

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: Strojírenská technologie – technologie obrábění

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Provádění rozměrové kontroly ve společnosti TS Plzeň a.s. a návrh na
zlepšení měřicího vybavení

Autor: **Jan ADAMEC**

Vedoucí práce: **Doc. Ing. Helena ZÍDKOVÁ, Ph.D.**

Akademický rok 2015/2016

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucí mé bakalářské práce paní Doc. Ing. Heleně Zídkové, Ph.D. za poskytnuté rady, vedení a trpělivost. Dále bych chtěl poděkovat společnosti TS Plzeň a.s. za příležitost vypracovávat bakalářskou práci v jejich společnosti.

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:

.....
podpis autora

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jan ADAMEC**

Osobní číslo: **S15B0001P**

Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**

Studijní obor: **Strojírenská technologie-technologie obrábění**

Název tématu: **Provádění rozměrové kontroly ve společnosti TS Plzeň a.s. a návrh na zlepšení měřicího vybavení**

Zadávací katedra: **Katedra technologie obrábění**

Zásady pro vypracování:

1. Úvod
2. Teoretická část - vybrané kapitoly norem ISO 9000 a ISO 9001
3. Praktická část - analýza současného stavu ve společnosti
4. Návrh na zlepšení
5. Shrnutí, závěr



Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah kvalifikační práce: **30 - 40 stran**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**
Seznam odborné literatury:

- **JANEČEK, Z. Zajišťování jakosti. Plzeň: ZČU, 2001. ISBN 80-7082-807-2**
- **Aktuální soubor norem ISO 9000**
- **Interní měřicí systém společnosti**

Vedoucí bakalářské práce: **Doc. Ing. Helena Zídková, Ph.D.**
Katedra technologie obrábění
Konzultant bakalářské práce: **Doc. Ing. Helena Zídková, Ph.D.**
Katedra technologie obrábění

Datum zadání bakalářské práce: **18. října 2015**
Termín odevzdání bakalářské práce: **20. května 2016**



Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan



Doc. Ing. Jan Řehoř, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 20. října 2015

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ (BAKALÁŘSKÉ) PRÁCE

AUTOR	Příjmení Adamec	Jméno Jan	
STUDIJNÍ OBOR	„Strojírenská technologie – technologie obrábění“		
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Doc. Ing. Zídková, Ph.D.	Jméno Helena	
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST - KTO		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Provádění rozměrové kontroly ve společnosti TS Plzeň a.s. a návrh na zlepšení měřicího vybavení		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KTO	ROK ODEVZD.	2016
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	34	TEXTOVÁ ČÁST	31	GRAFICKÁ ČÁST	3
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK) ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	Hlavním úkolem práce je návrh zařízení pro zlepšení procesu rozměrové kontroly ve společnosti TS Plzeň a.s. V první části je společnost představena. Následně je provedeno seznámení se způsobem prováděných kontrol a vytipování nejčastěji kontrolovaných rozměrů. Dalším bodem je návrh vhodných zařízení na základě nejčastěji kontrolovaných rozměrů. Na závěr práce je provedena volba konkrétního měřicího systému a celkové zhodnocení práce.
KLÍČOVÁ SLOVA ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE	měření, měřicí technika, kontrola, návrh zařízení

SUMMARY OF DIPLOMA (BACHELOR) SHEET

AUTHOR	Surname Adamec	Name Jan	
FIELD OF STUDY	“Manufacturing Processes – Technology of Metal Cutting“		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Doc. Ing. Zídková, Ph.D.	Name Helena	
INSTITUTION	ZČU - FST - KTO		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Dimensional control in TS Plzeň a.s. with suggestion for measuring equipment in TS Plzeň a.s. company		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Technology of Metal Cutting	SUBMITTED IN	2016
----------------	------------------------	-------------------	-----------------------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	34	TEXT PART	31	GRAPHICAL PART	3
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	This thesis is about suggesting measuring system for improving controlling process in TS Plzeň a.s. Company is presented in first part. Next is familiarization with proces of controlling and selecting frequent controled dimension. Based to this dimensions are suggested suitable systems. In the end of this work is chosen one mesuring device which fits best to specified conditions.
KEY WORDS	measurement, measuring, control, suggestion

Obsah

Seznam tabulek a obrázků.....	7
Použité veličiny	1
1. Úvod, cíle práce.....	2
2. Informace o společnosti TS Plzeň a.s.....	3
2.1. Výrobní program	3
2.2. Výrobní stroje a zařízení v TS Plzeň a.s.	6
3. Analýza současného stavu procesu kontroly a zkoušení.....	8
3.1. Druhy kontrol	9
3.2. Všeobecné vyhodnocování zkoušek.....	15
3.3. Nejčastěji kontrolované rozměry	15
4. Návrh na technické dovybavení rozměrové kontroly	17
4.1. Navrhovaná zařízení.....	17
4.1.1. Dvougamerový přenosný souřadnicový měřicí systém	18
4.1.2. Měřicí rameno	21
4.1.3. Laser Tracker systémy	25
4.2. Výběr vhodného zařízení	26
5. Závěr.....	31
Seznam použité literatury a citace.....	33

Seznam tabulek a obrázků

Tabulka 1 – Soustruhy [1]	6
Tabulka 2 – Frézky [1]	7
Tabulka 3 - Vrtačky, vyvrtávačky [1]	7
Tabulka 4 – Brusky [1].....	7
Tabulka 5 - Obrážečky, hoblovky [1]	7
Tabulka 6 - Nejčastěji používaná měřidla.....	11
Tabulka 7 - Zkouška ultrazvukem [6].....	12
Tabulka 8 - Magnetická zkouška [6].....	14
Tabulka 9 - Magnetická zkouška (prostředky) [6]	14
Tabulka 10 - Nejčastěji předepisované tolerance.....	16
Tabulka 11 - METRONOR - technické informace [8]	20
Tabulka 12 - FARO Arm Edge - technické informace [10].....	22
Tabulka 13 - FARO Arm Fusion - technické informace [10].....	23
Tabulka 14 - FARO Arm Prime - technické informace [10]	24
Tabulka 15 - ROMER Absolute Arm - technické informace [11].....	24
Tabulka 16 - Leica Absolute Tracker - technické informace [12].....	25
Tabulka 17 - Kritéria	27
Tabulka 18 - Varianty	28
Tabulka 19 - Určení intervalů	28
Tabulka 20 - Rozhodovací tabulka.....	29
Tabulka 21 - ROMER AR7545.....	29
Tabulka 22 - Finální konfigurace	30
Obrázek 1 - METRONOR Duo Systém [9]	20
Obrázek 2 - Měřicí rameno FARO Arm Prime [10]	21
Obrázek 3 - Leica AT402 [13]	26
Obrázek 4 - ROMER AR 7545 se sondami [14].....	31
Obrázek 5 - Přenosný stativ (TRIPOD) [14].....	31

Použité veličiny

Délka	m	metr
	mm	milimetr
	μm	mikrometr
Hmotnost	kg	kilogram
	g	gram
Teplota	°C	stupeň Celsia
Délka	°	stupeň
Frekvence	MHz	megahertz
	Hz	hertz

1. Úvod, cíle práce

Společnost TS Plzeň a.s. se zabývá výrobou těžké strojírenské techniky se zákaznicí základnou po celém světě. Nezbytným předpokladem pro zaručení konkurenceschopnosti na trhu je mimo jiné kvalita výroby. Ve společnosti TS Plzeň a.s. prochází výrobky řadou kontrol, které mají za úkol zjištění aktuálního stavu a zaručení, že výsledný produkt bude odpovídat rozměrům a tolerancím uvedeným v technické dokumentaci. Se zvyšujícími se nároky na přesnost výroby jsou moderní společnosti nuceny investovat do měřicích zařízení, která umožňují přesnější a rychlejší proces rozměrové kontroly. Těmito zařízeními jsou především souřadnicové měřicí systémy, kterých je na trhu s měřicí technikou k dostání celá řada. Tato měřicí zařízení se liší svým rozsahem měření, dosahovanými přesnostmi měření a dále také cenou. Před samotným zakoupením je tedy důležité provedení průzkumu za účelem zjištění, jaké funkce a možnosti je společnost schopna při procesu rozměrové kontroly využít. Právě s tímto úmyslem byla vytvořena tato bakalářská práce.

Nejprve bude proveden rozbor výrobního programu ve společnosti TS Plzeň a.s. za účelem zjištění charakteru nejčastěji kontrolovaných výrobků a jejich výrobních tolerancí s následným návrhem měřicích zařízení, která by nejlépe vyhovovala ve výrobních podmínkách TS Plzeň a.s. Vhodnost vybraných měřicích zařízení bude hodnocena podle následujících kritérií:

- mobilita zařízení
- rozsah měření
- cena zařízení
- rozměrová přesnost měření
- opakovatelnost měření jednoho bodu
- hmotnost zařízení

Zadaná kritéria nemají při rozhodování stejnou váhu, důraz bude kladen především na rozsah měření, dosahované přesnosti a cenu zařízení. Na základě technických informací uváděných výrobcí k jednotlivým měřicím zařízením bude pomocí rozhodovací metody rozhodnuto o nejvhodnějším kandidátovi, který by co nejlépe splňoval zadaná kritéria. Na závěr bude uveden praktický příklad, jak může vypadat objednávka celého měřicího systému, včetně cenového zhodnocení při uvažování všech položek potřebných k provozu měřidla.

2. Informace o společnosti TS Plzeň a.s.

Společnost TS Plzeň a.s. (dříve ŠKODA TS a.s.) patří mezi významné výrobce strojírenské techniky v Evropě a vznikla 1. ledna 2007 po změně akcionářské struktury. Veškeré atributy společnosti jako např. výrobní program, organizační struktura, sídlo společnosti atd. zůstaly nezměněny. TS Plzeň a.s. tvoří s řídicí osobou Železiarne Podbrezová a.s. koncern a v současnosti patří k nejvýznamnějším členům mezinárodní společnosti ŽP Group. Výrobky společnosti TS Plzeň a.s. jsou vyváženy do celého světa, především do zemí střední a západní Evropy, dále také do zemí Středního Východu a Asie. Nezbytným předpokladem pro úspěch v mezinárodní konkurenci bylo zavedení certifikovaného systému managementu kvality ISO 9001. První certifikace systému byla provedena již v roce 1995 společností DNV.

