. Byla stanovena pracovní skupina, která se skládala z členů následujících oddělení – vývoje, výroby, nákupu, logistiky a kvality. Tento tým pomocí brainstormingu navrhl řadu pravděpodobných ale i méně pravděpodobných příčin vyššího tření.



Obrázek 8: Ishikawa diagram

Dále proběhlo v rámci týmu vyhodnocení jednotlivých příčin, u kterých se pomocí bodování na stupnici 1 - 5 stanovila pravděpodobná velikost vlivu na zvýšení tření (viz tabulka 4). Zde bylo vybráno 6 nejpravděpodobnějších příčin zvýšení tření podle Paretova pravidla. Paretovo pravidlo, také nazývané pravidlo 80/20, znamená, že 20% příčin způsobuje 80% důsledků. Vybrané příčiny týkající se výrobního procesu budou dále podrobně rozebrány.

Tabulka 4: Vyhodnocení příčin zvýšení tření

Pořadí	Příčina	Hodnocení	Pracoviště
1.	Způsob upnutí dílu při zkoušení	4,6	AP 90
2.	Motor	4,4	Materiál
3.	Uložení měřicího hřídele	4,2	AP 90
4.	Pertlování	4,2	AP 20
5.	Lisování motoru	4	AP 10
6.	Montáž ložisek	3,7	AP 50

6 Vliv pracovišť na zvyšování tření

Pomocí Ishikawa diagramu byla vyhodnocena velikost příčin zvýšeného tření, bylo zjištěno, že výrobní proces na pracovišti AP 90 je nejvíce a nejpravděpodobněji náchylný na zvýšení točivého momentu způsobeného vyšším třením ve výrobku GPA-S. Rozbor vlivu výrobních procesů postupoval dle sledu výrobních operací od AP 10 přes AP 20, AP 50 a jako poslední se provedla analýza na pracovišti AP 90. Předpoklad byl, že výrobní procesy na předcházejících stanovištích mohou mít vliv na vyšší tření naměřené posledním pracovištěm.

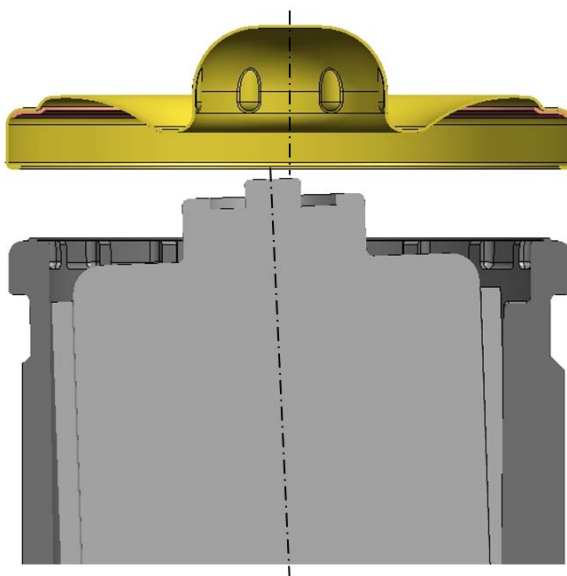
V první fázi byly provedeny úpravy na AP 10, AP 20 a AP 50, jednalo se o drobné mechanické úpravy přípravků, které budou popsány níže. Tyto změny na pracovištích byly provedeny najednou při odstávkách linky, aby nedocházelo ke zbytečným prostojům a ohrožení plnění zákaznických objednávek.

Ve druhé fázi byla provedena analýza na pracovišti AP 90, která měla z hlediska tření velký význam, a jednalo se o výrazný zásah do stroje.

6.1 Pracoviště AP 10

Pracoviště AP 10 je první stroj linky, kam vstupuje těleso (Getriebegehäuse), motor (Motor) a hřídel ozubeného kola (Lagerbolzen). Ve stroji dochází k lisování motoru a hřídele ozubeného kola. Hřídel ozubeného kola je lisována silou 800 [N] do stanovené polohy v tělese. Motor je také lisován do tělesa, silou (100 – 900) N do stanovené polohy. Kontrola probíhá nejprve měřením polohy pinů a dále je přezkoušena funkčnost motoru připojením napětí 12 [V]. Při správné funkci se motor protočí.

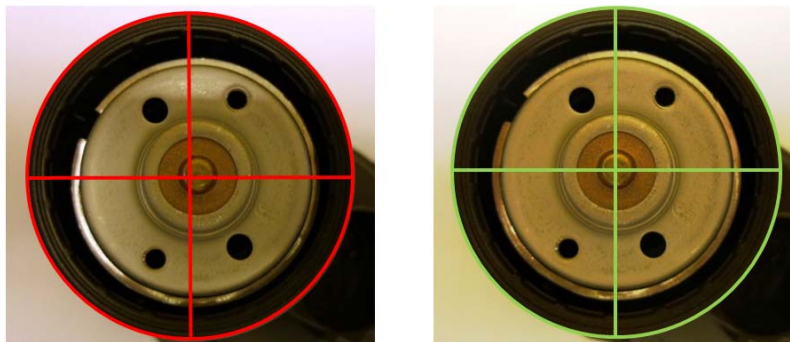
Po důkladném rozboru montážní stanice AP 10 bylo zjištěno, že vliv na zvýšení tření, má poloha zalisování motoru do tělesa. V případě, že by osa motoru nebyla souosá s osou tělesa, viz obrázek 9, došlo by na dalším pracovišti ke vzniku dodatečného tření horní části motoru o pertlovací víčko. Po zapertlování nesouosého motoru s tělesem se snažilo pertlovací víčko motor vyrovnat do správné polohy a tlačilo na hřídel motoru.



Obrázek 9: Nesouosost motoru a pertlovacího víčka

K nesouosému nalisování motoru docházelo kvůli horní lisovací hlavě přípravku, která nebyla v ose se dvěma zakládacími přípravky na otočném stole. Do horní lisovací hlavy je

