

ŠKODA AUTO VYSOKÁ ŠKOLA o.p.s.

Studijní program: B6208 Ekonomika a management

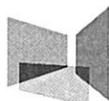
Studijní obor/specializace: 6208R186 Podniková ekonomika a řízení provozu, logistiky a kvality

OPTIMALIZACE MĚŘICÍCH ZAŘÍZENÍ PŘI STAVBĚ PROTOTYPŮ VE ŠKODA AUTO a.s.

Bakalářská práce

Daniel SVOBODA

Vedoucí práce: Ing. et Ing. Martin Folta, Ph.D., EUR ING



ŠKODA AUTO Vysoká škola

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Zpracovatel: **Daniel Svoboda**

Studijní program: **Ekonomika a management**

Obor: **Podniková ekonomika a řízení provozu, logistiky a kvality**

Název tématu: **Optimalizace měřicích zařízení při stavbě prototypů ve ŠKODA AUTO a.s.**

Cíl: Cílem bakalářské práce je charakterizovat teoretické poznatky z oblasti metrologie a popsat současné metody měření rozměrů při stavbě prototypových vozů ve ŠKODA AUTO a.s., analyzovat vhodnost využití jednotlivých a v současnosti používaných měřicích zařízení z pohledu předem definovaných kritérií a následně navrhnout optimální způsob měření rozměrů.

Rámcový obsah:

1. Metrologie – definice, postupy, metody, členění.
2. Popis metod měření rozměrů ve svařovně technologického vývoje při stavbě prototypů ve ŠKODA AUTO a.s.
3. Analýza vhodnosti využití současných měřicích zařízení.
4. Návrh optimalizace způsobu měření rozměrů u prototypových vozů.

Rozsah práce: 25 – 30 stran


Seznam odborné literatury:

1. NENADÁL, J. *Management kvality pro 21. století*. Praha: Management Press, 2018. 368 s. ISBN 978-80-726-1561-2.
2. TŮMOVÁ, O. *Metrologie a hodnocení procesů*. 1. vyd. Praha: BEN, 2009. ISBN 978-80-7300-249-7.
3. NĚMEČEK, P. *Inline-měřicí technika pro zpětné sledování ve stavbě karoserií: dodatek k příručce VDA 5, Vhodnost kontrolních procesů*. Česká společnost pro jakost, 2013. 92 s. Management kvality v automobilovém průmyslu =. ISBN 978-80-02-02476-7.
4. *Vhodnost kontrolních procesů: vhodnost měřicích systémů, vhodnost procesů měření a kontroly, rozšířená nejistota, posuzování shody*. Praha: Česká společnost pro jakost, 2011. 170 s. Management kvality v automobilovém průmyslu ;. ISBN 978-80-02-02307-4.

Datum zadání bakalářské práce: únor 2019

Termín odevzdání bakalářské práce: prosinec 2019


L. S.




Ing. et Ing. Martin Foltá, Ph.D.
Vedoucí práce



Mgr. Petr Šulc
Prorektor ŠAVŠ



prof. Ing. Radim Lenort, Ph.D.
Vedoucí katedry



Daniel Svoboda
Autor práce

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci vypracoval samostatně a použité zdroje uvádím v seznamu literatury. Prohlašuji, že jsem se při vypracování řídil vnitřním předpisem ŠKODA AUTO VYSOKÉ ŠKOLY o.p.s. (dále jen ŠAVŠ) směrnicí OS.17.09 Vypracování závěrečné práce.

Jsem si vědom, že se na tuto závěrečnou práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, že se jedná ve smyslu § 60 o školní dílo a že podle § 35 odst. 3 je ŠAVŠ oprávněna mou práci využít k výuce nebo k vlastní vnitřní potřebě. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna podle § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách.

Beru na vědomí, že ŠAVŠ má právo na uzavření licenční smlouvy k této práci za obvyklých podmínek. Užiji-li tuto práci, nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, mám povinnost o této skutečnosti informovat ŠAVŠ. V takovém případě má ŠAVŠ právo ode mne požadovat příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to až do jejich skutečné výše.

V Mladé Boleslavi dne 11. 12. 2019

Tímto bych rád poděkoval Ing. et Ing. Martinu Foltovi, Ph.D., EUR ING za odborné vedení této bakalářské práce, poskytování cenných rad a informačních podkladů. Dále bych chtěl poděkovat svým kolegům z oddělení kontroly kvality v technickém vývoji společnosti ŠKODA AUTO a.s. za vstřícný postoj a poskytování důležitých informací k praktické části této práce.