TS Plzeň a.s. pro své zákazníky zajišťuje kompletní služby od prvotního plánování výstavby, návrhu optimálního řešení technologičnosti konstrukce zařízení, samotné výroby, až po montáž zařízení, uvedení do provozu a zajišťování poprodežního servisu. Mezi projekty realizované společností TS Plzeň a.s. v poslední době patří např. [1]:

- Vytlačovací lis CXB 1250 T, Rusko
- Hydraulický lis na volné kování CKV 9000/12000 T, ČR
- Kovací komplex pro volné kování s hydraulickým lisem CKW 6300/7400 T, Írán
- Hydraulický lis na volné kování CKV 4500/5000 T, projekt 1 a 2, Čína

2.1. Výrobní program

Společnost TS Plzeň a.s. se v dnešní době zaměřuje především na kusovou výrobu těžkých strojních zařízení, a to převážně lisů určených pro gumárenský průmysl, kovárenských lisů, náhradních dílů do válcoven, zařízení pro energetický průmysl, ale také na výrobu okrajovacích nůžek. Dále se zabývá výrobou divadelní techniky a zakázkovou výrobou dle výkresové dokumentace zákazníků. Mezi časté požadavky zákazníků patří např. výroba součástí skříňovitého charakteru a čelistí pro navíjení (rozvíjení) plechů. Jelikož má společnost k dispozici rozsáhlý strojový park, včetně svařovny a montážních prostor, je schopna po předložení základní či detailní dokumentace vyrobit požadované výrobky a doložit všechny certifikáty, kterými disponuje. Kromě certifikátu SMK má společnost i certifikát v oblasti svařování dle norem EN 1090-2+Al a EN 3834-2. [1]

- **Hydraulické lisy**

Výroba hydraulických lisů patří mezi hlavní body výrobního programu společnosti. První hydraulický lis byl v Plzni vyroben již v roce 1872 a do dnešní doby jich bylo vyrobeno kolem 1700 kusů. Společnost se zabývá výrobou různých typů hydraulických lisů, v závislosti na potřebách zákazníka. [1]

A) Kovací lisy

Společnost dodává hydraulické kovací lisy s kapacitou od 6,3MN do 200MN pro veškeré operace volného kování polotovarů s kruhovým i n-hraným průřezem, kroužků, dutých válců, a děrovací lisy. Lisy mohou kovat polotovary z ocelí i neželezných kovů. Programově vybavená výrobní zařízení zajišťují maximální přesnost výrobků a prakticky vylučují výrobu chybných kusů. Zároveň umožňují efektivní optimalizaci kovacího procesu s minimálním počtem potřebných ohřevů polotovaru bez zásahu operátora lisu. Spolu s tuhou konstrukcí lisu, osvědčeným ovládním hydraulických, elektrických a elektronických okruhů je u finál-

ních výrobků docíleno bezpečného provozu, ekonomické živostnosti, zkrácení pomocných časů, snížení spotřeby energie a možnosti integrace s kovacím manipulátorem.

Ve výrobním programu společnosti se vyskytují dvě řady kovacích lisů, tou první jsou hydraulické lisy řady **CKV**, které se vyznačují robustní vertikální čtyřsloupovou či dvousloupovou konstrukcí, lisovacími válci umístěnými v horní traverze a podélně posuvným kovacím stolem umístěným ve spodní traverze. Z důvodu zvýšení životnosti lisu jsou plunžry opatřeny tvrzeným povrchem a spojeny plunžrovou traverzou, která je vedena po sloupech lisu. Horní kovádko je uchyceno v plunžrové traverze. Spodní kovádko lze díky příčnému posuvu v případě potřeby rychle vyměnit. Druhým typem hydraulických kovacích lisů jsou lisy řady **CKW**, které se od lisů CKV liší tím, že lisovací a zpětné válce mají umístěné pod úrovní podlahy kovárny. Ovládání obou typů lisů je zajištěno pomocí dálkového elektrohydraulického systému z pultu lisu. Pro případ hlazení výkovků je ovládací systém opatřen systémem umožňujícím rychlé automatické kování s nastavitelnou frekvencí. Kování na přesný rozměr je umožněno ovládacím systémem, který spočívá v nastavení spodní polohy kovacího lisu a digitálním snímáním jeho dráhy. Pohon těchto typů lisů je zajištěn akumulátorovou stanicí s emulzí vody s olejem.

Při návrhu kovacího lisu a jeho součástí se využívá výpočtové metody konečných prvků, díky které lze simulovat reálné pracovní podmínky na vytvořeném virtuálním prototypu. Virtuální prototyp je založen na zcela reálných základech a hraje významnou roli při eliminaci možných chyb výpočtů z důvodu špatně stanovených okrajových podmínek. [1]

B) Vytlačovací lisy

Společnost se zabývá výrobou vytlačovacích lisů určených pro vytlačování výtlačků z hliníku, mědi, jejich slitin a také výrobou lisů pro vytlačování ocelí. Podle potřeb zákazníků jsou vytlačovací lisy dodávány v několika provedeních a s lisovacími silami v rozmezí od 630t do 6300t. Doplňujícími zařízeními k těmto lisům mohou být např.: pily, nůžky, navíječky, napínáčky profilů atd. [1]

C) Montážní lisy

Montážní lisy řady **CDR** jsou využívány pro slisování železničních kol, ozubených kol, pastorků atd. na osy a hřídele. Vyznačují se horizontální konstrukcí a dvěma či třemi sloupy propojujícími plunžrové, pohyblivé traverzy. Sloupy jsou na koncích podepřeny v pomocném rámu, který zajišťuje jejich správnou polohu při libovolné poloze traverzy. Pracovní síla montážních lisů je vyvozována pracovním plunžrem umístěným v pohyblivém uložení v pracovním válci lisu. Lis je ovládán programovým systémem a na přání zákazníka může být rozšířen o vybavení umožňující propojení s počítačem (tisk záznamů o průběhu lisování), mechanizaci odvádění dvojkolí z lisu, hydraulické upínače os a hřídel s automatickým centrováním do osy lisu atd. [1]

D) Speciální lisy

TS Plzeň a.s. vyrábí speciální lisy řady **CJB** a **CTB**. Lisovací síla záleží na konkrétním typu lisu, pohybuje se však v rozmezí od 25MN do 130MN. Obě řady lisů jsou určeny především k lisování plochých výlisků za studena, použít se nicméně dají i při lisování za tepla. Vyznačují se především vyššími lisovacími silami a nižšími pracovními rychlostmi. Typické výlisky vyráběné na těchto lisech jsou např. vláknocementové střešní šablony, dřevotřískové desky, ocelové vlnité plechy nebo lamely pro výměníky tepla. Lisy řady **CTB** jsou konstruovány tak, aby zamezovaly přenosu radiálních sil do konstrukce, čímž se výrazně zvy-

šuje životnost lisu. Lisy obou řad se liší především ve způsobu vratného pohybu při zpětném chodu. Zatímco lisy řady **CTB** jsou vybaveny obvykle dvěma až čtyřmi válci, které umožňují zpětný chod, u lisů řady **CJB** je zpětný chod zajištěn pouze gravitační silou. Stejně jako u předešlých typů lisů je i zde možné pracovní proces řídit pomocí programového vybavení a ve vybraných případech lze celý proces automatizovat.

Mezi speciální lisy vyráběné společností TS Plzeň a.s. dále patří lisy pro výrobu produktů vojenského a obranného průmyslu. Jedná se o specializovaná zařízení pro výrobu nábojnic a jiných specifických výrobků. [1]

- **Vulkanizační lisy**

Společnost vyrábí vulkanizační lisy několika typů a velikostí, v závislosti na provedení pohonu. Všechny typy jsou však vybaveny plně automatickým zakládacím a odebíracím zařízením. Stejně jako u předešlých typů lisů společnost zajišťuje i u vulkanizačních lisů dodávku příslušenství, modernizace a generální opravy. Příslušenství k vulkanizačním lisům záleží na požadavcích zákazníka, zpravidla se však jedná o zakládací a odebírací zařízení upravené na míru podle zákazníkového provozu, stabilizační zařízení, elektrické rozvaděče a řídicí systémy umožňující záznam a uchovávání dat o vulkanizaci. V případě požadavku na modernizaci stávajících zařízení je společnost TS Plzeň a.s. schopna zajistit srovnatelné parametry modernizovaných strojů se stroji novými. [1]

A) Mechanické lisy

Společnost rovněž vyrábí jednokomorové a dvoukomorové mechanické lisy, které se liší pouze velikostí. Jednokomorové lisy se zhotovují ve velikostech 75“ až 130“ a dvoukomorové ve velikostech 63,5“. Mimo to společnost nabízí mechanické lisy s parními komorami a topnými deskami. [1]

B) Hydraulické lisy

Hydraulické lisy typu **HMVL** jsou určeny k formování radiálních a diagonálních pneumatik s přírodními, syntetickými nebo ocelovými kordy. Stejně jako mechanické lisy jsou i hydraulické vybaveny topnými deskami a plně automatickým zakládacím a odebíracím zařízením. Vyráběny jsou ve velikostech dle potřeb zákazníka, většinou se ale velikosti pohybují v rozmezí mezi 63,5“ a 210“. Hlavními přednostmi lisů tohoto typu jsou mimo jiné zkrácené vulkanizační časy, výrazná úspora energie při vulkanizačním procesu, zkrácení manipulačních časů, optimální sezení forem není ovlivňováno velikostí závěrné síly, vysoká životnost a spolehlivost, snadná a minimální údržba provozu.

Druhým typem hydraulických lisů jsou lisy typu **RVL**, které jsou určeny k lisování radiálních pneumatik v segmentových formách. Ohřev forem zajišťují vnější parní desky, pára je také přiváděna do vnějšího obvodu segmentové formy. Jedny z hlavních výhod lisů tohoto typu jsou: nízká spotřeba energie, výrazné zefektivnění procesu výroby radiálních automobilových plášťů, příznivé ekologické parametry, výkonný řídicí systém, krátké manipulační časy atd. [1]

C) Membránové lisy

Membránové lisy slouží k výrobě membrán do vulkanizačních lisů pro výrobu pneumatik. Jedním z největších membránových lisů vyrobených společností TS Plzeň a.s. je lis ML 80 s lisovací silou 15 000 kN a pracovním prostorem o velikosti 80“ x 24,5“.

- **Zařízení válcoven**

Výrobní program zahrnuje také výrobu a dodávku válcovacích tratí a úpravárenských linek, dodávky náhradních dílů a modernizaci stávajících tratí a linek.

Jednou z mnoha válcovacích tratí a úpravárenských lisů zahrnutých do výrobního programu společnosti jsou: reverzní nebo nereverzní tratě duo nebo kvarto pro redukční nebo hladící válcování pásů z oceli a neželezných kovů za studena, zařízení pro linky na úpravu tlustých plechů tloušťky 5 – 50 mm zahrnující nůžky pro příčné a podélné dělení vyválcovaných plechů, zdvojené nůžky pro oboustranné boční ořezávání plechů, kotoučové ořezávací nůžky a další.

Mezi jednotlivé stroje, případně uzly válcovacích tratí, dodávaných společnostmi TS Plzeň a.s. patří např.: snímače a podavače svitků, podávací válečky, příčné nůžky na pásy atd. Výsadou společnosti je pak výroba rozvíječek a navíječek pásů válcovaných za studena. Díky své speciální konstrukci jsou bubny navíječek schopné odolávat i mimořádně vysokým měrným tahům a zároveň zajišťují vysokou spolehlivost a životnost. [1]

- **Zařízení třtinových cukrovarů**

Nové mlýnice na cukrovou třtinu vyráběné společnostmi TS Plzeň a.s. mají kapacitu 500 až 20 000 tun třtiny za den. Zákazník má možnost objednání náhradních dílů, jako např.: ložisek, pastorků, hřídelí, stojanů na mlýny atd. Dále nabízí rekonstrukce či modernizace samotných mlýnic. [1]

- **Zakázková výroba**

Společnost se zabývá kusovou výrobou náhradních dílů do výše zmiňovaných lisů, válcoven, atd. V dnešní době se dále zabývá zakázkovou výrobou, která zastává největší podíl ve výrobním programu společnosti TS Plzeň a.s., přičemž se jedná především o výrobu dna a víka pro převodové skříně. I přesto se však nedá jednoznačně tvrdit, že je tento výrobek hlavní náplní výrobního programu, jelikož se jedná o kusovou výrobu. Dna a víka převodových skříní, kterých je za rok vyrobeno cca 15 kusů, se tomuto označení však nejvíce přibližují. Princip funkce u všech vyráběných převodových skříní je stejný, liší se pouze svými rozměry a počtem uložených hřídelí.