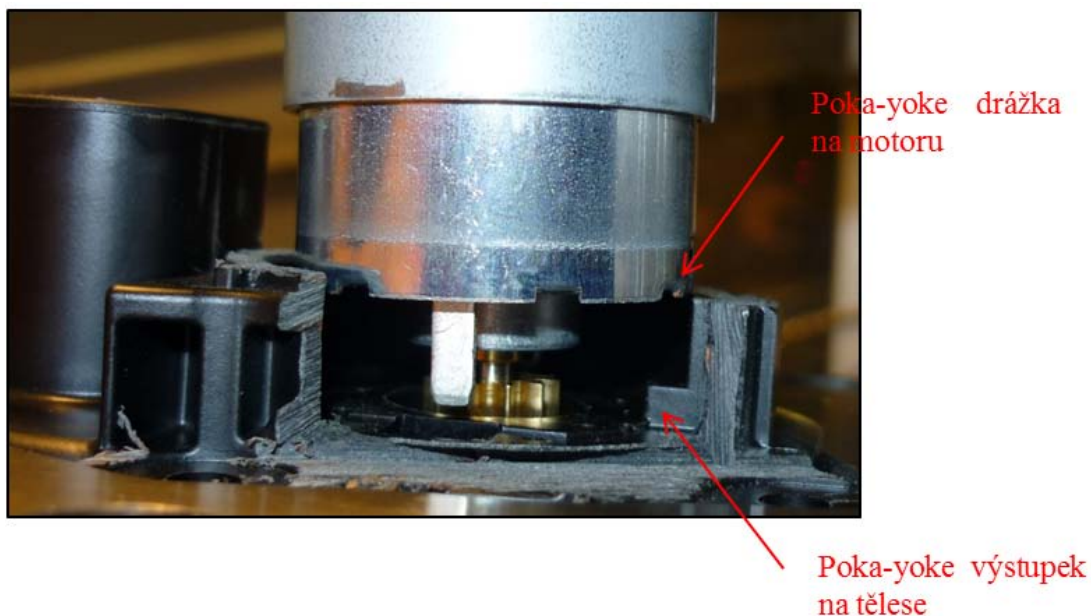
vložen motor a do zakládacího přípravku těleso. Motor má na sobě zkonstruovanou poka-yoke drážku a těleso poka-yoke výstupek, aby nebylo možné motor do tělesa vlisovat v jiné, než požadované pozici, a díky tomu je zabráněno vzniku neshod ve výrobním procesu. Při nesouosé poloze nalisování docházelo ke zborcení výstupku a poškození drážky, které nebylo vně viditelné. Bylo patrné jen vychýlení motoru oproti ose tělesa (viz obrázek 10). Problém byl odhalen při demontáži motoru a tělesa.



Obrázek 10: Porovnání nesouosého zalisování (vlevo) a souosého zalisování (vpravo)

Odstranění problému bylo provedeno mechanicky na základě nastavení souososti poka-yoke drážky na motoru a výstupku na tělese. Pro správné nastavení bylo použito rozříznuté těleso tak, aby bylo viditelné, jak poka-yoke výstupek je napolohován vůči poka-yoke drážce na motoru, viz obrázek 11. Tentýž proces byl proveden pro obě zakládací hnízda.

Vzhledem k této skutečnosti byla definována pravidelná kontrola souososti lisovací hlavy a zakládacích přípravků.



Obrázek 11: Nastavení souososti motoru a tělesa

6.2 Pracoviště AP 20

Na pracovišti AP 20 se zakládá podsestava z AP 10 do zakládacího přípravku a na podtlakový nástavec se umístí pertlovací víčko. Po aktivování stroje je víčko pneumaticky

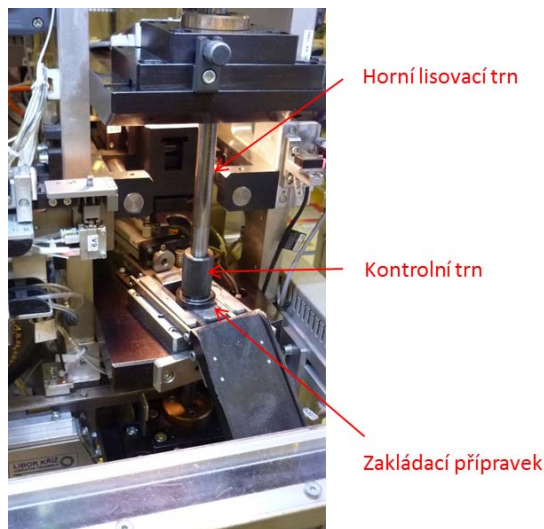
nasazeno na podsestavu, dílec je převezen do pertlovací pozice a roztočen. K rotující podsestavě přijede horizontální elektrická osa, na jejímž konci je umístěno pertlovací kolečko, které provádí proces pertlování.

Při hledání příčin zvýšeného třecího momentu byl zjištěn problém při rotačním pohybu pertlovacího kolečka. Toto kolečko je uloženo ve válečkovém ložisku. Při demontáži pertlovací hlavy bylo nalezeno poškození klece ložiska. Závada byla odstraněna mechanicky výměnou poškozeného ložiska a zavedením pravidelné údržby pertlovací hlavy.

6.3 Pracoviště AP 50

Do zakládacího přípravku je založeno hliníkové víko, do kterého jsou lisována dvě ložiska. Po zkušenostech z předchozích dvou pracovišť zde byla nejprve zkontrolována sousost dvou lisovacích trnů horního a dolního ložiska. Do zakládacího přípravku byl vložen kontrolní trn určený pro zjištění polohy lisovacích trnů. Při mechanickém přiblížení lisovacích trnů ke kontrolnímu bylo zjevné, že horní lisovací trn je mimo osu polohy kontrolního trnu. Tato poloha lisovacích trnů způsobila v extrémních případech hnutí materiálu hliníkového víka pod lisované horní ložisko, což bylo potvrzeno při demontáži dílu, který překročil horní povolenou toleranci točivého momentu.

Závada byla odstraněna nastavením sousosti lisovacích trnů za použití kontrolního, viz obrázek 12. Byla zavedena pravidelná měsíční kontrola sousosti pomocí kontrolního trnu.



Obrázek 12: Nastavení sousosti lisovacích trnů

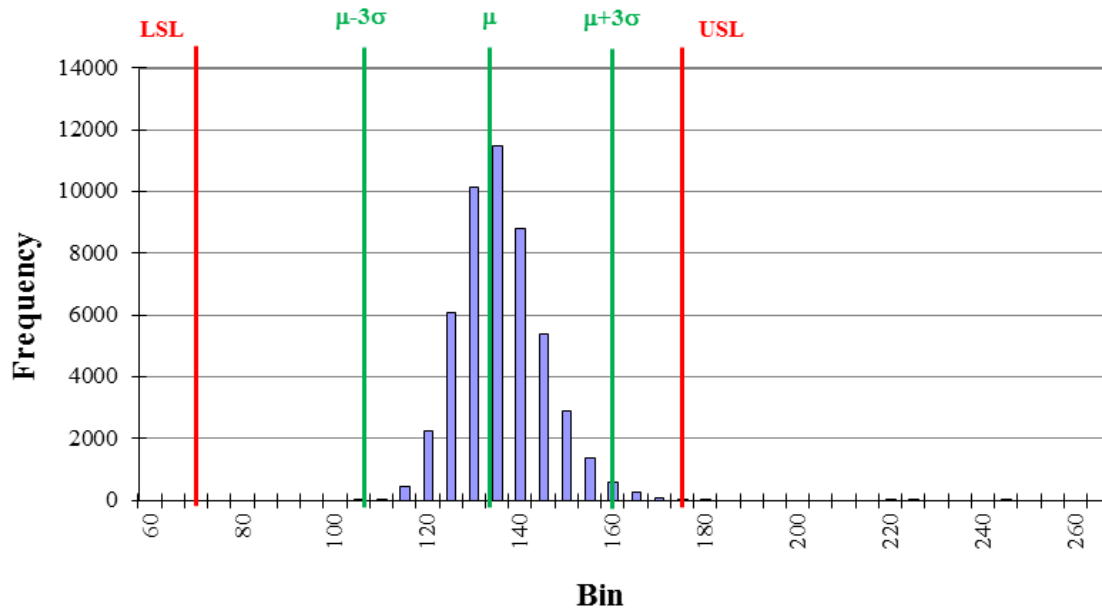
6.4 Analýza stavu po zavedení opatření na AP 10, AP 20, AP 50

Po zavedení první části opatření na pracovištích AP 10, AP 20 a AP 50, u kterých se jednalo především o mechanické úpravy výrobních přípravků, byla opět provedena analýza stavu hodnot. Hodnoty byly měřeny v průběhu měsíce října 2011. Během tohoto měsíce bylo vyrobeno 117 343 ks, z toho zvýšenou hodnotu točivého momentu vykazovalo **0,4%** dílů.