Obsah

Úvod	7
1 Metrologie	8
1.1 Metrologie a její vývoj.....	8
1.2 Rozdělení metrologie	9
1.3 Metrologie v České republice	9
1.4 Kategorizace měřidel.....	11
1.5 Kalibrace a ověřování měřidel.....	12
1.6 Chyby a nejistoty měření.....	13
2 Charakteristika společnosti ŠKODA AUTO a.s.	16
2.1 Historie a současnost společnosti	16
2.2 Technický vývoj a oddělení EGV/6.....	17
2.3 Metrologie a měřidla ve společnosti	18
2.4 Měření rozměrovosti ve svařovně prototypů	20
3 Analýza využití současných měřicích zařízení	22
3.1 Souřadnicové měřicí stroje	22
3.2 Kontaktní a bezkontaktní metody měření	23
3.3 Aktuálně používané měřicí stroje	26
3.4 Zhodnocení současně používaných zařízení	36
4 Návrh pořízení nového měřicího zařízení	38
Závěr	42
Seznam literatury	44
Seznam obrázků	46
Seznam příloh	47

Seznam použitých zkratk a symbolů

CAD	Computer aided design (Počítačem podporované projektování)
CNC	Computerized numerical control (Počítačové číslicové řízení)
CSR	Corporate Social Responsibility (Společenská odpovědnost firem)
ČMI	Český metrologický institut
ČMS	Česká metrologická společnost
mm	milimetr
NMS ČR	Národní metrologický systém České republiky
RPS	Referent point system
SI	Le Système International d'Unités (Mezinárodní systém jednotek)
SMS	Souřadnicový měřicí stroj
ŠA	ŠKODA AUTO a.s.
ÚNMZ	Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví
VW	Volkswagen

Úvod

V dnešní době je kladen stále větší důraz na kvalitu produktů i služeb. Nedílnou součástí a nástrojem kvality je metrologie, která ovlivňuje nejen výrobní průmysl, ale i každodenní život lidí takřka po celém světě. Metrologie a kvalita, stejně jako ostatní obory a vědy, prochází postupem času svým vývojem, který má za cíl zdokonalovat metody, zpřesňovat výsledky a usnadňovat práci. Nezpochybnitelný význam má metrologie v průmyslu. V této bakalářské práci je tento fakt znázorněn na příkladu nejvýznamnějšího automobilového producenta v České republice – společnosti ŠKODA AUTO a.s. (dále jen ŠA). Tato společnost investuje mnoho finančních prostředků, času a lidského kapitálu do procesu vývoje a udržování kvality nejen prostřednictvím metrologie. Mimo výrobní průmysl nástroje metrologie pomáhají například při meteorologických předpovědích, při obchodních transakcích či při vymáhání legislativy.

Cílem této bakalářské práce je popsat základní principy metrologie, specifika měření a organizaci metrologie v České republice. Na tyto informace autor naváže názornou ukázkou fungování metrologických zařízení na jednom z oddělení ve společnosti ŠKODA AUTO a.s. zabývajících se kontrolou kvality a metrologií s cílem optimalizace těchto zařízení.

V teoretické části je představen technický vývoj společnosti ŠKODA AUTO a.s., spolu s oddělením EGV/6, které kvalitativně zajišťuje vývoj celého vozu a výrobu prototypů včetně náležitých metrologických opatření. Následně je představena samotná společnost ŠA včetně historie, současné výroby (tuzemské i zahraniční), fungování metrologie ve společnosti a dalších aktivit. V praktické části autor představuje zjištěné informace o jednotlivých měřicích zařízeních na oddělení EGV/6 s cílem analyzovat jejich využívání z hlediska různých kritérií. V závěrečné části práce je provedeno porovnání aktuálně používaných měřicích zařízení s potenciálním novým zařízením a proveden návrh optimalizace měření.

1 Metrologie

Tato kapitola se zabývá definicí metrologie, jejím vývojem a současným stavem a rozdělením v České republice a ve společnosti ŠA. Dále se pak věnuje kategorizaci měřidel, jejich kalibraci a ověřování.

Metrologie je nedílnou součástí kvality. Pojem *kvalita* je však vnímán mnoha různými pohledy. Kvalita se vyvíjí a pohledy a názory na ní se v čase mění. I přes velké množství odlišných způsobů vykládání kvality lze nalézt několik společných znaků. Mezi ně patří např. to, že kvalita je spojena s vnímáním zákazníků, že se jedná o komplexní vlastnost výrobků či služeb, že může být měřena a také zlepšována (Nenadál, 2018).

„Metrologie je vědní a technický obor, který se v širším smyslu zabývá měřením. V užším slova smyslu je to disciplína, která se zabývá zajišťováním jednotnosti a přesnosti (tj. schopnosti a správnosti) měření. Obsahem metrologie jsou zejména měřicí jednotky (soustava jednotek a jejich realizace pomocí etalonů¹), vlastnosti měření (metody, zpracování výsledků, teorie chyb a nejistot), vlastnosti měřidel a měřících přístrojů. Metrologie se zabývá také stanovením fyzikálních a technických konstant. Věda o měření (metrologie) představuje systematické zkoumání, organizaci a využití vhodných metod, pomocí kterých se shromažďují informace z okolního světa“ (Tůmová, 2009, str. 58).