2.2. Výrobní stroje a zařízení v TS Plzeň a.s.

Jak již bylo zmíněno, společnost disponuje rozsáhlou strojovou základnou. V tabulkách níže jsou pro ilustraci uvedena zařízení, na kterých se provádí veškeré obráběcí operace.

- **Soustruhy**

Typ soustruhu	Max. obrobitelná plocha (průměr x délka [mm])	Max. hmotnost obrobku [kg]
Malé a střední soustruhy	Ø 585 x 5 000	6 000
Vysoce výkonné soustruhy	Ø 2 000 x 12 000	30 000
Karusely	Ø 5 000 x 3 000	40 000

Tabulka 1 – Soustruhy [1]

- **Frézky**

Typ frézky	Max. pojezd stroje X x Y x Z [mm]	Max. hmotnost obrobku [kg]
Portálové obráběcí centrum	9 000 x 3 000 x 2 000	70 000
Svislé frézky	1 400 x 630	1 200
Frézka s ložem	1 600 x 4 000	10 000

Tabulka 2 – Frézky [1]

- **Vrtačky, vyvrtávačky**

Typ stroje	Průměr vřetene [mm]	Max. pojezd stroje X x Y x Z [mm]	Max. hmotnost obrobku [kg]
Radiální vrtačky		4 500 x 1 600	40 000
Vyvrtávačky	Ø 80 - 130	1 250 - 3 500 x 1 120 - 2 000	12 000
	Ø 160 - 200	4 000 - 10 150 x 2 500 - 5 000	100 000

Tabulka 3 - Vrtačky, vyvrtávačky [1]

- **Brusky**

Typ brusky	Max. obrobitelná plocha [mm]	Max. pojezd stroje X x Y x Z [mm]	Max. hmotnost obrobku
Rovinné brusky		800 x 800 x 3 000	900 kg/m *
Hrotové brusky	Ø 630 x 4 000		3 000 kg
Brusky na otvory	Ø 400 x 500		350 kg

Tabulka 4 – Brusky [1]

* kg/m (metr délky pracovního stolu)

- **Obrážečky, hoblovky**

Typ stroje	Max. obrobitelná plocha [mm]	Max. pojezd stroje X x Y x Z [mm]	Max. hmotnost obrobku
Hoblovky		2 000 x 10 000	2 000 kg/m
Obrážečky	Ø 1 100 x 630		1 000 kg

Tabulka 5 - Obrážečky, hoblovky [1]

3. Analýza současného stavu procesu kontroly a zkoušení

Kontrola a zkoušení je prováděno v postupných krocích výroby z důvodu zjištění vlastností polotovarů, finálních výrobků a ke zdokumentování skutečného stavu. Kontrola je prováděna na základě Inspekčního a přijímacího plánu. Při měření jsou pracovníci technické kontroly odpovědni za dodržování Metrologického řádu. Dále jsou odpovědni za provádění kontrolních a zkušebních operací uvedených ve výrobní dokumentaci, stejně tak i za předání výsledků měření Technické předávací kanceláři, která má povinnost tyto výsledky shromážďovat a archivovat.

Proces kontroly a zkoušení se řídí konkrétními pokyny. Tyto pokyny jsou součástí řízené dokumentace systému managementu kvality ISO 9001. Základním dokumentem v systému managementu kvality v oblasti kontroly a měření je podle ČSN ISO 9001 (Česká technická norma, 2010, s. 27):

- **Řízení monitorovacího a měřicího zařízení**

Organizace musí určovat monitorování a měření, které bude prováděno, a monitorovací a měřicí zařízení, které je potřebné pro poskytování důkazu o shodě produktu se stanovenými požadavky. Organizace musí stanovovat procesy, které zajistí, že monitorování a měření může být prováděno a je prováděno způsobem, který je v souladu s požadavky na monitorování a měření. V případě, že je nezbytné zajistit platné výsledky, musí být měřicí zařízení

- a) *ve specifikovaných intervalech nebo před použitím kalibrováno nebo ověřováno nebo obojí, podle etalonů navázaných na mezinárodní nebo národní etalony; v případě, že takové etalony neexistují, musí se základ použitý pro kalibraci nebo ověřování zaznamenat*
- b) *justováno nebo podle potřeby opakovaně justováno,*
- c) *identifikováno tak, aby bylo možné určit stav kalibrace,*
- d) *zabezpečeno před takovým seřízením, které by narušilo platnost výsledku měření,*

Kromě toho musí organizace posuzovat a vytvářet záznamy o posuzování platnosti předchozích výsledků měření v případě zjištění, že zařízení neodpovídá požadavkům. Organizace musí u dotčeného zařízení a u každého dotčeného produktu přijmout příslušná opatření. Musí být vytvářeny a udržovány záznamy o výsledcích kalibrace a ověřování. Jestliže se při monitorování a měření specifikovaných požadavků používá počítačový software, musí být potvrzena jeho schopnost plnit zamýšlené použití. Toto potvrzení musí být provedeno před počátečním použitím a podle potřeby se musí opakovat.

A podle ČSN ISO 9001 (Česká technická norma, 2010, s. 29):

- **Monitorování a měření produktu**

Organizace musí monitorovat a měřit charakteristiky produktu tak, aby si ověřila, zda byly požadavky na produkt splněny. Toto musí být prováděno v příslušných etapách procesu realizace produktu v souladu s plánovaným uspořádáním činností. Musí být udržovány důkazy o shodě s přejímacími kritérii. V záznamech musí být uvedena osoba (osoby) schvalující uvolnění produktu pro jeho dodání zákazníkovi. Uvolnění produktu a dodání služby zákazníkovi nesmí pokračovat, dokud nejsou uspokojivě dokončeny plánované činnosti, pokud to příslušný orgán, popřípadě zákazník, neschválil jinak.

3.1. Druhy kontrol

- **Vstupní kontrola**

Vstupní kontrola je prováděna v prostorách příjmu zboží na určeném místě. Slouží ke kontrole polotovarů a vstupního materiálu určeného pro výrobu. Pracovník technické kontroly kontroluje značení materiálu, tak aby byly zajištěny požadavky určené výkresovou dokumentací. Materiál musí být opatřen identifikačními znaky, kterými jsou: zakázkové číslo, číslo objednávky; popřípadě doplňkovými identifikačními znaky jako je číslo výkovku, číslo tavby, zalité číslo odlitku, číslo modelu, osobní značka svářeče, kontrolora, atd. [2]

Způsob kontroly: Materiál, součást nebo polotovar je označen popsáním barevným fixem, vyražením značky přiměřených rozměrů (která musí být čitelná i po tepelném zpracování), nebo upevněním značícího štítku v případě, že povaha součásti vyžaduje neporušení povrchu. [2]

- **Mezioperační kontrola**

Mezioperační kontrola je prováděna pracovníky mezioperační kontroly ve výrobních halách na kontrolních místech. Kontrolním místem se rozumí pracoviště technické kontroly, což platí v případě, že rozměry výrobku umožňují bezproblémovou manipulaci. Pro případy výrobků větších rozměrů by byla manipulace značně obtížná, v některých případech nemožná, proto je jako kontrolní místo určeno místo v blízkosti obráběcího stroje, popřípadě přímo na obráběcím stroji. Hlavní činností mezioperační kontroly je ověření souladu vyráběného výrobku s výrobní dokumentací bezprostředně po jeho vzniku. Kontrola se pak soustřeďuje zejména kontrolou provedení (kontrola rozměrů, opracování a polohy), ale také na kontrolu před tepelným zpracováním, po tepelném zpracování, defektoskopickou kontrolu, kontrolu před montáží, kontrolu prvního kusu, atd. Příkaz k vykonání mezioperačních zkoušek je uveden v technologickém postupu. [3]

Činnosti zajišťované mezioperační kontrolou:

a) **Kontrola rozměrů, tvaru, polohy a opracování**

Kritéria kontroly jsou uváděna na výkrese a v technologickém postupu. Kontrolor se řídí kótami, tolerancemi a technickými podmínkami uvedenými v technické dokumentaci. Výsledek rozměrové kontroly je zaznamenáván, vyhodnocen a následně je vystaven rozměrový protokol. [3]

Způsob kontroly: Pracovník technické kontroly za pomoci užití vhodných měřidel zjistí aktuální rozměry, tvar, polohu a opracování zpracovávaného materiálu (polotovaru, součásti), zaměří se na požadované rozměry a zaznamená zjištěné hodnoty. Tyto operace jsou prováděny na místě technické kontroly, v blízkosti obráběcího stroje, popřípadě přímo na obráběcím stroji. Ke kontrole rozměrů, tvaru, polohy a opracování jsou využívány především pracovní měřidla, v určitých fázích však není vyloučeno i použití jiných skupin měřidel.

Ve společnosti Škoda TS a.s. jsou ke kontrolám používány následující druhy měřidel:

- a) Etalony
 - b) Pracovní měřidla stanovená (dále jen stanovená měřidla)
 - c) Pracovní měřidla
 - d) Orientační měřidla.
- a) Etalony: Etalon je měřidlo určené k definování, uchování a reprodukci jednotky nebo veličiny, pro případ potřeby přenesení na jiná měřidla. Etalony slouží ke kalibraci měřidel. Z tohoto důvodu podléhají periodické kalibraci, kterou zajišťuje Akreditovaná kalibrační laboratoř. Příkladem etalonů používaných společností Škoda TS a.s. jsou koncové měrky, měřicí drátky, úhlové měrky, kontrolní válce, atd.
 - b) Stanovená měřidla: Stanovená měřidla jsou ta, která podléhají pravidelnému ověřování s ohledem na jejich význam. Kontrolu nařízenou Ministerstvem průmyslu a obchodu je nutné dodržovat z důvodů: zajištění správnosti obchodního styku, ochrany zdraví a bezpečnosti práce. Ve společnosti jsou používány pouze dva typy stanovených měřidel, kterými jsou sklonné váhy a váhy digitální.
 - c) Pracovní měřidla: Pracovní měřidla tvoří největší skupinu měřidel používaných k provádění technických kontrol výrobků, polotovarů, a k samotné výrobě. Jedná se o měřidla, jejichž používání má vliv na jakost výroby, a jež jsou využívána při styku s dodavatelem nebo zákazníkem a ke kalibraci zařízení. Používaných pracovních měřidel je celá řada, jsou jimi např.: posuvná měřidla a hloubkoměry, třmenové mikrometry a mikrometrické hloubkoměry, mikrometrické odpichy, pasometry, měřicí mikroskopy, vodováhy, pracovní siloměry, momentové klíče, odporové teploměry, atd.
 - d) Orientační měřidla: Jedná se o měřidla, která nepodléhají kalibraci ani ověřování. Nesmí se používat k prokazování shody výrobku s technickou dokumentací. Dále se tyto měřidla nesmí používat při styku se zákazníkem nebo dodavatelem. Lze je použít pouze k orientačnímu měření. [4]