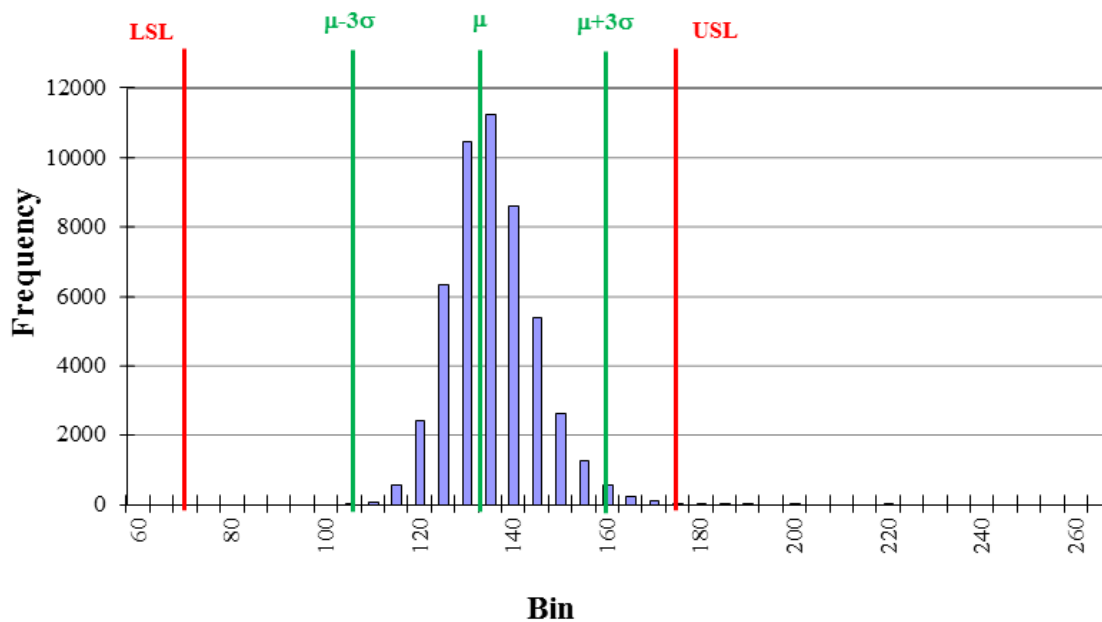
Dále byla provedena analýza velikosti hodnot točivého momentu u 50 000 ks a jejich četnost pomocí histogramu. Nejprve byla data, obdobně jako před zásahem, očištěna od velmi odlehlých hodnot, a poté byla vypočítána střední hodnota a směrodatná odchylka, aby bylo možné vytvořit histogram.

Tabulka 5: Výpočet střední hodnoty a směrodatné odchylky po zavedení opatření na pracovištích AP 10, AP 20 a AP 50

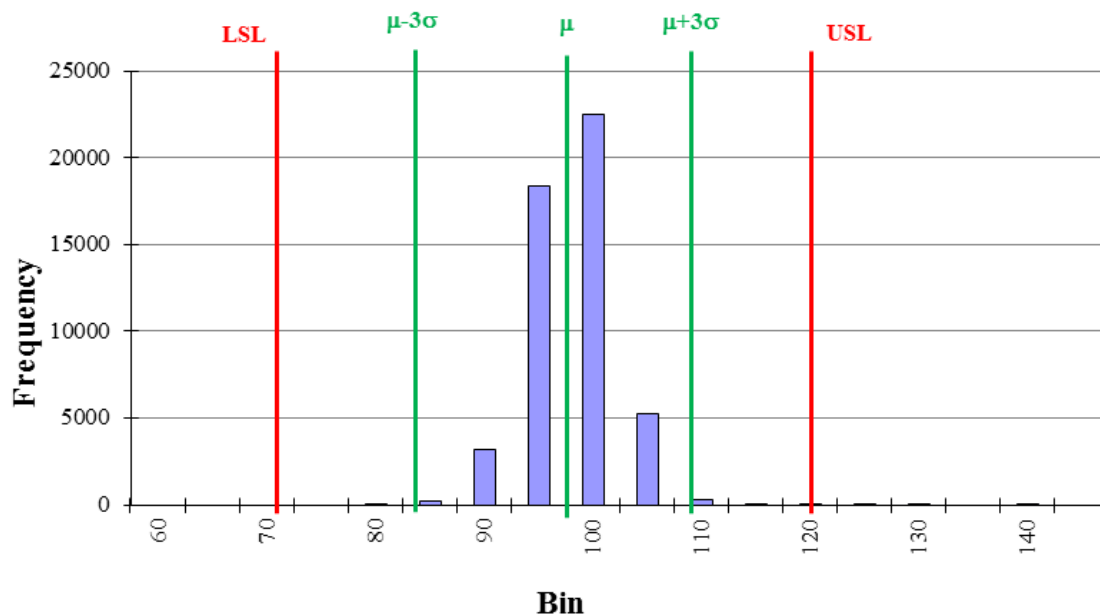
	UMA _{max} [Nmm]	OMA _{max} [Nmm]	OMA+UMA _{prům.} [Nmm]
μ	133	133	96
σ	9	9	4
$\mu - 3\sigma$	106	106	84
$\mu + 3\sigma$	160	160	108
Max. povolené hodnoty	175	175	120



Graf 5: Histogram UMA_{max}



Graf 6: Histogram OMA_{max}



Graf 7: Histogram OMA+UMA_{prům.}

Dále byly vypočítány hodnoty indexu spolehlivosti výrobního procesu c_p , c_{pk} po úpravách pracovišť AP 10, 20 a 50. Hodnoty vypočtené v tabulce 6 jsou vyšší, než byly hodnoty vypočtené před zavedením změn na prvních třech pracovištích, což znamená, že proces je více stabilní.