1.1 Metrologie a její vývoj

Počátky metrologie lze jen stěží datovat. První zmínky o měření pocházejí ze starověkého Egypta, kde byl zaveden *lokeľ*. Tato míra byla přenesena na černou žulovou destičku. Poté byly na jednotlivá pracoviště distribuovány dřevěné či žulové destičky s touto mírou (Howarth, 2002).

Metrologie se pak řadu let vyvíjela v návaznosti na potřebu harmonizace jednotek pro délku a hmotnost rozdílných po celém světě. Mimo zmíněný starověký Egypt patří do důležitých oblastí ve vývoji měření také Řím, středověká Anglie a Francie. Cílem bylo vytvořit unifikované označení i pro ostatní jednotky a v návaznosti na tuto potřebu vznikla v roce 1960 soustava SI, která je platná a používaná dodnes.

¹ Pojem *etalon* vysvětlen v subkapitole 1.4

² „Délka předloktí od lokte ke špičce nataženého prostředníčku vládnoucího faraona“ (Howarth, 2002, str. 13)

Vzhledem ke stále se zvyšující poptávce po vysoké kvalitě, a tím i vyšším nárokům na měření jsou upravovány nejen měřicí postupy a stroje, ale i soustava SI prošla změnou definic stávajících jednotek, aby bylo možné dosáhnout optimálních výsledků (Tůmová, 2009).

1.2 Rozdělení metrologie

V současné době se metrologie dělí na tři kategorie s rozdílnými stupni složitosti a požadavků na přesnost. Do těchto kategorií se řadí metrologie vědecká, průmyslová a legální (Petřkovská, Čepová, 2012).

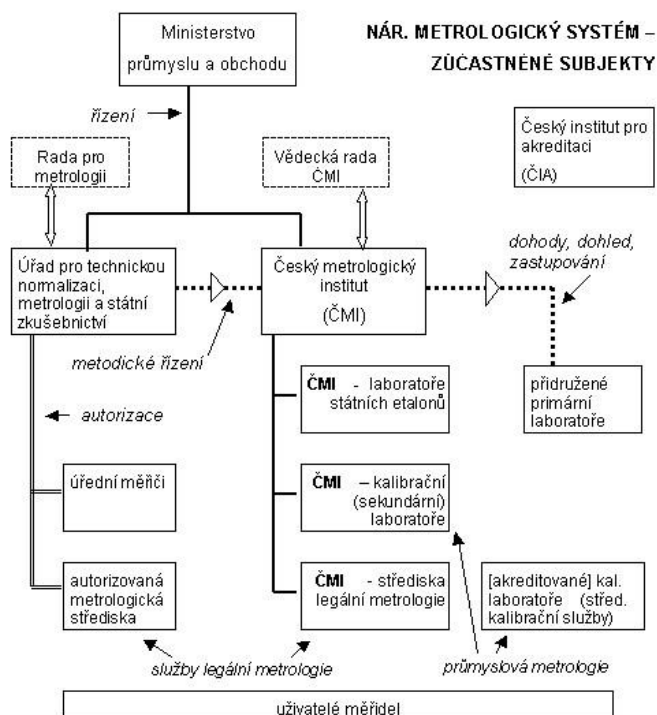
- Vědecká metrologie se primárně nevěnuje samotnému měření. Její hlavní činností je organizace, vývoj a udržování etalonů. Dále pak nalézá nové postupy a řešení pro zásadní problémy měření a definuje vývoj metrologie.
- Legální metrologie zajišťuje správnost a přesnost měření v takových oblastech, kde má měření vliv na průhlednost a ověřitelnost ekonomických transakcí, zejména tam, kde je zapotřebí definované ověřování měřidel. Jejím cílem je zajištění poctivého obchodování, hlavně v oblasti měření a vážení, a tím zajišťuje správnost výsledků měření pro občany při obchodních či úředních transakcích.
- Průmyslová metrologie zajišťuje správnost a přesnost měření v oblasti průmyslu, ve zkušebních a výrobních procesech, za účelem dosažení vysoké kvality výrobků a služeb.

1.3 Metrologie v České republice

Metrologie má významný vliv na život každého občana. Lidé se s ní v dnešní době setkávají takřka denně. Jedná se například o zjišťování času, nákup zboží „na váhu“, čerpání pohonných hmot, zjišťování teploty vzduchu a mnoho dalších činností. K tomu, aby byly všechny prvky metrologie jasně definované a srozumitelné slouží Národní metrologický systém České republiky (dále jen NMS ČR). NMS ČR je systém, sloužící k zajištění správnosti a jednotnosti měření a měřidel v konkrétním státě prostřednictvím soustavy zařízení, technických prostředků, technických předpisů, povinností a práv správních orgánů a podnikajících fyzických osob nebo právnických osob. Mezi jeho základní oblasti působení patří průmyslová metrologie, legální metrologie a fundamentální metrologie. Hlavní součástí NMS ČR jsou spotřebitelé a veřejnost obecně (tzn.

nejen občané ČR, ale i příslušníci jiných států, vyskytující se na území ČR). Pro tyto je zde vytvořena struktura výrobců a poskytovatelů služeb s ohledem na veřejný zájem, jenž je nutné dodržovat a respektovat. Druhým důležitým subjektem jsou podnikatelé. Sem jsou řazeni také výrobci měřidel, opravovatelé měřidel a montážníci. Další důležitou součástí jsou subjekty, poskytující nevýrobní výstup, tzn. poskytovatelé služeb (Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2019).