Nejčastěji používanými měřidly ke kontrole rozměrů, tvaru, polohy a opracování jsou poté:

NEJČASTĚJI POUŽÍVANÁ MĚŘIDLA		
Měření...	Název měřidla	Přesnost
Délka	Posuvné měřítko (digit., analog.)	$\pm 0,1\text{mm}$
	Mikrometr (digit., analog.)	$\pm 0,01\text{ mm}$
Průměrů (vnějších/vnitřních)	Odpich	$\pm 0,01\text{ mm}$
	Veribor	$\pm 0,01\text{ mm}$
	Pasametr	$\pm 0,001\text{ mm}$
	Triobod	$\pm 0,002\text{ mm}$
Hloubky děr	Hloubkoměr	$\pm 0,01\text{ mm}$
Úhlů	Úhломěr (digit., analog.)	$\pm 5'$
	Úhelník	
Drsnosti	Drsnoměr	$\pm 0,05\text{ }\mu\text{m}$

Tabulka 6 - Nejčastěji používaná měřidla

Pozn.: Ve společnosti se při provádění kontroly digitální měřidla příliš nevyužívají. Rozhodnutí, zda užít analogové, nebo digitální měřidlo je čistě na kontrolorech, kteří převážně upřednostňují klasická analogová měřidla.

b) *Kontrola svařování*

Kontrola svařování je rozdělena do několika kroků, podle toho, v jaké fázi se svařovaný díl nachází. Etapy kontrol při svařování a svařenců jsou následující:

○ **Kontrola při svařování**

Vizuálně a za použití vhodných měřidel se kontroluje správné ustavení dílů určených ke svařování, které se porovnává s předepsanými kritérii uvedenými ve výrobním postupu. Dále se kontroluje celková připravenost pracoviště, teplota vzduchu ve svařovací dílně, teplota svařovaných dílů v průběhu svařování, včetně teploty předehřevu, souběžného náhřevu a dohřevu (je-li to vyžadováno). Eventuálně je kontrola prováděna podle požadavků uvedených v technické dokumentaci. Na závěr se kontroluje označení svarů značkou svářeče. [5]

○ **Kontrola svařenců před tepelným zpracováním**

Použitím vhodných měřidel a vizuálně se porovnává výrobek s výkresovou dokumentací. Tato kontrola se provádí před odesláním svařenců k následnému tepelnému zpracování (před žiháním) a zaměřuje se především na těsnost svarů. V případě, že jsou na svařenec požadovány přídavky na opracování, kontrolují se rozměry předepsané v technické dokumentaci. Kontrola je prováděna, neboť výrobek určený k tepelnému zpracování musí mít dokončeny všechny předcházející operace a musí být řádně označen identifikačními znaky. [5]

○ **Kontrola svařenců po tepelném zpracování**

Vhodnými měřidly a vizuálně se kontrolují rozměry svařence po tepelném zpracování. Naměřené hodnoty se porovnávají s rozměry uvedenými v technické dokumentaci a protokolem vystaveným před tepelným zpracováním (je-li vystaven).

Kontroluje se, zda zpracováním nedošlo k větším deformacím, případně zda přídavky na opracování deformaci kompenzují. [5]

c) *Kontrola před uvolněním součásti pro montáž*

Úkolem této kontroly je zjištění, zda jsou součásti vyrobeny podle předepsané dokumentace. Kontrola je prováděna vizuálně, popřípadě vhodnými měřidly, je-li požadována namátková kontrola rozměrů. Rozměry musí odpovídat požadavkům uvedeným v technické dokumentaci a na výkrese. [5]

d) *Kontrola po provedení montáže*

Kontrola po montáži se provádí pouze po montáži složitější skupiny výrobků. Prováděna je vizuálně a pomocí příslušných měřidel. Naměřené hodnoty se porovnávají s technickou dokumentací. [5]

e) *Defektoskopické kontroly*

Nedestruktivními defektoskopickými zkouškami se zjišťuje přítomnost vnitřních nebo povrchových vad výkovků, vývalků, odlitků, plechů a svarových spojů. Dále se zjišťuje velikost těchto vad, jejich poloha, protáhlost, četnost, případně jejich charakteristika. Ve společnosti je prováděno nedestruktivní zkoušení čtyřmi metodami, v závislosti na požadavcích uvedených v technické dokumentaci. Metody prováděných kontrol jsou:

o *Kontrola ultrazvukovou metodou*

Kontrola ultrazvukem impulsní odrazovou metodou slouží ke zjišťování vnitřních vad. Tato zkouška se provádí obvykle po konečném tepelném zpracování, nelze-li však zkoušku provést po konečném tepelném zpracování z důvodu nemožnosti zajistit potřebné podmínky měření (např. nevhodný tvar součásti), je možno zkoušku provést ještě před tepelným zpracováním. Stav materiálu však musí dovolit provedení zkoušky s předepsanou citlivostí.

Zkušebním přístrojem je ultrazvukový impulsní defektoskop, který je schopný indikovat předepsané vady a určit velikost echa pomocí atenuátoru.

Používané přístroje pro zkoušku ultrazvukem:

Název a typ přístroje	Rozsah
USN 52	0,3 – 10 MHz
USL 32	0,5 – 10 MHz
USM Go	0,5 – 15 MHz

Tabulka 7 - Zkouška ultrazvukem [6]

Jako ultrazvukové sondy se používají přímé, úhlové, případně dvojité a speciální sondy o jmenovité frekvenci 2 a 4 MHz. Při zvláštní geometrii, struktuře materiálu a obtížné geometrii kontrolované součásti lze použít také sondy o jiných jmenovitých frekvencích.

Vazebním prostředkem pro zajištění akustické vazby je obvykle olej, voda, vazelína, nebo škrob. Vazební prostředek musí umožňovat rovnoměrný přenos ultrazvuku mezi sondou a zkušební plochou, který musí být beze ztrát a zároveň musí umožnit reprodukovatelné vyhodnocení údajů zkoušky. Vazební médium nesmí způsobit žádné

korozní poškození, je-li zkouška prováděna na výrobku opracovaném načisto. Viskozita tohoto média je přizpůsobena podmínkám zkoušky.

Drsnost zkušebního povrchu při zkoušce ultrazvukem musí zaručovat, že bude v celém zkušebním rozsahu možné registrovat příslušné náhradní velikosti vad zřetelnými poruchovými echy. Z tohoto důvodu se drsnost zkušebního povrchu obvykle volí $Ra\ 6,3\ \mu\text{m}$. [6]

Při vyhodnocování výsledků ultrazvukové zkoušky se vyhodnocuje:

- náhradní velikost vad v mm (registrační hranice, max. přípustná hranice)
 - četnost vad (bodové, protáhlé)
 - shoda vad v mm^2
 - pokles koncového echa v dB nebo v procentech výšky obrazovky
 - orientace vad a jejich souřadnice
 - tvar echa a jejich seskupení
 - dynamické chování echa
 - hodnota útlumu
 - další údaje
- } Pouze v případě, je-li předepsáno
v technických podkladech

○ **Kontrola magnetickou práškovou metodou**

Použitím magnetické práškové metody se zjišťuje přítomnost a vlastnosti vad na povrchu a těsně pod povrchem zkoušených výrobků z feromagnetických materiálů bez povlaků. V případě, že je zkoušený povrch pokryt nemagnetickou vrstvou, jako je barva, lak, atp., nesmí tloušťka této vrstvy přesahovat $30\ \mu\text{m}$. Zkouška je převážně zařazována jako konečná povrchová kontrola po tepelném zpracování. V některých případech je však prováděna ještě před tepelným zpracováním, kdy má především informativní charakter. Při zkoušce se využívá magnetizace střídavým proudem. Způsobů, jak vyvolat magnetizace je několik:

- elektromagnetem - podélná magnetizace
 - průchodem proudu výrobkem
 - pomocným vodičem
- } příčná magnetizace

Aby bylo možné provést magnetickou zkoušku, musí být testovaný povrch zbaven nečistot (rzi, povlaků, atd.), které by mohly bránit smáčení, či zmagnetování. Významnou roli na zjistitelnost vad má také drsnost povrchu, z tohoto důvodu se drsnost povrchu volí v intervalu $Ra\ 3,2 - 6,3\ \mu\text{m}$.

Intenzita magnetického pole měřená mezi póly musí být v intervalu $2000\ \text{Am}^{-1}$ až $6000\ \text{Am}^{-1}$. Závislá je především na rozměrech, tvaru a magnetických vlastnostech výkovku (výrobku).

Ke kontrole se používá mokřý způsob zkoušení. Nosnou látkou je tedy kapalina, může to být voda s aktivními přísadami oleje, petroleje a oleje, popřípadě směsi jiných vhodných kapalin. V případě, že je jako nosná kapalina zvolena voda, musí detekční kapalina obsahovat smáčedla a protikorozní přísady (v některých případech musí také obsahovat přísady na snížení pěnovosti suspenze). Množství magnetického prášku pro vytvoření vhodné suspenze je uvedeno výrobcem, pokud tomu tak není, neměl by obsah prášku přesáhnout $20\ \text{g}$ na $1\ \text{l}$ detekční kapaliny (v případě použití fluorescenční zkoušky nesmí přesáhnout $4\ \text{g}$ na $1\ \text{l}$ kapaliny).

Kritéria hodnocení výsledků zkoušky jsou obvykle předepsána v technické dokumentaci, na výkresu nebo ve zkušebních předpisech. Prohlídka výrobku pro zjištění případných vad (které se projeví jako magnetické indikace) se provádí vizuálně. [6]

Přístroje používané k provedení práškové magnetické zkoušky jsou:

Název a typ přístroje	Max. výkon [A]	Použití
Magnetizační přístroj: TWM 220 TWM 220 N	9,4 kA ⁻¹	Magnetizace střídavým magnetickým polem (pólová magnetizace)
Magnetizační přístroj: AC-230B	8,6 kA ⁻¹	
FSM-1 (fy TIEDE)		Měření intenzity mag. pole
ASTM D 96-63		Ověření složení detekční kapaliny
Bertholdova měrka		Ověření citlivosti magnetické práškové zkoušky

Tabulka 8 - Magnetická zkouška [6]

○ Kapilární zkouška

Kapilární zkouška slouží ke zjišťování povrchových vad u výrobků libovolných geometrických tvarů, vyrobených z feromagnetických, či neferomagnetických materiálů. Tato metoda zkoušení je obvykle zařazována až na konec výrobního postupu, ke kontrole povrchu výrobku po konečném tepelném zpracování. V některých případech se také využívá k ověření nepravých indikací vzniklých při magnetické práškové zkoušce (viz výše).