Tabulka 6: Výpočet indexu způsobilosti procesu - první fáze úprav

	UMA _{max}	OMA _{max}	OMA+UMA _{prům.}
USL [Nmm]	175	175	120
LSL [Nmm]	70	70	70
σ [Nmm]	9	9	4
μ [Nmm]	133	133	96
c_p [-]	1,94	1,94	2,08
c_{pk} [-]	1,56	1,56	2,00

6.5 Pracoviště AP 90

Již v rámci rozboru Ishikawa diagramu bylo stanoveno, že největší vliv na zvýšení tření má poslední pracoviště AP 90, což je stanoviště, kde probíhá programování výrobku, měření točivého momentu a označení zákaznickou etiketou. Ve výrobní lince je proměřen každý díl, který je vyroben. Zároveň v procesu uvolňování sériové výroby dochází k měření jednoho náhodně vybraného kusu v každé směně. Měření je prováděno na měřicím zařízení v oddělení kvality. Z tohoto důvodu byly porovnány obě dvě měřící metody. Pro lepší porovnání byl proměřen díl, který ve výrobě byl těsně nad horní hranicí tolerance a při měření na oddělení kvality byl tento díl v toleranci hodnot točivého momentu. Na tomto základě bylo provedeno porovnání 10-ti náhodně vybraných dílů na obou odděleních, viz tabulka 7 a tabulka 8.

Tabulka 7: Hodnoty točivého momentu z oddělení kvality před úpravou AP 90

Pořadí dílu	OMA _{max} [Nmm]	UMA _{max} [Nmm]	OMA _{prům.} [Nmm]	UMA _{prům.} [Nmm]	OMA+UMA _{prům.} [Nmm]
1.	106	109	92	93	92,5
2.	177	173	107	107	107
3.	124	126	96	97	96,5
4.	127	131	97	98	97,5
5.	139	137	102	101	101,5
6.	118	121	94	94	94
7.	102	106	88	88	88
8.	126	121	96	97	96,5
9.	114	118	94	94	94
10.	118	122	96	97	96,5
Průměrná hodnota	125,1	126,4	96,2	96,6	96,4

Tabulka 8: Hodnoty točivého momentu naměřené ve výrobě před úpravou AP 90

Pořadí dílu	OMA _{max} [Nmm]	UMA _{max} [Nmm]	OMA+UMA _{prům.} [Nmm]
1.	120	118	100
2.	195	215	113
3.	136	120	103
4.	135	131	103
5.	142	144	104
6.	127	125	101
7.	118	121	99
8.	133	135	102
9.	122	119	101
10.	127	124	102
Průměrná hodnota	135,5	135,2	102,8

Z naměřených hodnot vyplývá, že při proměřování stejných dílů jsou měřené hodnoty točivého momentu rozdílné. Hodnoty měřené oddělením kvality jsou vždy nižší než hodnoty naměřené ve výrobě.

Na tomto základě byla provedena analýza měřících metod na obou odděleních, aby byla zjištěna příčina rozdílu.

6.5.1 Metoda měření na oddělení kvality

Točivý moment je měřen v závislosti na úhlu natočení hřídele při pohybu mezi mechanickými dorazy v obou směrech. Mechanické dorazy jsou detekovány překročením definovaného momentu. Nejprve se pohon rozjede proti kladnému směru otáčení, a když je de-

tekováno dosažení dolního dorazu, je spuštěno samotné měření točivého momentu a úhlu se vzorkovací frekvencí 5 [kHz] a pohon se rozjede směrem k hornímu dorazu rychlostí 0,35 [rad/sec]. Po dosažení horního mechanického dorazu se opět směr otáčení změní, vlastní měření stále pokračuje, až do dosažení dolního dorazu. Tam je měření zastaveno a servopohon vypne. V paměti jsou připravena naměřená data k další analýze.

Analýza naměřených dat:

- Převzorkování – data byla do paměti nasbírána se vzorkovací frekvencí 5 [kHz]. Pomocí tohoto parametru „převzorkování“ se frekvence vzorkování sníží použitím každého n-tého vzorku (toto je používáno z důvodu se počtem vzorků co nejvíce přiblížit výrobě, která používá pro vyhodnocení vzorků nižší frekvenci);
- Korekce torze momentového snímače – naměřená data úhlu natočení hřídele se upraví podle naměřených dat momentu tak, jak definuje výrobce momentového snímače T20WN. Při měření momentu 5 [Nm] vzniká na hřídeli torze $5,6 \times 10^{-3}$ [rad];
- Redukce objemu naměřených dat – navzorkovaná data se přepočítávají tak, aby nebyla dělená v čase, ale podle definovaného kroku úhlu (př. po $8,7 \times 10^{-4}$ [rad]);
- Vyhledání uzlových bodů – v naměřených datech jsou vyhledány body max. a min. momentu (OMA, UMA) a hraniční body pro oba směry pohybu, mezi kterými bude proložena přímka;
- Výpočet prokládacích přímk – data momentu a úhlu pro oba směry pohybu mezi hraničními body jsou pomocí metody nejmenších čtverců proloženy přímkami a je vypočtena střední kvadratická hodnota;
- Výpočet průměrného točivého momentu – polovina vzdálenosti mezi středními hodnotami prokládacích přímk OMA a UMA;
- Nalezení maximálního dílčího točivého momentu – pro oba směry jsou mezi hraničními body nalezeny maximální odchylky.

6.5.2 Metoda měření ve výrobě

Popis mechanických pohybů mezi dorazy OMA a UMA je totožný jako na oddělení kvality, což bylo popsáno v předchozí kapitole 6.5.1.

Analýza naměřených dat:

- Sběr dat – data jsou získávána pevně stanovenou vzorkovací frekvencí 500 [Hz] s rychlostí otáčení 0,87 [rad/sec]. Z tohoto nastavení plyne, že při měření úhlu 1,75 [rad] proces trvá 2 [sec] a je získáno 1 000 hodnot, z důvodu zvýšení točivého momentu při nájezdu na doraz se z každé strany 100 hodnot zanedbává, do výpočtu je tedy použito 800 hodnot;
- Redukce objemu naměřených hodnot – každé čtyři naměřené sousedící hodnoty jsou aritmeticky zprůměrovány a tím je získáno 200 hodnot měření pro každý směr v UMA a OMA. Tyto zprůměrované hodnoty jsou proloženy regresní přímkou, která je spočítána pomocí metody nejmenších čtverců;
- Vyhodnocení průměrné hodnoty momentu – jedná se o průměr středů aproximovaných hodnot;
- Vyhodnocení maximální hodnoty OMA a UMA – nalezení nejvzdálenějšího bodu od vypočtené regresní křivky.

6.5.3 Porovnání měřících metod

Oddělení kvality	Oddělení výroby
A/D převod 5kHz	A/D převod 500Hz
Převzorkování 1:1	---
Převod z časové závislosti na úhlovou	---
Zprůměrování hodnot po $0,87 \times 10^{-3}$ [rad]	Zprůměrování čtyř sousedních hodnot
Proložení dat přímkou	Proložení dat přímkou
Vyhodnocení střední hodnoty	Vyhodnocení střední hodnoty
Vyhodnocení maximální hodnoty OMA a UMA	Vyhodnocení maximální hodnoty OMA a UMA

Z porovnání měřících metod vyplývá, že metodika měření je stejná. Rozdíl je v množství naměřených hodnot. Na oddělení kvality se zpracovává větší množství dat, protože využívá jemnější úhlovou stupnici po $0,87 \times 10^{-3}$ [rad] oproti výrobě, kde se zpracovávají hodnoty po $1,74 \times 10^{-3}$ [rad]. V celkovém důsledku není možné, aby docházelo k rozdílu naměřených hodnot o 10 [Nmm] a zároveň metoda, která se používá na oddělení kvality, není reálná, aby byla zavedena ve výrobní lince. Doba měření je 2,5krát delší a to s ohledem na takt linky nelze použít. Metoda ve výrobě je zároveň v souladu se zákaznickým předpisem.