Významné zastoupení v NMS ČR má stát, který vytváří, harmonizuje, koordinuje, kontroluje a vymáhá metrologickou legislativu. Metrologie je v České republice upravena hlavně zákonem č. 505/1990 Sb. o metrologii, který byl naposledy novelizován zákonem č. 183/2017 Sb. Tento zákon doplňuje řada vyhlášek, které stanovují další požadavky. NMS ČR je srovnatelný s NMS ostatních států (členů Metrické konvence). Mezi hlavní prvky působící v NMS ČR patří Ministerstvo průmyslu a obchodu, Ústav pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví (dále jen ÚNMZ), Český metrologický institut (dále jen ČMI) a přidružené laboratoře ČMI. Vztahy mezi těmito institucemi a dalšími prvky NMS ČR jsou graficky znázorněny na obrázku číslo 1. (Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2019).



Zdroj: <https://www.cmi.cz/sites/all/files/public/download/obr%20NMSA.jpg> (1. 10. 2019)

Obr. 1 Zúčastněné subjekty NMS ČR

1.4 Kategorizace měřidel

Kategorizace měřidel je v České republice vymezena zákonem č. 505/1990 Sb. ve znění pozdějších předpisů.

Měřidla slouží k určení hodnoty měřené veličiny. Spolu s nezbytnými pomocnými měřicími zařízeními se pro účely tohoto zákona člení na tyto podskupiny (Zákon č. 505/1990 Sb.):

- **Etalon**

Etalon měřicí jednotky či stupnice dané veličiny je měřidlo, které slouží k uchování a realizaci dané jednotky či stupnice a také k přenosu jednotky na měřidla s nižší přesností. Tato měřidla nejsou používána v případech pracovních měření (např. ve výrobě).

- **Stanovená měřidla (pracovní měřidla stanovená)**

Stanovenými měřidly jsou nazývána taková měřidla, která jsou stanovena vyhláškou Ministerstva průmyslu a obchodu ČR k povinnému ověřování dle stanovených pravidel vzhledem k jejich významu

- v závazkových vztazích (například při nájmu, prodeji nebo darování věci, při poskytování služeb atd.)
- pro stanovení sankcí, poplatků, tarifů a daní,
- pro ochranu zdraví,
- pro ochranu životního prostředí,
- pro bezpečnost při práci,
- při ochraně jiných veřejných zájmů chráněných zvláštními právními předpisy.

- **Pracovní měřidla (pracovní měřidla nestanovená)**

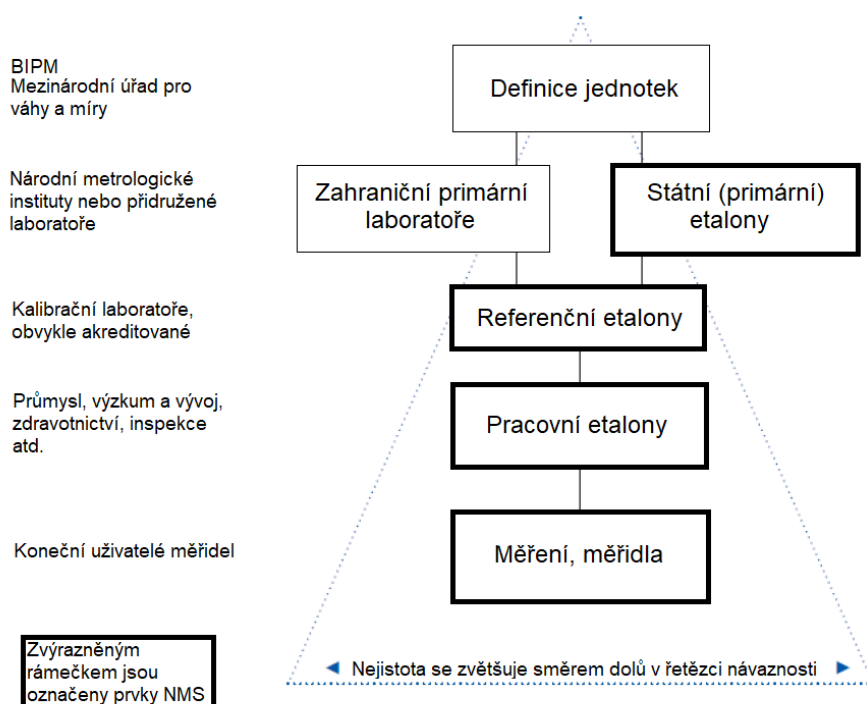
Pracovní měřidla jsou taková měřidla, která nejsou etalony ani stanovenými měřidly. Kalibraci a její termíny určuje uživatel měřidla.