Před provedením zkoušky je nutné povrch výrobku mechanicky očistit, odmastit a vysušit. Čisticí látky, ani látky používané při samotné zkoušce, nesmí vyvolávat chemickou reakci se zkušebním materiálem, ani jej jakkoliv nepříznivě ovlivňovat (zejména z hlediska korozních účinků). Pro dosažení maximální citlivosti a směrodatnosti výsledků musí být hodnota drsnosti povrchu v intervalu Ra 3,2 až 6,3 μm a osvětlení prostor, ve kterých se provádí prohlížení povrchu po provedení zkoušky, musí být umělé rozptýlené či denní. [6]

Prostředky používané k provedení práškové magnetické zkoušky jsou:

Název prostředku	Použití
Penetrační látka: MR311 MR68 MR68F	Penetrace povrchu materiálu
Čistič: MR79 MR88	Čištění povrchu materiálu
Vývojka: MR70 MR701	Vyvíjení

Tabulka 9 - Magnetická zkouška (prostředky) [6]

f) **Kontrola 1. Kusu**

Provedením této zkoušky je ověřeno správné nastavení obráběcího stroje, či jiného výrobního zařízení. Ke kontrole se využívají základní měřicí zařízení. Zjištěné hodnoty se kontrolují s technickou dokumentací (naměřené hodnoty musí odpovídat požadovaným rozměrům, popřípadě musí ležet v tolerovaném rozmezí). [3]

• **Výstupní kontrola**

Výstupní kontrola zabezpečuje, aby veškeré zboží určené k expedici prošlo namátkovou kontrolou, při které se kontroluje:

- úplnost toho, co je určené k expedici
- označení expedovaných dílů, celků, atd.
- konzervace, uzátkování vstupních a výstupních otvorů médií
- správnost označení obalů
- uložení jednotlivých dílů v obalech
- nátěr (za který je zodpovědná externí firma, která je v případě žádosti schopna dodat protokol o nátěrech)

3.2. Všeobecné vyhodnocování zkoušek

Po provedení zkoušek, předepsaných v technické dokumentaci, zapíše pracovník technické kontroly zjištěná data a následně je vyhodnotí. Při vyhodnocování se řídí kótami, tolerancemi a všeobecnými informacemi uvedenými na výkrese a v technické dokumentaci. V případě zjištění vady je vypsán protokol o neshodě, pro případ kladného výsledku je vypsán protokol o shodě, který je stvrzen razítkem. To platí pro kontrolu konečného výrobku. Pro případ informativní kontroly prováděné obsluhou stroje (např. kontrola během výroby, přímo na obráběcím stroji) není nutné vypisovat žádný protokol.

Použitá terminologie vyplývá ze systému managementu kvality – základní principy a slovník ČSN ISO 9000 (Česká technická norma, 2006, s. 28):






- **shoda:** *splnění požadavku*
- **neshoda:** *nesplnění požadavku*
- **vada:** *nesplnění požadavku ve vztahu k zamýšlenému nebo specifikovanému použití*

3.3. Nejčastěji kontrolované rozměry

Jak již bylo zmíněno, hlavními výrobky, které jsou ve společnosti TS Plzeň a.s. vyráběny, jsou obrobky skříňovitého charakteru. Rozsah rozměrů je uveden níže:

- délka: 2000 až 5000 mm
- šířka: 800 až 2000 mm
- výška: 500 až 1500 mm

Pro zjištění nejčastěji kontrolovaných tolerancí, byl proveden průzkum výkresové dokumentace. Tento průzkum ukázal, že nejčastěji předepisovanými tolerancemi jsou:

GEOMETRICKÉ A ROZMĚROVÉ TOLERANCE		
Název tolerance	Symbol	Tolerance [mm]
Přímost	—	Ø0,6
Poloha		Ø0,3
Kolmost		0,05
Rovnoběžnost	//	0,1
Rovinnost		0,01
Souosost		±0,04
Délka		±0,2

Tabulka 10 - Nejčastěji předepisované tolerance

Takto předepisované tolerance a nejčastěji kontrolované rozměry budou rozhodující v dalších bodech této práce a bude na ně průběžně odkazováno.

Vysoké nároky na přesnost výroby jsou kladeny především na souosost děr, do kterých se ukládají ložiska, které jsou nasazeny na hřídeli. Jelikož tento rozměr není možné s dostatečnou přesností změřit klasickými měřidly, je společnost TS Plzeň a.s. nucena najímat externí firmu, která zajistí měření pomocí optického zařízení. Ostatní zmíněné tolerance a rozměry jsou zjišťovány přeměřováním vyrobených částí za použití běžných měřidel, popřípadě použitím tříosého obráběcího centra. Tato metoda měření je značně nevýhodná, jelikož stroj během kontroly nemůže provádět obráběcí operace, čímž dochází k nezanedbatelným ztrátám. Dalším faktem, proč je tento způsob měření značně nevhodný k provádění rozměrové kontroly, je ten, že většina výrobků je vyráběna právě na tomto stroji. Tím pádem dochází k opětovnému zanášení chyby do měření způsobené nepřesnostmi obráběcího stroje. V současné době tento fakt není až tak rozhodující a hodnoty naměřené při kontrole se pohybují v rozmezí tolerance, avšak v případě zadání požadavku na výrobu součásti s nižšími tolerancemi by mohly nastat komplikace. V současnosti se spoléhá na přesnost stroje udávanou výrobcem a praktické zkušenosti. Pro zaručení přesnější výroby by však bylo vhodné použít jiné měřicí zařízení, které by tuto chybu eliminovalo, a které by eventuálně zaručovalo měření s větší přesností.

4. Návrh na technické dovybavení rozměrové kontroly

Po provedení analýzy aktuálního stavu měřicí techniky ve společnosti TS Plzeň a.s. bylo zjištěno, že by bylo vhodné dovybavit pracoviště technické kontroly o měřicí zařízení, které by minimalizovalo chybovost měření a nahradilo měření přímo na obráběcích strojích - horizontkách. Volbou vhodného měřicího zařízení by bylo také možné usnadnit a urychlit proces měření. Převážná většina moderních zařízení je propojena s počítačovým softwarem a umožňuje tak naměřené hodnoty dále zpracovávat (výhodou je například možnost tisku záznamu o provedeném měření, takže by měl zákazník přehled o přesně naměřených hodnotách).

Limitujícím kritériem pro volbu vhodného měřicího zařízení je cena, na trhu se vyskytují zařízení, jejichž cena se pohybuje v řádech milionů, ale i několika stovek tisíc. Proto je velice důležité před zakoupením zhodnotit, jaké funkce je společnost TS Plzeň a.s. schopna využít, a jaká přesnost měření dosahovaná měřicím zařízením je dostačující. Například za použití optického měřicího zařízení (Laser Tracker) lze měřit nejen součásti nepravidelných tvarů (jako např. lopatky turbín), ale i výrobky nadměrných velikostí. Cena tohoto zařízení je nicméně značně vysoká. Naopak měřicí rameno je cenově dostupnější, ale je potřeba zvážit, zda nebude jeho konstrukce překážkou při měření ve špatně dostupných místech. Dalším rozhodujícím kritériem je mobilita zařízení. Jak již bylo zmíněno, některé kontroly jsou prováděny přímo na obráběcích stroji, bez možnosti odepnutí obráběné součásti. Podrobný popis navrhovaných měřicích systémů bude uveden v nadcházejících kapitolách s následným rozhodnutím o nejvhodnějším z nich. Lze předpokládat, že použitím pouze jednoho měřicího zařízení nebude možné zajistit kontrolu všech rozměrů a přesností a zároveň vyhovět požadavku týkajícího se cenové dostupnosti. Zvolené zařízení by však mělo splňovat co nejvíce požadavků kladených na jeho funkčnost. Pro lepší přehlednost je zde uveden výpis výhod a nevýhod měřicích systémů. Uvedené body se nemusí vztahovat ke každému zařízení, slouží pouze jako přehled hlavních bodů, které by měl zvolený systém splňovat.

- Výhody měřicích systémů:
 - odstranění prostojů NC centra v době kontrolování
 - odstranění opakující se chyby
 - možnost měřit souosost, rovinnost, atp.
 - tisk záznamu z provedeného měření
 - propojení naměřených dat s CAD modelem

- Nevýhody měřicích systémů:
 - finančně nákladné
 - kvalifikovanost obsluhy

4.1. Navrhovaná zařízení

Volba vhodného zařízení záleží na požadavcích, které jsou na systém kladeny. Z předešlého průzkumu vyplývá, že určujícími parametry pro volbu vhodného zařízení jsou:

- mobilita zařízení
- rozsah měření
- přesnost měření
- cena

Na trhu s měřicí technikou se vyskytuje velké množství systémů, ze kterých si zákazník může vybrat. Výrobci kladou důraz především na zvyšování dosahovaných přesností měření, snižování nároků na obsluhu a zároveň na snižování ceny zařízení. Zákazník si může vybrat z několika výrobců, někteří výrobci se zabývají výrobou pouze jednoho typu měřicího zařízení, jiní zase nabízejí větší výběr. Výběr z několika velikostí jednotlivých zařízení je samozřejmostí, někteří výrobci však nabízejí i modifikovaná zařízení jako např.: měřicí rameno s integrovaným nebo externím skenerem, provoz zařízení na baterie po dobu několika hodin, výběr mezi kamerovým systémem s jednou, nebo dvěma snímacími kamerami a další.

V následujících kapitolách budou popsána navrhovaná zařízení, která by měla splňovat uváděné požadavky. Dále budou u každého zařízení uvedeny některé praktické zkušenosti, které byly získány od pracovníků jiných společností, kteří tyto systémy obsluhují. Těmto informacím nebude přikládána žádná vypovídající hodnota, jelikož jde o subjektivní názor daného pracovníka, avšak při samotné koupi zařízení by měly být brány v potaz. Při volbě vhodného zařízení budou brány jako rozhodující informace fakta udávaná výrobcem.

Při určování nejvhodnějšího zařízení je rozhodující také pořizovací cena, není ale snadné určit celkovou cenu zařízení, jelikož ji velmi výrazně ovlivňují další aspekty. Celková investice záleží nejen na samotném měřicím zařízení, ale výrazně se odvíjí od použitého operačního softwaru, který může ve výsledku vytvořit až 30% celkové částky. Lze například zakoupit měřicí systém, který nebude umožňovat práci s CAD modely, ale oproti systému, který tuto funkci umožní, bude levnější až o 7 tis. EUR. Od použitého softwaru se také odvíjí délka školení v určitém časovém rozsahu, které dodavatelé nabízí. Dále záleží na tom, jestli má zákazník zájem o zakoupení dalšího příslušenství, jako je například stativ (pro měřicí rameno), který umožňuje upnutí ramene v případě, že to rozměry a tvar součásti nedovolují. Nelze tedy v tomto stádiu řešení určit celkovou cenu investice. Aby ale bylo i tak možné zhodnotit finanční nákladnost jednotlivých zařízení, budou uváděné ceny zahrnovat pouze měřicí zařízení (hardware), bez uvažování operačního softwaru a dalších nezbytných položek.