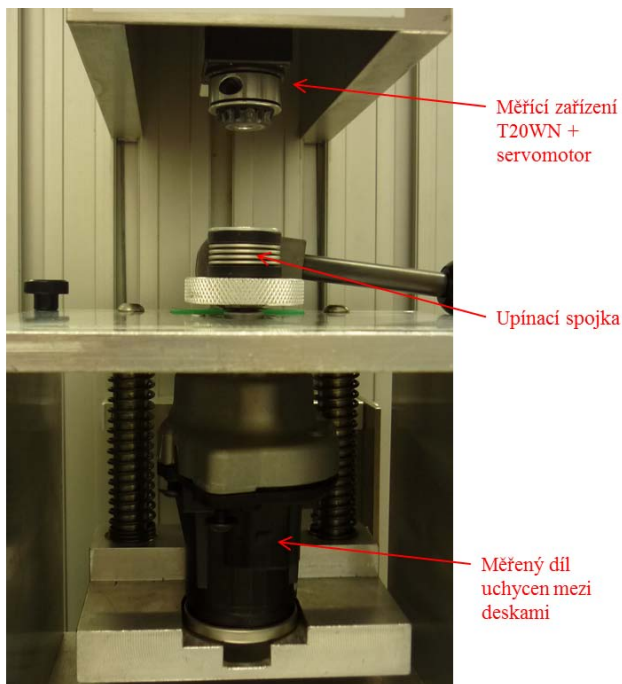
V dalším kroku byla věnována pozornost upnutí dílu do měřícího zařízení a pohybu měřícího zařízení.

6.5.4 Upnutí měřeného dílu a pohyb měřícího zařízení

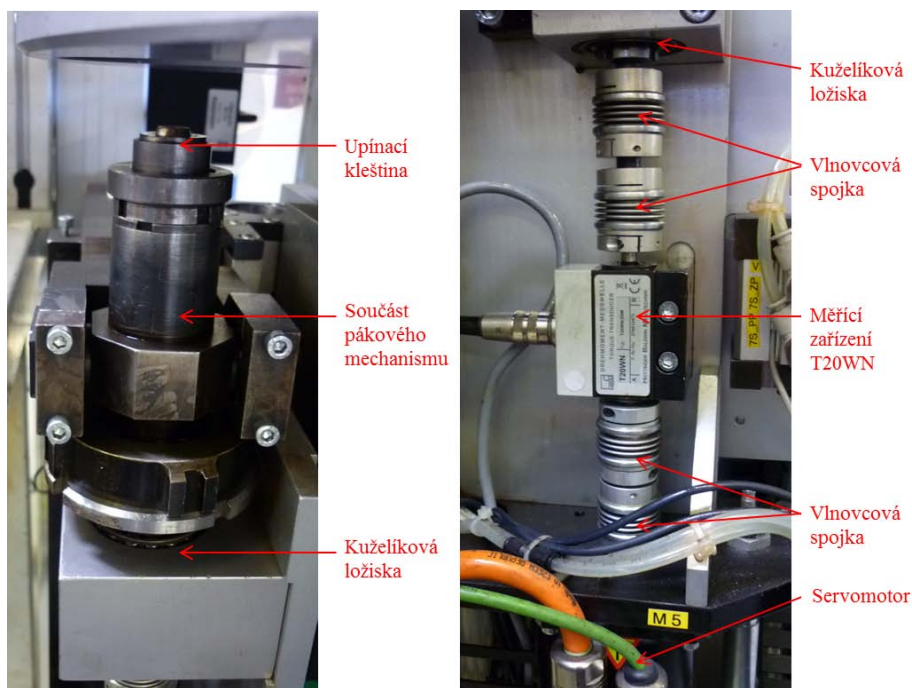
Z předchozí kapitoly vyplývá, že problém není v metodice vyhodnocení naměřených dat, proto bylo dále provedeno porovnání mechanického upnutí měřeného dílu a pohybu měřícího zařízení mezi oddělením kvality a výrobní linkou.

V oddělení kvality je upnutí zkonstruováno tak, že měřený díl je vložen do pevného základacího hnízda a poté pevnou spojkou připojen k měřicímu přípravku T20WN (viz obrázek 13). Měřicí přípravek je dále spojen se servomotorem, který celý mechanismus uvádí do rotačního pohybu. Celá sestava je pevná, měřený díl je vložen do základacího přípravku a poté ještě zajištěn přítlačnými deskami. Tím by do celého mechanismu neměla být vnesena žádná nepřesnost.

Na obrázku 14 je znázorněno měřící zařízení ve výrobním oddělení. Pracoviště AP 90 obsahuje otočný čtyřpolohový stůl, kde jsou díly zakládány do čtyř hnízd. Při každém pootočení stolu se přesune nad měřící mechanismus nový díl připravený k měření točivého momentu. Výstupní hřídel pohonu GPA-S je připevněna k měřicímu mechanismu pomocí uchopovací kleštiny, která pákovým mechanismem provádí pohyb nahoru a dolů pro upevnění a uvolnění dílu. Uchopovací mechanismus je upevněn na hřídel uloženou v ložiskách a dále spojenou pomocí dvou pohyblivých vlnovcových spojek s měřícím zařízením T20WN. Výstup z měřícího zařízení je spojen opět pomocí dvou vlnovcových spojek se servomotorem. Pohyblivé vlnovcové spojky jsou do sestavy implementovány z důvodu vyrovnání případných nepřesností, protože je měřený díl přivezen na otočném stole pokaždé v trochu jiné pozici.



Obrázek 13: Upnutí dílu - oddělení kvality



Obrázek 14: Upnutí dílu - výroba (vlevo horní část mechanismu, vpravo spodní část)

Zkoumané části v průběhu kontroly pracoviště AP 90:

- Založení dílu;
- Kuželiková ložiska;
- Měřicí zařízení;
- Vlnovcové spojky.

Nejprve bylo prověřeno **založení dílu** a jeho souosost s upínací kleštinou, zda osa výstupní hřídele dílu je souosá s uchopovací kleštinou měřicího zařízení. Toto bylo provedeno

s využitím kontrolního trnu shodného průměru s výstupní hřídelí dílu GPA-S, který byl vložen do výrobku místo výstupní hřídele. Trn byl oproti hřídeli prodloužen tak, aby dosáhl do uchopovací kleštiny v nejbližší poloze od měřeného dílu. Tento postup byl zopakován pro všechna čtyři hnízda pracoviště AP 90. U žádného z kontrolovaných hnízd nebyla odhalena nesouosost.