- **Certifikované referenční materiály a ostatní referenční materiály**

Certifikované referenční materiály a ostatní referenční materiály jsou látky nebo materiály s přesně stanoveným složením nebo vlastnostmi, které se používají hlavně pro ověřování či kalibraci přístrojů, kvantitativní určování vlastností materiálů a vyhodnocování měřících metod (Zákon č. 505/1990 Sb., Zákon o metrologii).

1.5 Kalibrace a ověřování měřidel

Mezi výše uvedenými skupinami funguje princip návaznosti měřidel. Metrologický zákon vykládá označení *návaznost měřidel* jako seřazení daných měřidel do určité posloupnosti na základě přenosu hodnoty veličiny. Měřidlo nejvyšší úrovně je označeno pojmem etalon. „Proces návaznosti etalonů a pracovních měřidel je nazýván kalibrací, proces návaznosti stanovených měřidel v podobě a rozsahu úkonu státní správy je nazýván ověřením.“ (Český metrologický institut, 2019a). V případě kalibrování pracovního měřidla jsou jeho metrologické vlastnosti porovnávány s etalonem, popř. lze použít jiné certifikované referenční materiály při splnění zásad návaznosti. V případě kalibrace etalonu jsou jeho metrologické vlastnosti porovnávány s etalonem vyššího řádu. Pro potvrzení požadovaných metrologických vlastností stanoveného měřidla je nutné jeho ověření (Český metrologický institut, 2019a).



Upraveno dle: http://projekty.fs.vsb.cz/459/ucebniopory/Metrologie_a_rizeni_kvality.pdf

(7. 10. 2019, strana 29)

Obr. 2 Řetězec návaznosti měřidel

- **Kalibrace**

Kalibrací se nazývá soubor úkonů, který za specifických podmínek stanovuje vztah mezi hodnotami veličin indikovanými měřicím systémem či přístrojem a odpovídajícími hodnotami, které jsou realizovány etalony. Kalibrace má svoji lhůtu platnosti a může být prováděna ČMI, akreditovanými laboratořemi, výrobcí měřidla či oprávněnými servisními zaměstnanci. Po kalibraci se vystavuje kalibrační list a obvykle se kalibrované měřidlo opatří štítkem či značkou, potvrzující platnost kalibrace daného měřidla.

- **Ověřování**

Ověřování je součástí státní metrologické kontroly měřidel. Postup ověřování měřidel stanovených a patřičných náležitostí s tím spojených určuje Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR platnou vyhláškou. Ověřovací list, či úřední značka vydaná ČMI je poté potvrzením o ověření měřidla.

- **Rozdíl mezi kalibrací a ověřováním**

Ověřování a kalibrace mají východisko z velmi podobných postupů. Rozdíl mezi nimi tkví v tom, že v případě ověření je zkoumána shoda úředně stanovených požadavků s metrologickými vlastnostmi těchto měřidel (zejména s max. dovolenými chybami). V procesu kalibrace je kvantitativně zjišťován vztah mezi nominální hodnotou stanovenou etalonem a hodnou naměřenou. Obě tyto činnosti jsou formou návaznosti měřidel z metrologického hlediska (Český metrologický institut, 2019b).

1.6 Chyby a nejistoty měření

Každé fyzikální i technické měření je zatíženo určitými vlivy, které způsobují chyby v měření a naměřených hodnotách. Chybou se v tomto případě rozumí rozdíl mezi naměřenou hodnotou a skutečnou hodnotou sledované veličiny. Výsledky měření se pohybují v určitém chybovém intervalu kolem skutečné hodnoty. Výsledkem je tedy hodnota s určitou nejistotou měření. Důležitým aspektem je opakovatelnost měření. Opakovatelnost lze vyjádřit jako těsnost shody výsledků měření provedených na stejném měřeném objektu za jinak nezměněných podmínek (stejně metody měření, stejné měřidlo, stejný pozorovatel apod.). Dalším důležitým pojmem je pravá (skutečná) hodnota, kterou lze popsat jako hodnotu, která se shoduje s přesnou definicí dané veličiny (je to taková hodnota, kterou lze

získat pouze naprosto přesným měřením bez zatížení chyb, tzn., že ji prakticky nelze určit). Mezi hlavní příčiny chyb měření se řadí chyby měřidla či měřicího systému (chyby stroje, např. chyby tření, nadprůměrné opotřebování stroje atd.), chyby v měřicích metodách, podmínkách měření, či chyby obsluhy měřicího zařízení (kvalifikace, zkušenost, zručnost apod.). Chyby měření lze členit dle několika parametrů: chyby dle časové závislosti (dynamické, statické), dle možnosti vyloučení (neodstranitelné, odstranitelné) a dle způsobu vzniku (chyby hrubé, systematické a náhodné). (Ludvík, 2005)

Hrubé chyby jsou takové, které jsou způsobeny výjimečnou příčinou, jako nesprávným použitím měřicího zařízení, nesprávným zápisem výsledku, selháním zařízení či obsluhy. Takový výsledek měření je nápadně odlišný od ostatních naměřených hodnot a je zapotřebí ho vyloučit ze souboru naměřených hodnot, identifikovat příčinu této odlišnosti, eliminovat ji a poté pokračovat v dalším měření.