Ceny zařízení jsou aktuální k 15.5.2016. Ceny byly zjišťovány od dodavatelů dodávajících tato zařízení na český trh. U některých zařízení nebylo možné zjistit přesnou cenu, proto je cena uvedena pouze v rozmezí, v jakém se celková cena i se zahrnutím softwaru a ostatních položek může pohybovat. V podmínkách TS Plzeň a.s. budeme rozhodovat mezi následujícími variantami technického dovybavení rozměrové kontroly:

- dvoukamerový přenosný souřadnicový měřicí systém
- měřicí rameno
- Laser Tracker systémy

4.1.1. Dvoukamerový přenosný souřadnicový měřicí systém

- **Popis zařízení a technické specifikace**

Jedním z výrobců těchto zařízení je společnost Metronor. Tento systém nabízí rychlé a přesné měření s vysokým rozsahem. Zařízení pracuje na principu snímání polohy optického pera, které obsluha přikládá na požadovaná místa na měřeném objektu. Systém dvou kamer (DUO) umístěných před objektem snímá optické pero a vyhodnocováním vzdálenosti záměrných bodů umístěných na optickém peru určuje naměřené hodnoty. Měřicí rozsah uváděný dodavatelem je 1,5 m až 10 m, z čehož vyplývá, že toto zařízení je vhodné ke kontrole součástí středních a větších rozměrů. Použití světelného pera umožňuje systému měřit rozměry děr, drážek, hran i povrchů, provádět kontrolu rozměrů, tolerancí a zároveň je schopný průběžně porovnávat naměřené hodnoty s výkresem vytvořeným pomocí CAD softwaru. Dále umožňuje analýzu deformací, nebo se dá použít jako mon-

tázní nástroj pro lícování velkých součástí. S tímto systémem lze měřit podle potřeb, je-li zapotřebí rychlé kontroly bez delšího nastavování zařízení, lze měřit pouze s jednou snímací kamerou (SOLO). Přesnost měření však klesá a pro finální kontrolu obrobku se doporučuje použití systému DUO. Přesnost měření dále závisí na vzdálenosti optického pera od digitálních kamer, se zvětšující se vzdáleností klesá přesnost řádově o jednu setinu milimetru (přesnější informace jsou popsány v tabulce níže). [8]

Výrobce tohoto zařízení umožňuje rozšíření o další funkce, díky kterým nabízí obsluže další možnosti. Těmito funkcemi jsou:

- **CAD Aplikace**
Sada obsahuje software pro analýzu měřené součásti v CAD prostředí. Součástí jsou i nástroje pro navržení optimálních přídavek materiálu nebo pro ustavení polotovaru na obráběcí stroji či kontrolu tolerancí rozměrů.
- **LED Aplikace**
Schopnost měření mnoha bodů najednou umožňuje LED aplikaci funkce jako je kontrola vibrací, měření v pohybu, opakované kontroly, mnohabodovou analýzu deformace a sesazení a montáž součástí.
- **DUET aplikace**
Sada aplikací DUEAT umožňuje použití snímacích kamer, buď jako dva systémy SOLO, nebo jako jeden DUO systém.
- **Gemini aplikace**
Použitím dalšího světelného přípravku se kamery automaticky seřídí bez nutnosti zásahu operátora.

TECHNICKÉ INFORMACE			
Rozsah měření	1 - 10 m		
Přesnost	Rozlišení	0,001 mm	
	Délková tolerance	± 0,020 mm	* 2,5 m
		± 0,030 mm	* 6 m
		± 0,060 mm	* 10 m
Hmotnost	Systému	17 kg	
	Přepravní	30 kg	
Teplota	Provozní	+ 10 °C až + 45 °C	
	Skladovací	- 25 °C až + 65 °C	
KAMERA			
- digitální CCD kamera			
- fixní clona a zaostření			
	Zorné pole	32° x 38°	
	Rozlišení	640 x 512	
	Hmotnost	800 g	

SVĚTELNÉ PERO	
Typ	Bezdrátové ruční
Materiál nástavce	Uhlíkový kompozit
Hmotnost	520 g
ZDROJ	
Automaticky přepínaný; 100 - 240 V, 50 - 60 Hz	

Tabulka 11 - METRONOR - technické informace [8]

Pozn.: Informace se symbolem * u délkových tolerancí znamená vzdálenost optického pera od kamer.



Obrázek 1 - METRONOR Duo Systém [9]

- **Cena zařízení**

Přesnou cenu lze určit až po udání přesných specifikací zákazníka, řádově se ale pohybuje v rozmezí 80 až 200 tisíc EUR.

- **Praktické zkušenosti**

Společnost, kde byly praktické zkušenosti získány: ŠKODA JS a.s.

Při používání na nevhodném místě, kdy dopadají sluneční paprsky přímo do optiky snímací kamery, může dojít k nemožnosti navázání kontaktu kamery se světelným perem, což má za následek nezměření požadovaného rozměru. Vliv teploty prostředí, ve kterém je měření prováděno, má také významný vliv na přesnost měření. Například při horkých letních dnech se tento jev může stát podstatným problémem

ovlivňujícím výsledky měření. Dále má vliv na přesnost měření vzdálenost světelného pera od snímacích kamer, se zvětšující vzdáleností se přesnost rapidně snižuje.

4.1.2. Měřicí rameno

- **Popis zařízení**

Měřicí ramena jsou mobilní měřicí stroje umožňující rychlé měření a kontrolu rozměrů. Na trhu s měřicí technikou je několik výrobců těchto zařízení. Funkce jednotlivých systémů od různých výrobců se příliš neliší. V základním provedení se jedná o rameno s kuličkovým dotykem, který pracovník přiloží na povrch měřeného objektu a potvrzením pomocí tlačítka dá signál operačnímu softwaru, aby zaznamenal naměřenou hodnotu. Není zapotřebí vyvinutí nadměrné síly na přitlačení doteku k měřené součásti, naopak při použití větší síly může docházet ke zkreslování výsledků měření (především v případě použití prodloužené sondy). Charakteristickým rozměrem měřicího ramene je jeho rozsah měření (celková délka ramene). Měřit lze kolem celé osy ramene, tudíž při použití ramene o délce 3,7 m lze měřit při správném upnutí součásti o celkové délce až 7,4 m. V případě, že i tak rozsah ramene není dostačující a je zapotřebí měřit součásti větších rozměrů, lze využít metodu tzv. přískoku, kdy se nejdříve změří 3 body od místa, kam rameno dosáhne z aktuální polohy. Tyto 3 body se označí a v operačním softwaru se určí jako nulové, následně má pracovník možnost přesunout rameno a upnout ho na jiném místě, pouze musí zajistit, aby dosáhlo na předešlé 3 nulové body, které opět přeměří, a tím zajistí propojení obou měřicích rovin. Tento způsob vnáší do měření chybu, která může být až v řádech desetin milimetru, avšak umožňuje teoreticky neomezený rozsah měření. Problém při měření může nastat v případě, kdy obsluha chce změřit obtížně přístupná místa. Klouby měřicího ramene jsou konstruovány tak, aby byl umožněn pohyb ve všech směrech, pevná konstrukce ale může způsobovat problémy například při měření vnitřních rozměrů hlubších děr o malém průměru. Tento problém však do jisté míry řeší prodloužené sondy, které mají výrobci ve své nabídce.



Obrázek 2 - Měřicí rameno FARO Arm Prime [10]

- **Praktické zkušenosti**

Společnost, kde byly praktické zkušenosti získány: ŠKODA JS a.s.

Měřicí rameno je snadno ovladatelné a bez vysokých nároků na obsluhu. Práce se zaznamenanými hodnotami měření je intuitivní – některé softwary jsou přeloženy také do českého jazyka. Tepelně téměř neovlivnitelný rám zajišťuje přesné měření i za zvýšených teplot. Nevýhodou je, že bez použití přídavného zařízení není možné bezpečně upnout měřicí rameno do horizontální polohy (na stěnu součásti, která je kolmá s podlahou).

Měřicí ramena FARO

Společnost FARO patří mezi nejznámější výrobce měřicích ramen. Ve své nabídce má tři řady, které v kombinaci s příslušným softwarem umožňují rychlé měření pomocí CAD dat. Samozřejmostí je také možnost měření v případě, kdy počítačový model není k dispozici. Všechna nabízená měřicí ramena je možné propojit s počítačem pomocí USB konektoru a v případě potřeby bezdrátového propojení lze použít rozhraní Bluetooth (u řady Edge je k dispozici také WiFi rozhraní). Měřicí ramena společnosti FARO disponují nízkou hmotností a baterií, která umožňuje provoz po dobu 8 hodin. Upnutí ramene je zajištěno základnou, kterou lze doplnit přídavnými zařízeními, jako je magnet, vakuová přísavka, nebo trojnožka pro zajištění bezpečného upnutí i v horizontální poloze. Rameno je dále vybaveno vnitřním vyvažováním a senzory přetížení, které v maximální možné míře zamezují vzniku chyb. [10]

a) FARO Arm Edge

Měřicí ramena řady Edge jsou vyráběna v sedmikloubovém provedení s odnímatelnou pistolovou rukojetí. Vyráběna jsou s pracovními rozsahy 1,8 m; 2,7 m a 3,7 m. Přesnost měření se snižuje se zvětšujícím se měřicím rozsahem. Tato řada měřicích ramen je dále vybavena dotykovým LCD displejem, který umožňuje provádět měření i bez nutnosti propojení s počítačem. V případě potřeby je možné měřicí rameno dovybavit laserovým liniovým skenerem FARO Laser Line Probe V4, který umožňuje bezkontaktní měření. Tato metoda měření je vhodná především ke kontrole výrobků nepravidelných tvarů. [10]

TECHNICKÉ INFORMACE				
Měřicí rozsah	Opakovatelnost	Přesnost	Hmotnost	Cena
Počet os	7	7	7	
1,8 m	0,024 mm	± 0,034 mm	10,7 kg	44 990 EUR
2,7 m	0,029 mm	± 0,041 mm	10,9 kg	47 990 EUR
3,7 m	0,064 mm	± 0,091 mm	11,3 kg	54 990 EUR
SPECIFIKACE HARDWARU				
Pracovní teplota	+ 10 °C až +40 °C			
Kolísání teploty	3 °C za 5 min.			
Vlhkost	0 - 95% nekondenzující			
ZDROJ				
Univerzální; 85 - 245 V AC; 50/60 Hz				

Tabulka 12 - FARO Arm Edge - technické informace [10]

Pozn.: Test opakovatelnosti bodu je referenční test pro určení opakovatelnosti měření ramene pomocí kuličkové sondy. Kužel se nachází v přední části stroje. Body jsou měřeny z více přístupových směrů. Vypočtena je průměrná poloha bodu a odchylka každého bodu od průměrného středu. Výsledek je maximální rozsah dělený dvěma.

b) FARO Arm Fusion

Měřicí ramena řady Fusion jsou stejně jako ramena řady Edge vyráběna v několika velikostech. Tato řada je pro zákazníka finančně dostupnější, jelikož rameno není vybaveno vlastním LCD displejem a zařízením, které by umožňovalo měření bez propojení s počítačem. Stejně jako ostatní modely má ale i řada Fusion možnost propojení počítače s měřicím ramenem pomocí Bluetooth rozhraní pro případ, že by bylo vyžadováno bezdrátové propojení. [10]