Dalším krokem kontroly byla **kuželíková ložiska**, která by v případě poškození mohla zvyšovat třecí moment zařízení. Aby bylo zabráněno nepříznivému vlivu těchto ložisek, byla kompletně vyměněna.

Během demontáže bylo také zkontrolováno **měřicí zařízení T20WN**, které bylo vyjmuto a opětovně zkalibrováno. Kalibrace ukázala, že není problém v měřicím zařízení.

V posledním kroku kontroly pracoviště byly demontovány **vlnovcové spojky** kvůli zjištění jejich stavu, zároveň bylo počítáno s jejich nahrazením jinými typy z důvodu odzkoušení jejich vlastností a vlivu na měření točivého momentu.

Nejprve byly pohyblivé vlnovcové spojky nahrazeny pevnými, aby byl nasimulován srovnatelný pohyb měřicího zařízení jako v oddělení kvality. Pevné spojky neumožňují osový ani úhlový posuv, proto jsou používány jen pro spojování naprosto souosých hřídelí. Vzhledem k tomu, že měřený díl je vždy přivezen v trochu jiné pozici, není možné zajistit přesnou souosost a tím pádem nelze tyto spojky použít, což bylo také dokázáno jejich odzkoušením v měřicím zařízení. Hodnoty točivého momentu skokově vzrostly (viz tabulka 9) a tím vzrostl počet neshodných dílů na hodnotu točivého momentu, proto tyto spojky byly označeny jako nevhodné.

Tabulka 9: Hodnoty točivého momentu - pevné spojky

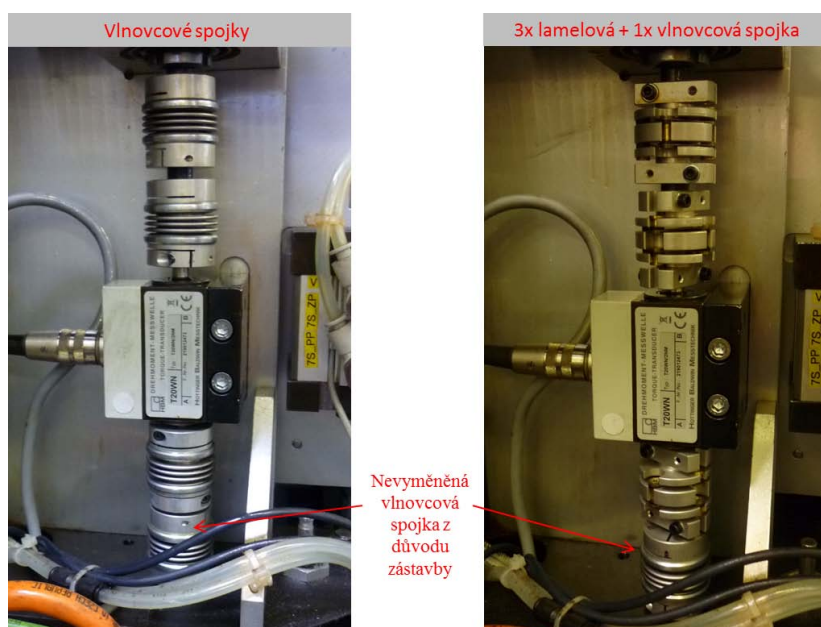
Pořadí dílu	OMA _{max} [Nmm]	UMA _{max} [Nmm]	OMA+UMA _{prům.} [Nmm]
1.	159	154	112
2.	162	166	121
3.	149	153	119
4.	175	164	123
5.	212	221	131
6.	182	179	119
7.	144	152	116
8.	168	162	115
9.	174	175	118
10.	151	154	114
Průměrná hodnota	167,6	168,0	118,8

Další variantou spojek, které byly odzkoušeny, jsou lamelové spojky vícenásobné, které se především díky schopnosti vyrovnání osových nepřesností, úhlového a osového posunu, jeví jako nejvhodnější alternativa. Spojka využívá pružnosti tenkých planžet, proto je pružná v ohybu a čím více obsahuje planžet, tím větší připustí dilatace a úhlové odchylky. Dle specifikace jsou tyto spojky používány pro spolehlivý přenos točivého momentu. Jsou bezúdržbové a vyznačují se dlouhou životností. Jedna vlnovcová spojka nemohla být nahrazena lamelovou z důvodu zástavby stroje. Servomotor má velký průměr výstupní hřídele a taková

lamelová spojka, kterou by bylo nutné použít, nelze s ohledem na rozměry vložit do zástavbového prostoru, jak je patrné na obrázku 15.

Vyrobením zkušební dávky s použitím lamelových spojek bylo nasbíráno větší množství dat pro vyhodnocení spolehlivosti upraveného měřicího zařízení. Náhodně vybrané díly z této produkce byly přeměřeny na oddělení kvality a porovnány s hodnotami naměřenými výrobním zařízením. Porovnání těchto hodnot ukazuje, že se k sobě naměřené hodnoty točivého momentu výrazně přiblížily, viz tabulka 10 a tabulka 11. Na základě této kontroly byla uvolněna výroba pro delší sledování vývoje točivého momentu. Po 50 000 dílech bylo provedeno vyhodnocení dat točivého momentu. Už během výroby byl patrný pokles zmetkovitosti.

Z důvodu dobrých výsledků bylo měřicí zařízení pro další provoz ponecháno s lamelovými spojkami.



Obrázek 15: Spojky před a po zásahu

Tabulka 10: Hodnoty točivého momentu naměřené na oddělení kvality po úpravě AP 90

Pořadí dílu	OMA _{max} [Nmm]	UMA _{max} [Nmm]	OMA _{prům.} [Nmm]	UMA _{prům.} [Nmm]	OMA+UMA _{prům.} [Nmm]
1.	124	130	90	90	90
2.	128	131	91	92	91,5
3.	120	128	90	89	89,5
4.	123	121	88	90	89
5.	131	123	89	90	89,5
6.	129	127	90	90	90
7.	120	124	91	89	90
8.	126	121	90	89	89,5
9.	128	122	90	90	90
10.	125	127	91	90	90,5
Průměrná hodnota	125,4	125,4	90,0	89,9	90,0

Tabulka 11: Hodnoty točivého momentu naměřené ve výrobě po úpravě AP 90

Pořadí dílu	OMA _{max} [Nmm]	UMA _{max} [Nmm]	OMA+UMA _{prům.} [Nmm]
1.	122	131	91
2.	127	135	90
3.	121	127	92
4.	122	125	92
5.	133	122	90
6.	129	125	91
7.	123	125	90
8.	126	124	89
9.	131	120	91
10.	125	127	92
Průměrná hodnota	125,9	126,1	90,8

6.6 Analýza stavu po zavedení opatření na AP 90

Po zavedení opatření na pracovišti AP 90 bylo opět provedeno vyhodnocení stavu. Z hlediska vyrobených a neshodných dílů byl procentuální výpadek snížen z 0,72% před začátkem řešení problému s třením a z 0,4% po zavedení mechanických opatření na pracovištích AP 10, AP 20 a AP 50 na konečných 0,15% po zavedení opatření na pracovišti AP 90.