Druhým druhem chyb dle způsobu vzniku jsou **chyby systematické**. Tyto chyby měření vznikají ze soustavných a jednoznačných příčin. V případě systematických chyb se používá funkce korekce, kdy se tato chyba matematicky koriguje. Tyto chyby se dělí dle poznatelnosti na dvě kategorie. Jedná se o systematické chyby zjistitelné (kdy lze použít korekci) a chyby nezjistitelné (korekci použít nelze a začleňují se do nejistoty měření). Systematické chyby se dělí také dle příčin výsledku na chyby měřidla (nepřesnost funkčních elementů či montáže), chyby měřicí metody (nesprávná volba určité metody), chyby osobní (chyby obsluhy jako nepozornost, nevědomost) a chyby způsobené vlivem okolního prostředí (tlak, teplota, vlhkost, znečištění apod.) (Česká společnost pro jakost, 2011).

Třetím druhem chyb z hlediska způsobu vzniku jsou **chyby náhodné**. Náhodné chyby vznikají působením několika méně významných faktorů, které mají za následek to, že i když bude měření několikrát opakované za nezměněných podmínek, výsledek měření se bude lišit a vykazovat rozptyl.

Nejistota měření je v dnešní době velmi využívanou charakteristikou při vyjadřování výsledků měření. Nejistota charakterizuje rozsah (interval) hodnot okolo výsledku měření. Nejistotu měření může způsobovat měřidlo, pracovník, prostředí, etalon, výrobek či jeho součást a metoda měření. Základem nejistoty

měření je standardní nejistota u , která je vyjádřena hodnotou směrodatné odchylky $s(\bar{x})$. Tyto standardní nejistoty se člení dle způsobu vyhodnocení na standardní nejistoty typu A (u_A) a standardní nejistoty typu B (u_B). Standardní nejistoty typu A svými vlastnostmi korespondují s vlastnostmi náhodných chyb uvedených výše. Mají neznámé příčiny a jejich hodnota klesá s počtem měření. Pro prokázání nejistoty typu A je vhodné provést alespoň deset měření a vyhodnocovat pomocí statistických metod. Standardní nejistoty typu B se nevyhodnocují statistickými metodami a nemají náhodný charakter. Stanovují se z charakteru měření (nedokonalosti způsobené např. měřicími přístroji, technikou, metodami apod.). Je určován maximální rozsah odchylek od naměřené hodnoty tak, aby v něm s vysokou pravděpodobností skutečná hodnota ležela. Krom standardních nejistot typu A a B se ještě rozlišuje kombinovaná standardní nejistota a rozšířená nejistota (Frank, 2009).

2 Charakteristika společnosti ŠKODA AUTO a.s.

Tato kapitola se zabývá informacemi o společnosti ŠKODA AUTO a.s. Jsou zde představeny základní údaje z historie společnosti a současné produkce světové i tuzemské. Dále je pak představen technický vývoj, oddělení EGV/6, na kterém tato práce vznikala, a systém metrologie a měřidel ve společnosti.

2.1 Historie a současnost společnosti

Historie společnosti

Kořeny historie společnosti sahají až do roku 1895, kdy Václav Laurin a Václav Klement založili v Mladé Boleslavi dílnu na výrobu jízdních kol a začali s výrobou bicyklů s názvem Slavia. O čtyři roky později se manufaktura na výrobu jízdních kol změnila na značku motocyklů Laurin & Klement, která se o šest let později stala součástí automobilového průmyslu. O pár let později byl vyroben první automobil s názvem Voiturette A a v roce 1925 se uskutečnila fúze firmy Laurin & Klement s plzeňským koncernem ŠKODA. Rok 1934 byl pro automobilku velmi produktivní. Představeny byly vozy ŠKODA POPULAR, ŠKODA RAPID a ŠKODA 640 SUPERB, jehož jméno dodnes odkazuje na luxusní model vozu značky ŠKODA. O dva roky později se ŠKODA stala nejprodávanější značkou v tehdejší Československu a toto prvenství si v České republice udržela dodnes. V průběhu následujících let představila společnost několik dalších automobilů jako ŠKODA 1000 MB, ŠKODA 120 a 130 RS . Roku 1987 byl představen model ŠKODA FAVORIT, který se stal základním pilířem dalšího úspěšného rozvoje firmy. Jeden z nejdůležitějších okamžiků nastal pro automobilku po sametové revoluci, kdy došlo v roce 1991 ke spojení s koncernem Volkswagen, kterého je ŠA součástí dodnes. Po pěti letech v koncernu představila ŠA v roce 1996 legendární vůz a svého času nepřekonatelný bestseller – první generaci modelu OCTAVIA. V roce 2014 společnost ŠA poprvé vyrobila a prodala přes jeden milion vozů za kalendářní rok (ŠKODA AUTO a.s., 2019).