TECHNICKÉ INFORMACE								
Měřicí rozsah	Opakovatelnost		Délková přesnost		Hmotnost		Cena	
Počet os	6	7	6	7	6	7	6	7
1,8 m	0,036 mm	0,046 mm	± 0,051 mm	± 0,064 mm	9,3 kg	9,5 kg	30 990 EUR	33 990 EUR
2,4 m	0,043 mm	0,051 mm	± 0,061 mm	± 0,071 mm	9,5 kg	9,75 kg	33 990 EUR	36 990 EUR
3,0 m	0,074 mm	0,089 mm	± 0,104 mm	± 0,124 mm	9,75 kg	9,98 kg	36 990 EUR	40 990 EUR
3,7 m	0,104 mm	0,124 mm	± 0,147 mm	± 0,175 mm	9,98 kg	10,21 kg	41 990 EUR	45 990 EUR
SPECIFIKACE HARDWARU								
Pracovní teplota	+ 10 °C až +40 °C							
Kolísání teploty	3 °C za 5 min.							
Vlhkost	0 - 95% nekondenzující							
ZDROJ								
Univerzální; 85 - 245 V AC; 50/60 Hz								

Tabulka 13 - FARO Arm Fusion - technické informace [10]

c) FARO Arm Prime

Měřicí ramena řady Prime jsou vyráběna pouze v konfiguraci pro dotekové měření, není možné je tedy osadit dodatečným laserovým liniovým skenerem. [10]

TECHNICKÉ INFORMACE				
Měřicí rozsah	Opakovatelnost	Délková přesnost	Hmotnost	Cena
Počet os	6	6	6	
1,2 m	0,016 mm	± 0,023 mm	9,1 kg	31 990 EUR
1,8 m	0,019 mm	± 0,027 mm	9,3 kg	34 990 EUR
2,4 m	0,024 mm	± 0,034 mm	9,5 kg	37 990 EUR
3,0 m	0,042 mm	± 0,059 mm	9,75 kg	44 990 EUR

3,7 m	0,060 mm	± 0,085 mm	9,98 kg	51 990 EUR
SPECIFIKACE HARDWARU				
Pracovní teplota	+ 10 °C až +40 °C			
Kolísání teploty	3 °C za 5 min.			
Vlhkost	0 - 95% nekondenzující			
ZDROJ				
Univerzální; 85 - 245 V AC; 50/60 Hz				

Tabulka 14 - FARO Arm Prime - technické informace [10]

Měřicí ramena ROMER

Společnost ROMER patří k předním výrobcům měřicích ramen. Nabízí ramena několika typů, která se dále dělí na jednotlivé modely. Modely se od sebe liší především celkovou délkou ramen a dosahovanými přesnostmi měření. Software, se kterým ramena ROMER pracují, zahrnuje technologii SMART, která umožňuje kompletní správu kontrol přímo v místě měření a také monitorování teploty a otřesů. Dále ramena ROMER uživateli nabízí funkci automatického rozpoznání měřicí sondy, kdy pracovník může kdykoliv vyměnit dotykovou sondu bez nutnosti další kalibrace. Měřicí ramena lze libovolně dovybavit například funkcí pro bezdrátovou komunikaci, bezdrátové skenování a provoz na baterie. [11]

- **ROMER Absolute Arm**

Měřicí ramena řady ROMER Absolute Arm se šesti osami jsou navržena k dotykovému měření. V případě potřeby, je možné tato ramena osadit laserovým skenovacím zařízením.

TECHNICKÉ INFORMACE						
ŘADA 73						
Model	Počet os	Rozsah měření	Opakovatelnost	Délková přesnost	Hmotnost	Cena
7320	6	2,0 m	0,030 mm	± 0,042 mm	7,4 kg	32 900 EUR
7325	6	2,5 m	0,038 mm	± 0,051 mm	7,7 kg	35 200 EUR
7330	6	3,0 m	0,059 mm	± 0,075 mm	8,0 kg	39 500 EUR
7335	6	3,5 m	0,079 mm	± 0,100 mm	8,3 kg	43 900 EUR
7340	6	4,0 m	0,099 mm	± 0,125 mm	8,6 kg	45 900 EUR
7345	6	4,5 m	0,120 mm	± 0,150 mm	8,9 kg	49 200 EUR
ŘADA 75						
Model	Počet os	Rozsah měření	Opakovatelnost	Délková přesnost	Hmotnost	Cena
7520	6	2,0 m	0,016 mm	± 0,023 mm	7,7 kg	34 200 EUR
7525	6	2,5 m	0,020 mm	± 0,029 mm	8,0 kg	36 900 EUR
7530	6	3,0 m	0,030 mm	± 0,044 mm	8,3 kg	40 800 EUR
7535	6	3,5 m	0,040 mm	± 0,057 mm	8,6 kg	45 900 EUR
7540	6	4,0 m	0,055 mm	± 0,069 mm	8,9 kg	49 800 EUR
7545	6	4,5 m	0,070 mm	± 0,082 mm	9,2 kg	54 300 EUR

Tabulka 15 - ROMER Absolute Arm - technické informace [11]

4.1.3. Laser Tracker systémy

- **Popis zařízení a technické specifikace**

Laserové měřicí systémy jsou díky dosahovaným přesnostem měření, spolehlivosti a odolnosti na vrcholu mezi mobilními měřicími zařízeními. Tyto systémy umožňují měření na velmi velké vzdálenosti bez nutnosti připojení k elektrické síti a díky akumulátorům vydrží zařízení pracovat po dobu několika hodin. Zařízení jsou schopna pracovat v nejnáročnějších dílenských podmínkách, jsou odolná vůči spádu prachu, zkrápění chladicí kapalinou i vůči rozstříku způsobeného svařováním. Rozsah měření Laser Trackerů je omezen konstrukcí, obvykle jsou ale tato zařízení schopna měřit v rozsahu 360° ve vodorovné rovině a 290° ve svislé rovině. V kombinaci s obloukovým dosahem 320 metrů se řadí mezi nejvýkonnější měřicí systémy.

Mezi nejznámější výrobce těchto zařízení patří společnost Leica, která nabízí několik typů Laser Trackerů. Pro lepší představu, jaké funkce tyto zařízení nabízejí, jsou v následující tabulce uvedeny technické informace pro jeden vybraný typ. Tato kapitola je pouze informativního charakteru, jelikož velmi vysoká pořizovací cena vylučuje Laser Tracker systémy z možných kandidátů. Pro lepší představu, jaké funkce tyto systémy nabízejí, jsou v následující tabulce uvedeny technické informace k jednomu vybranému modelu. [12]

- Technické informace pro model: **Leica Absolute Tracker AT402:**

TECHNICKÉ INFORMACE	
Výkon dle vzdálenosti	
Rozlišení	0,007" (úhlová vteřina)
Přesnost	± 15 μm + 6 μm/m
Opakovatelnost	± 7,5 μm + 3 μm/m
Dosah	
Neomezená vodorovná rotace	± 360°
Neomezená svislá rotace	± 145°
Typický pracovní dosah	320 m
Specifikace prostředí	
Prach / voda: krytí IP54 (IEC 60529)	
Provozní teplota	0 °C až + 40 °C
Relativní vlhkost max.	95% (nekondenzující)
Rozměry	
Velikost přístroje	290 x 221 x 188 mm
Hmotnost přístroje	7,3 kg
Velikost řídicí jednotky	250 x 112 x 63 mm
Hmotnost řídicí jednotky	0,8 kg

Tabulka 16 - Leica Absolute Tracker - technické informace [12]



Obrázek 3 - Leica AT402 [13]

- **Cena zařízení**

Přesnou cenu lze určit až po udání přesných specifikací zákazníka, řádově se ale pohybuje v rozmezí 100 až 200 tisíc EUR.

- **Praktické zkušenosti**

Společnost, kde byly praktické zkušenosti získány: Doosan Škoda Power.

Velice přesné měřicí zařízení určené k měření jakkoliv tvarovaných součástí bez vysokých nároků na obsluhu. Odolné vůči vnějším vlivům i pádu zařízení. Práce s počítačovým softwarem je intuitivní a nabízí mnoho možností, jako například vytvoření modelu z naměřených hodnot a zjištění naměřených hodnot v jakémkoliv bodě, na součásti, která byla naskenována.

4.2. Výběr vhodného zařízení

Rozhodovací metoda

Z uvedených zařízení bude pomocí rozhodovací metody vybrána možnost, která bude nejlépe vyhovovat zadaným podmínkám. Pro vyhodnocení nejvhodnějšího měřicího zařízení byla vybrána bodová metoda, která bere v úvahu důležitost jednotlivých kritérií. Použití metody váženého pořadí se řídí několika kroky:

1. Krok: Určení rozhodujících kritérií.
2. Krok: Přiřazení vah (důležitosti) jednotlivým kritériím.
3. Krok: Určení variant.
4. Krok: Určení intervalů hodnot pro jednotlivá kritéria.

5. Krok: Převedení hodnot kritérií na body podle intervalů.
6. Krok: Výpočet hodnot variant.
7. Krok: Stanovení pořadí variant.

1. **Krok: Určení rozhodujících kritérií:**

Kritéria, podle kterých budou měřicí zařízení hodnocena, jsou:

Kritérium	Zkratka	Váha
Rozsah měření	K1	0,45
Cena zařízení	K2	0,2
Délková přesnost	K3	0,25
Opakovatelnost měření	K4	0,075
Hmotnost zařízení	K5	0,025
Celkem		1

Tabulka 17 - Kritéria

2. **Krok: Přiřazení vah:**

Přiřazení vah znázorňuje důležitost určitého kritéria, hodnotitel zadává váhy podle vlastního uvážení – čím vyšší váha, tím je dané kritérium v rozhodování důležitější. Podmínka je pouze ta, že v součtu musí váhy nabývat hodnoty 1. Přiřazené váhy jsou uvedeny v tabulce výše.

3. **Krok: Určení variant:**

Variantami řešení jsou myšleny všechna měřicí zařízení, která jsou zahrnuta do rozhodování. Pro lepší přehlednost v rozhodovací tabulce jsou jednotlivým zařízením přiřazeny zkratky. S ohledem na nejčastěji kontrolované rozměry (viz kapitola 2.5.), byla z výběru vyřazena zařízení, která mají rozsah měření menší než 2,4 m. Dále byla vyřazena zařízení, která mají délkovou přesnost měření v toleranci nad 0,1 mm (včetně), jelikož nejčastěji předepisovanou délkovou tolerancí je hodnota $\pm 0,2$ mm, tudíž by stroj musel vyrábět s přesností v toleranci $\pm 0,1$ mm, což je při některých obráběcích, nebo svařovacích operacích velmi obtížné. Variantami, ze kterých bude vybíráno, jsou:

Název zařízení	Maximální rozsah měření	Zkratka
METRONOR	1,5 m až 10 m	V1
FARO Arm Edge	2,7 m	V2
	3,7 m	V3
FARO Arm Fusion (6 os)	2,4 m	V4
FARO Arm Fusion (7 os)	2,4 m	V5
FARO Arm Prime	2,4 m	V6
	3,0 m	V7
	3,7 m	V8
ROMER Absolute Arm (řada 73)	2,5 m	V9
	3,0 m	V10

ROMER Absolute Arm (řada 75)	2,5 m	V11
	3,0 m	V12
	3,5 m	V13
	4,0 m	V14
	4,5 m	V15

Tabulka 18 - Varianty

4. Krok: Určení intervalů hodnot pro jednotlivá kritéria:

Jednotlivé intervaly jsou ohodnoceny body, které znázorňují vhodnost měřícího zařízení. Např. měřící zařízení s maximálním rozsahem 4,5 m bude ohodnoceno více body než zařízení s rozsahem 2,5 m, naopak zařízení s vyšší pořizovací cenou bude ohodnoceno méně body, než zařízení s nižší pořizovací cenou.