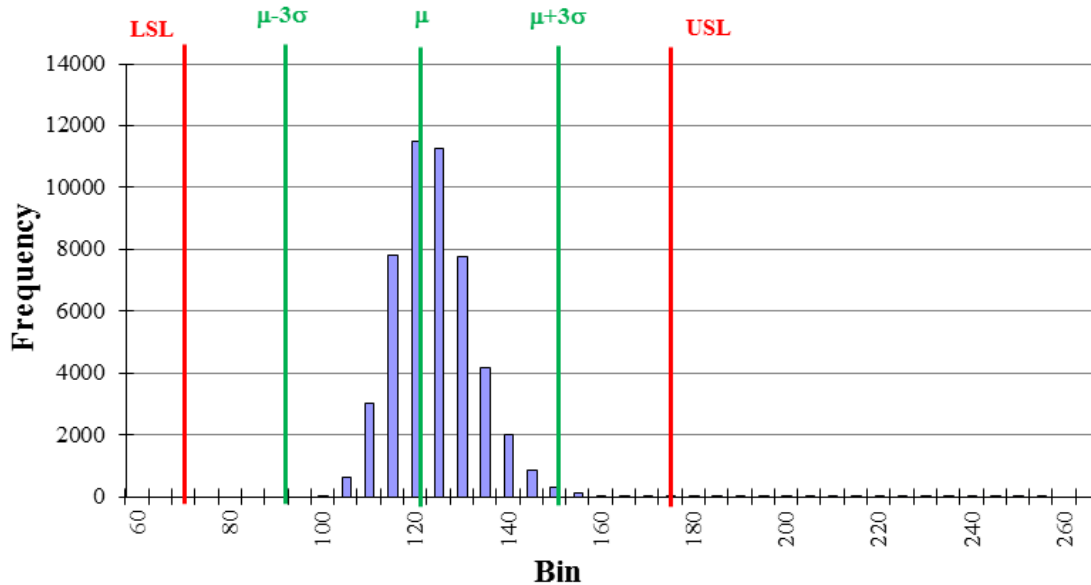
Tabulka 12: Analýza stavu po úpravách na pracovištích

Období		Vy vyrobené díly	Neshodné díly	Procentuální výpadek
2011	listopad	110 348	177	0,16%
	prosinec	100 943	168	0,17%
2012	leden	123 394	170	0,14%
	únor	105 989	141	0,13%
	březen	115 543	185	0,16%
	duben	89 944	128	0,14%
Suma		646 161	969	0,15%

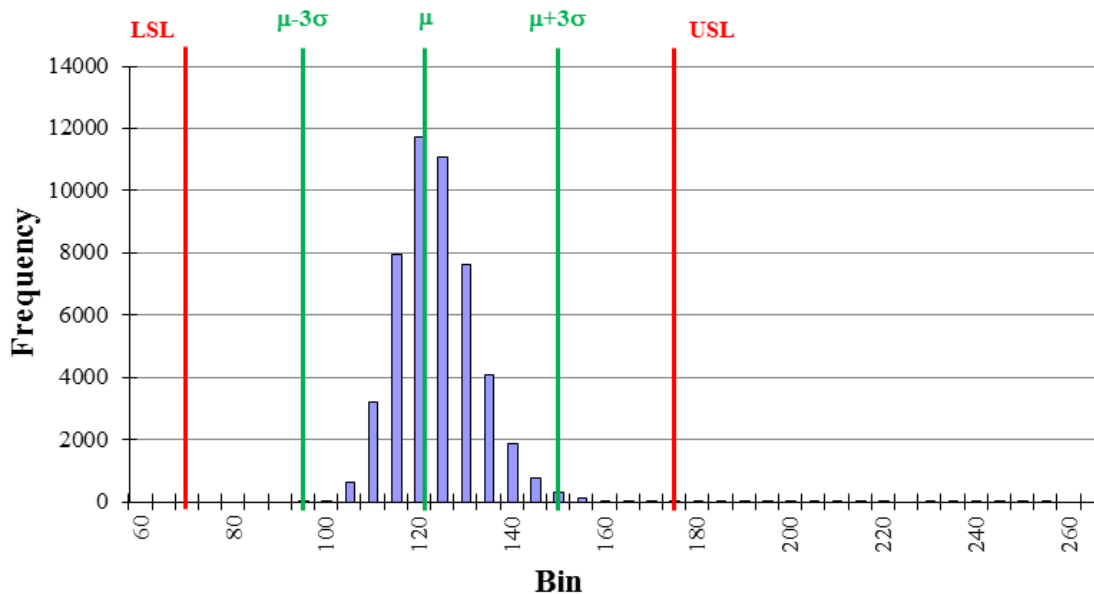
Dále byla provedena analýza velikosti hodnot točivého momentu u 50 000 ks stejně jako před začátkem řešení problému a v mezistavu (po zavedení mechanických úprav). Bylo zjištěno, že došlo nejen ke snížení počtu neshodných dílů, ale zároveň byla křivka histogramu posunuta směrem k nižším hodnotám točivého momentu u všech veličin, které jsou ve výrobě měřeny. U veličin UMA_{max} a OMA_{max} byla hodnota snížena řádově o 20 [Nmm] a u veličiny OMA+UMA_{prům.} o 11 [Nmm] oproti stavu před začátkem úprav.

Tabulka 13: Výpočet střední hodnoty a směrodatné odchylky po zavedení opatření na pracovišti AP 90

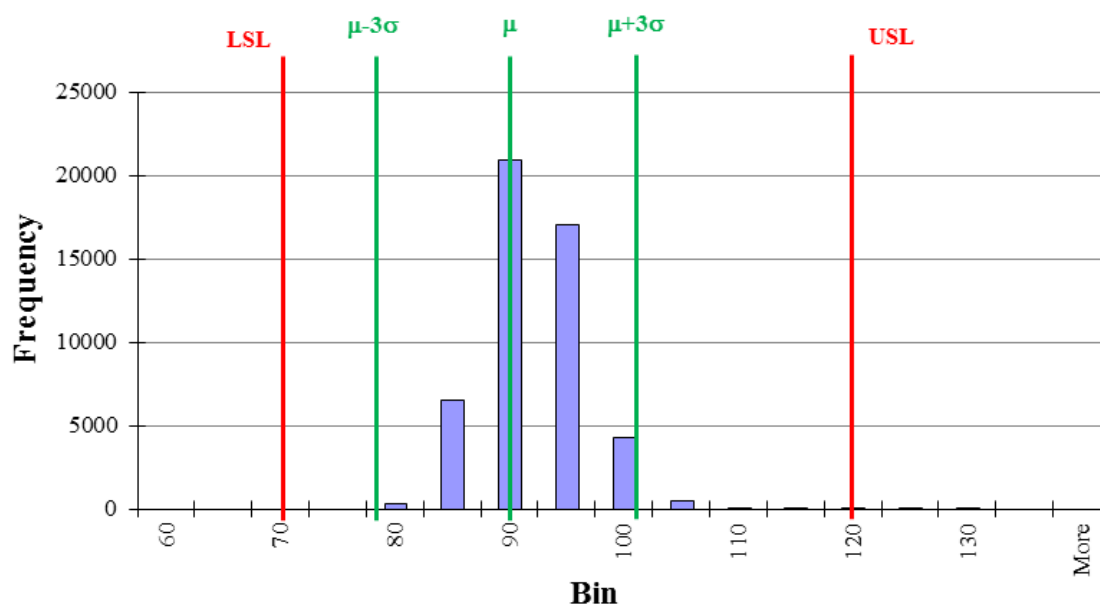
	UMA _{max} [Nmm]	OMA _{max} [Nmm]	OMA+UMA _{prům.} [Nmm]
μ	122	122	90
σ	10	9	4
$\mu - 3\sigma$	92	95	78
$\mu + 3\sigma$	152	149	102
Max. povolené hodnoty	175	175	120