Současnost společnosti

Již pět let v řadě společnost vyrábí a dodává přes milion automobilů za kalendářní rok (v roce 2018 dodáno 1 253 700 vozů). Největší trh představuje pro vozy ŠKODA Čína. Poté následuje Německo, Česká republika, Rusko a další.

Nejdodávanějším modelem je již dlouhodobě ŠKODA OCTAVIA. Celkem ŠKODA disponuje třinácti výrobními závody, které má v pěti zemích světa (Česká republika, Slovensko, Indie, Čína a Rusko) (Interní dokumentace ŠKODA AUTO a.s., 2019).

V České republice je výroba rozdělena do tří závodů - hlavní závod v Mladé Boleslavi a pobočné závody ve Vrchlabí a v Kvasinách, kde dohromady nachází uplatnění takřka 34 000 zaměstnanců. Společnost se také řadu let aktivně věnuje sponzoringu a CSR aktivitám.

2.2 Technický vývoj a oddělení EGV/6

Technický vývoj

Technický vývoj je neodmyslitelnou součástí procesu vzniku automobilu. Technický vývoj a motorové centrum společnosti ŠA je jedno z nejmodernějších svého druhu v celém koncernu Volkswagen a současně jde o čtvrté největší vývojové centrum. Oblast technického vývoje ve ŠA spadá pod člena představenstva za technický vývoj, kterým je Dipl.-Ing. Christian Strube. Mezi oddělení v této oblasti patří např. ŠKODA Design, Koncepční vývoj, Vývoj exteriéru a interiéru, ŠKODA Motorsport, Vývoj celého vozu a další. Hlavní činností je koordinace vývoje designu, celého vozu, karoserie, interiéru, podvozku, agregátů, elektřiny a elektroniky. Dále pak řízení vývojových procesů vztahujících se k projektu a stanovení termínové a finanční realizace vývojových projektů. ŠA má 120leté zkušenosti v oblasti vývoje a výroby motorů. Současné motorové centrum je v provozu od roku 2014. V roce 2017 bylo uvedeno do provozu Emisní centrum a o rok později byly otevřeny zkušební stavy pro převodovky v motorovém centru. Oblast vývoje sídlí v Mladé Boleslavi mimo hlavní závod, v lokalitě zvaném Česana (Interní dokumentace ŠKODA AUTO a.s.).

Oddělení EGV/6 – Kontrola kvality, audit

Oddělení EGV/6 poskytuje služby pro technický vývoj v oblasti metrologie. Provádí kontrolu mechanicky obráběných, plechových a plastových dílů, modelů, podkompletů, karoserií i celého vozu. Zabývá se také analýzou zjištěných závad při stavbě prototypů a jedná s dodavateli z hlediska kvality dodávaných dílů.

Oddělení je propojeno s několika dalšími oblastmi technického vývoje, a to s výrobou modelů, karoserií, prototypů a dílnou mechanického obrábění. Mezi

činnosti spojené s těmito oblastmi patří měření a skenování dílů, podkompletů a karoserií, vstupní kontrola, výstupní kontrola, analýzy závad a audit. V současné době ke kontrolní činnosti využívá oddělení EGV/6 několik měřicích zařízení, mezi které patří např. ZETT MESS, DEA Delta, Leica Absolute Tracker AT960-MR, Zeiss ACCURA II a ATOS III Triple Scan. Podpora těchto zařízení je zajištěna vhodným softwarem, mezi který patří programy Metrolog, PC-DMIS, PolyWorks, ATOS Professional či Calypso. Budoucí záměry v oblasti měřicí techniky zahrnují plán pořízení nových zařízení jako ScanBox, Leica T-Probe a T-scan5, ATOS III Triple Scan upgrade a náhrady stávajících zařízení ZETT MESS. Kapacita měření v oddělení EGV/6 je určena množstvím projektů realizovaných v rámci stavby prototypů a modelů. Oddělení EGV/6 spolupracuje s několika dalšími útvary společnosti ŠA; například s odděleními pilotní haly, sériové kvality a plánování výroby při procesu řešení problémů ze stavby prototypů a karoserií či s odštěpnými závody v Kvasinách a Vrchlabí při kontrole svarových bodů a sekáčových zkouškách. Jelikož se jedná o proces prototypové (předsériové) výroby, podléhají pracovní materiály a dokumenty zvýšené ochraně na stupni Důvěrné (Vertraulich/Confidential). Do budoucna plánuje oddělení EGV/6 zmodernizovat měřicí techniku a zlepšit metodiku měření využitím sdílení zkušeností s ostatními metrologickými útvary a metodou benchmarkingu.