Počet bodů	Kritéria				
	K1 [m]	K2 [EUR]	K3 [mm]	K4 [mm]	K5 [kg]
1	2,3 až 2,8	52 000 až 57 999	0,084 až 0,099	0,119 až 0,144	15,5 až 17,4
2	2,9 až 3,3	46 000 až 51 999	0,068 až 0,083	0,093 až 0,118	13,5 až 15,4
3	3,4 až 3,8	40 000 až 45 999	0,052 až 0,067	0,067 až 0,092	11,5 až 13,4
4	3,9 až 4,3	34 000 až 39 999	0,036 až 0,051	0,041 až 0,066	9,5 až 11,4
5	4,4 až 4,8	28 000 až 33 999	0,02 až 0,035	0,015 až 0,040	7,5 až 9,4

Tabulka 19 - Určení intervalů

5. Krok: Převedení hodnot kritérií na body podle intervalů:

Převedení na body je provedeno volbou intervalu hodnot, ve kterém se hodnota kontrolované varianty nachází (např. měřící rameno FARO Arm Edge s měřícím rozsahem 2,7 m leží v intervalu hodnot 2,3 m až 2,8 m; kritérium K1 má tedy počet bodů: 1). Problém nastává při určování bodové hodnoty pro variantu V1. Systém METRONOR má měřící rozsah 1,5 m až 10 m, z čehož vyplývá, že není vhodný ke kontrole dílů menších rozměrů. V kapitole 3.3. je uvedeno, že nejčastěji kontrolované rozměry se pohybují v rozmezí 500 mm až 5000 mm, z tohoto důvodu byla variantě V1 pro kritérium K1 přiřazena bodová hodnota 1. Z důvodu, že nebylo možné zjistit přesnou cenu tohoto zařízení, byla kritériu K2 přiřazena bodová hodnota 1, jelikož i při nejnižší možné ceně zařízení, je cena 80 000 EUR.

6. Krok: Výpočet hodnot variant:

Hodnota varianty vychází ze součtu bodových hodnocení jednotlivých kritérií vynásobených jejich vahami, tzn.: $Hodnota = \sum_{r=1}^s p_r * b_{tr}$ pro $r = 1, 2, \dots s$.

kde: p_r ... váha důležitosti kritéria
 b_{tr} ... počet bodů přiřazené dané variantě
 s ... počet kritérií

7. Krok: Stanovení pořadí variant:

Pořadí variant je určeno podle jejich hodnot. Varianta s největší výslednou hodnotou je nejvhodnějším řešením při zadaných podmínkách.

Výsledné rozhodnutí

Varianta	Kritérium					Hodnota	Pořadí
	K1	K2	K3	K4	K5		
V1	1	1	5	4	1	2,225	14
V2	1	2	4	5	4	2,325	13
V3	3	1	4	5	4	3,025	4
V4	1	5	3	4	4	2,6	11
V5	1	4	2	4	4	2,15	15
V6	1	4	5	5	4	2,975	7
V7	2	3	3	4	4	2,65	9
V8	3	3	1	4	4	2,6	12
V9	1	4	4	5	5	2,75	8
V10	2	4	2	4	5	2,625	10
V11	1	4	5	5	5	3	5
V12	2	3	4	5	5	3	6
V13	3	3	3	5	5	3,2	2
V14	4	2	2	4	5	3,125	3
V15	5	1	2	3	5	3,3	1
Váha	0,45	0,2	0,25	0,075	0,025		

Tabulka 20 - Rozhodovací tabulka

Z rozhodovací tabulky vyplývá, že nejvhodnější variantou pro zadané hodnoty je měřicí přístroj ROMER Absolute Arm, model 7545.

Model	Počet os	Rozsah měření	Opakovatelnost	Délková přesnost	Hmotnost	Cena
7545	6	4,5 m	0,070 mm	± 0,082 mm	9,2 kg	54 300 EUR

Tabulka 21 - ROMER AR7545

Z důvodu omezené délky tohoto ramene není možné zajistit stoprocentní pokrytí všech rozměrů, které jsou ve společnosti TS Plzeň a.s. kontrolovány. V případě, že by bylo nutné měřit rozměr větší než je rozsah ramene, by bylo možné použít metodu „přískoku“, avšak do měření by byla zanášena jistá chyba (jak je uvedeno výše). I přes tento fakt je toto měřicí rameno nejvhodnější variantou řešení. Při použití například Laser Trackeru Leica by bylo možné pokrýt všechny kontrolované rozměry, avšak pořizovací cena tohoto zařízení je řádově dvakrát, až třikrát větší. Ke kontrole nadměrných rozměrů je výhodnější najmutí externí společnosti, která toto měření zajistí, návratnost investice při zakoupení Laser Trackeru by byla totiž ve velmi dlouhém horizontu.

Jak již bylo uvedeno výše, celková cena zařízení se odvíjí také od použitého softwaru a dodatečných položek, které jsou k provozu měřicího zařízení nezbytné. Pro lepší představu je zde uveden příklad, jak by mohla vypadat finální konfigurace celého měřicího systému. Jako jeden z možných dodatečných prostředků k používání měřicího ramene je uveden přenosný stativ. Na který lze upnout rameno v případě, že rozměry či tvar součásti nedovolují upnutí přímo k jejímu povrchu.

Měřicí rameno:	ROMER Absolute Arm 7545
Standardní výbava:	<ul style="list-style-type: none">- vyvažovací systém Zero - G se zámkem- otočné úchopy- sada 3 dotykových sond- protiprachový kryt- kamera/osvětlení pracovního prostoru- transportní kufr- 3 standardní pevné sondy TESA- Feature Pack: Mobility Pack - pro WiFi připojení ramene a notebooku, včetně akumul. Baterie- kalibrační koule- délkový normál- magnetická základna- magnetická základna- notebook- měřicí software PC-DMIS CAD ++ MAN- dokumentace
Služby poskytované s dodávkou zařízení:	<ul style="list-style-type: none">- instalace a převzímka zákazníkem- školení obsluhy a zejména měřicího software (3 dny u zákazníka)- balení, doprava a pojištění během dopravy
Dodatečné položky:	<ul style="list-style-type: none">- lehký přenosný stativ pro upnutí měřicího ramene
CELKEM CENA:	66 400,- EUR (bez DPH)

Tabulka 22 - Finální konfigurace



Obrázek 4 - ROMER AR 7545 se sondami [14]



Obrázek 5 - Přenosný stativ (TRIPOD) [14]

5. Závěr

V této bakalářské práci bylo cílem navrhnout měřicí zařízení, které by nejlépe splňovalo zadané požadavky. V první části práce bylo uvedeno seznámení se společností TS Plzeň a.s. s následným průzkumem výrobního programu za účelem zjištění nejčastěji kontrolovaných rozměrů a tolerancí, které byly brány jako referenční pro další řešení. Podle zadaných kritérií bylo vybráno několik měřicích zařízení, která nejlépe vystihovala požadavky na rozsah a přesnost měření. Následně bylo z těchto kandidátů vybráno jedno měřicí zařízení, které se na základě použité rozhodovací metody jevílo jako nejlepší řešení. Toto zařízení není schopno obsáhnout celé spektrum zadaných kritérií, ale s ohledem na finanční možnosti společnosti TS Plzeň a.s. a nejčastěji kontrolované rozměry je schopné zajistit rozměrovou kontrolu u 90% celkového výrobního programu společnosti. I když se zvolené měřicí zařízení jeví jako nejlepší možnost, před samotným zakoupením je nutné podstoupit zákaznickou ukázkou, kde se v praxi zjišťuje, zda opravdu zvolený měřicí systém vyhovuje při provádění typických kontrol. Pokud je zařízení vyhovující, upřesňuje se při této ukázce i konkrétní vybavení a teprve poté se dělá finální nabídka, která přesně odráží požadavky zákazníka.

Seznam použité literatury a citace

- [1] *TS Plzeň a.s.* [online]. TS Plzeň a.s. [cit. 2016 – 5 – 19] Dostupné z: <http://www.tsplzen.cz>
- [2] BYSTRICKÝ, M. *Kontrola a zkoušení*. Plzeň: TS Plzeň a.s., 2009. Řízení kvality – Technická kontrola, P 8.1
- [3] BYSTRICKÝ, M. *Mezioperační kontrola*. Plzeň: TS Plzeň a.s., 2015. Řízení kvality – Technická kontrola, PP 10/03
- [4] KULE, J. *Metrologický řád*. Plzeň: TS Plzeň a.s., 2013. Řízení kvality – Metrologie, P 7.6
- [5] BYSTRICKÝ, M. *Soubor kontrolních a zkušebních operací*. TS Plzeň a.s., 2015. Řízení kvality – Technická kontrola, PP 10/01
- [6] SEDLÁČEK, F. *Nedestruktivní zkoušení a kvalifikace personálu*. TS Plzeň a.s., 2014. Řízení kvality – Technická kontrola, PP 10/07
- [7] BYSTRICKÝ, M. *Výstupní kontrola*. TS Plzeň a.s., 2015. Řízení kvality – Technická kontrola, PP 10/06
- [8] *Přenosný kamerový systém Metronor* [online]. DEOM [cit. 2016 – 5 – 19] Dostupné z: <http://www.deom.cz/prenosny-system-metronor>
- [9] *Portable coordinate measuring machine / camera – based / workshop* [online]. Direct Industry [cit. 2016 – 5 – 19] Dostupné z: <http://www.directindustry.com/prod/metronor-as/product-53020-1330493.html>
- [10] *Měřicí ramena FARO* [online]. PRIMA BILAVČÍK s.r.o. [cit. 2016 – 5 – 19] Dostupné z: <http://www.merici-pristroje.cz/merici-ramena-faro/>
- [11] *Přenosná měřicí ramena* [online]. HEXAGON MANUFACTURING INTELLIGENCE [cit. 2016 – 5 – 19] Dostupné z: http://www.hexagonmetrology.cz/penosna-mici-ramena_111.htm#.VzOSUvmLSUk
- [12] *Laser Tracker systémy* [online]. HEXAGON MANUFACTURING INTELLIGENCE [cit. 2016 – 5 – 19] Dostupné z: http://www.hexagonmetrology.cz/Laser-Tracker-systemy_108.htm#.Vz0TmfmlSUk
- [13] *Leica AT402* [online]. NONCONTACT MEASURING SYSTEMS [cit. 2016 – 5 – 19] Dostupné z: <http://www.cz.nms-int.com/produkty/leica-at402/>
- [14] *ROMER ABSOLUTE ARM PRODUCT CATALOGUE* [online]. HEXAGON METROLOGY [cit. 2016 – 5 – 19] Dostupné z: http://apps.hexagon.se/downloads123/hxrom/romer/general/brochures/ROMER_product_catalogue_en.pdf