Graf 8: Histogram UMA_{max}



Graf 9: Histogram OMA_{max}



Graf 10: Histogram OMA+UMA_{prům.}

Opět byly vypočítány hodnoty indexu způsobilosti výrobního procesu c_p , c_{pk} po zavedení opatření na pracovišti AP 90. Vypočtené hodnoty c_{pk} jsou vyšší oproti hodnotám, které byly spočítány před započítáním úprav i oproti hodnotám po prvním kole úprav na pracovištích AP 10, AP 20 a AP 50. Na základě těchto hodnot lze říci, že proces je dlouhodobě stabilní, což je vidět i na snížení míry zmetkovitosti, která byla také sledována.

Tabulka 14: Výpočet indexu způsobilosti procesu po zavedení úprav na pracovištích

	UMA _{max}	OMA _{max}	OMA+UMA _{prům.}
USL [Nmm]	175	175	120
LSL [Nmm]	70	70	70
σ [Nmm]	10	9	4
μ [Nmm]	122	122	90
c_p [-]	1,75	1,94	2,08
c_{pk} [-]	1,73	1,93	1,67

7 Závěr

Bakalářská práce byla zpracována na téma „Snížení hodnoty třecího momentu u rotačního pohybu“. Práce byla zadána společností Robert Bosch spol. s r.o. České Budějovice.

V první části byl popsán zkoumaný výrobek, výrobní linka a problém tření, který je součástí točivého momentu měřeného ve výrobě. V další části práce byl proveden rozbor počátečního stavu. Byl vyhodnocen procentuální výpadek na překročení horní tolerance točivého momentu a v rámci pracovní skupiny byly pomocí Ishikawa diagramu definovány možné příčiny vzniku nežádoucího tření. Na základě těchto podkladů byla dále zaměřena pozornost na pracoviště AP 10, AP 20, AP 50 a AP 90. Tato pracoviště byla rozdělena z časového hlediska do dvou skupin podle toho, jak probíhaly úpravy.

Na pracovištích AP 10, AP 20 a AP 50 byla provedena podrobná analýza stavu zařízení a vlivu na vznik nežádoucího tření. Bylo zjištěno, že se jedná především o mechanické závady. Na pracovišti AP 10 byl nalezen problém s nesouosostí lisovacího trnu a zakládacích přípravků. U pracovní stanice AP 20 bylo objeveno poškozené ložisko pertlovacího kolečka a u AP 50 byl zjištěn problém s nesouosostí lisovacích trnů. Všechny uvedené závady byly odstraněny mechanicky. Nesouososti byly nastaveny pomocí přípravků, poškozené ložisko bylo vyměněno a byla zavedena pravidelná kontrola nastavení a funkčnosti.

Po uvedených úpravách proběhlo vyhodnocení počtu neshodných dílů, velikosti měřených hodnot točivého momentu a indexu způsobilosti procesu. Všechna tato vyhodnocení vykazovala zlepšení oproti počátečnímu stavu.

Pracoviště AP 90 bylo z hlediska snižování hodnoty třecího momentu klíčové. Po rozboru tohoto stanoviště nebyla shledána příčina vysokých hodnot točivého momentu v měřící metodě, ale byl zde objeven problém s přenosem točivého momentu pomocí spojek. Původní vlnovcové spojky byly nahrazeny lamelovými.

Po všech úpravách ve výrobní lince došlo ke snížení hodnoty točivého momentu a redukci počtu neshodných dílů. V rámci Ishikawa diagramu byly definovány příčiny zvyšování točivého momentu nejen ve výrobní lince, ale také u nakupovaného dílu – motoru. V rámci dalšího snižování hodnot by měla být dále provedena analýza vlivu motoru jako nakupovaného dílu na tření. Jednalo by se především o manipulaci s tímto dílem, kdy sebemenší mechanické poškození v horní části motoru, má vliv na zvýšení tření.

Literatura

- [1] Robert Bosch GmbH; KRÁLÍK, Jan. *Bosch v České republice*. Produkce: BB Partner, s.r.o., Praha, 2007. 103s.
- [2] BUREŠ, Vladimír. *Části strojů I*. VŠSE, Plzeň, 1978, 226s.
- [3] REIF, Jiří. *Metody matematické statistiky*. Západočeská univerzita, Plzeň, 2004, 228s. ISBN 80-7043-302-7
- [4] ERBES, Jiří; MINAŘÍK, Bohumil. *Statistika a matematické metody*. Vysoká škola zemědělská, Brno, 1982, 267s.
- [5] VOCEL, Milan; DUFEK, Vladimír; a kol. *Tření a opotřebení strojních součástí*. SNTL, Nakladatelství technické literatury, Praha, 1976, 376s.
- [6] BARTSCH, Hans Jochen. *Matematické vzorce*. SNTL, Nakladatelství technické literatury, Praha, 1987, 832s.
- [7] Budějovický Bosch Report, 2008, ročník 16, únor
- [8] Budějovický Bosch Report, 2010, ročník 18, červen
- [9] Budějovický Bosch Report, 2011, ročník 19, únor
- [10] Budějovický Bosch Report, 2011, ročník 19, červen
- [11] Pecha; *Způsobilost strojů a procesů*. Bosch sešit č. 9, 2004
- [12] Návod k použití AP 90, 2010
- [13] Uživatelská příručka montážní stanice AP 10 pro linku montáže GPA-S, 2010
- [14] Uživatelská příručka montážní stanice AP 20 pro linku montáže GPA-S, 2010

Internetové odkazy

- [15] www.bosch.cz
- [16] www.wahler.de
- [17] www.ikvalita.cz
- [18] <http://www.chaloupka-kvalita.cz/>
- [19] Metody statistického měření jakosti. Dostupný na: <http://www.odbornecasopisy.cz>
- [20] www.huco.com
- [21] www.hbm.com

[22] <http://www.spojky-ktr.cz>