2.3 Metrologie a měřidla ve společnosti

„Proces metrologie je nedílnou součástí procesů výroby, ale i vývoje, plánování, prodeje a servisu, technického rozvoje, růstu efektivity a konkurenceschopnosti. Veškeré díly vyráběných vozů, a to jak panelové díly (díly karoserie), tak i komponenty (díly motoru a převodovky) jsou kontrolovány, zkoušeny a během výrobních procesů průběžně monitorovány. Cílem naší společnosti je dodávat na trh výrobky s nejvyšší kvalitou. A nedílnou součástí systému řízení kvality jsou rovněž procesy metrologie.“ (Kopřiva, 2017, str. 34).

Oblast metrologie podléhá ve společnosti ŠA předsedovi představenstva a patří do oddělení Řízení kvality (GQ). V této organizační jednotce se nachází všechny útvary managementu a řízení kvality. V dílčích organizačních jednotkách má zastoupení metrolog, nachází se zde interní kalibrační místa a odborní poradci. V hierarchii metrologie následují majitelé / provozovatelé měřidel a poté jejich uživatelé. Metrologie plní několik dílčích cílů, mezi které patří například plnění

norem a soulad s legislativou jednotlivých trhů, funkčnost, bezpečnost a smontovatelnost výrobků, bezpečnost práce či regulace spotřeby energií s ohledem na ochranu životního prostředí. Vzdělávání zaměstnanců v oblasti metrologie a kvality zajišťuje interní útvar ŠKODA Akademie a Akademie kvality. V současné době je ve ŠA přes čtyřicet tisíc aktivních měřidel a ročně je provedeno několik desítek tisíc kalibrací ve 12 interních kalibračních místech a u externích subjektů. Společnost ŠA v oblasti metrologie spolupracuje s několika subjekty. Mezi ně patří ÚNMZ (normy, konzultace a poradenství), ČMI (mezinárodní projekty, kalibrace a ověřování, vzdělávání, konzultace a poradenství), ČMS (vzdělávání, propagace metrologie), vysoké školy (stážisté, odborné práce, přednášky a poradenství), výrobci a dodavatelé měřicí techniky (plánování, vývoj a nákup, servis a kalibrace) a firmy poskytující kalibrace a služby.

Metrologické a kvalitativní procesy mají své zastoupení ve fázích vývoje, výroby i prodeje výrobků. Ve vývojové fázi probíhají zkoušky a simulace v laboratořích, měrových střediscích a zkušebnách. Oblasti měření obsahují prototypy, celý vůz, interiér a exteriér, emise, elektřinu a elektroniku, infotainment či bezpečnost. Mezi příklady měření lze zahrnout spotřebu, výkon, teploty, tlaky, ovládací síly, hluky či dynamické vlastnosti. Ve fázi výroby probíhá kontrola na obdobných pracovištích v oblastech slévárny, kovárny, lisovny, svařovny, lakovny, montáže vozů, výroby převodovek, motorů, náprav, nářadí a logistiky. Mezi příklady měření lze uvést 3D měření rozměrnosti, měření spojů (šroubové, svarové, lepené), sledování parametrů procesů a řadu dalších. Ve fázi prodeje je metrologie využívána v autorizovaných servisních dílnách a při distribuci originálních dílů a příslušenství. Mezi příklady měření lze uvést kontrolu geometrie podvozku a světel, vyvažování kol, zkoumání fyzikálních vlastností provozních kapalin a další. Metrologie však není využívána jen při procesech spojených s vývojem, výrobou a prodejem automobilů, ale i při ostatních, podpůrných procesech ve společnosti. Oblasti, které přímo nesouvisí s produkcí automobilů, využívající metrologii jsou například bezpečnost a ochrana závodu, ekologie a bezpečnost práce, energetika, zdravotní služby a ergonomie a archivy. Jako příklady měření lze uvést měření rychlosti vozidel na komunikacích, zjišťování alkoholu v dechu, parametrů

a spotřeby energií, měření teplot a vlhkostí (Interní dokumentace ŠKODA AUTO a.s.).

Organizace a dělení měřidel ve společnosti ŠKODA AUTO a.s. se řídí platným metrologickým řádem společnosti, který podléhá schválení hlavního metrologa společnosti a předsedy představenstva. Daná norma metrologického řádu určuje typ měřidla, určení měřidla (používání), příklad, způsob metrologické kontroly, evidenci a způsob značení. Typy měřidel odpovídají kategorizaci měřidel dle platné zákonné legislativy. Nejvyšším stupněm metrologické hierarchie ve společnosti jsou etalony (hlavní, primární etalon ŠKODA), dále pak stanovená měřidla (pneuměřič, výdejní stojan pohonných hmot, poštovní váha), pracovní měřidla (kalibrovaná, kontrolovaná), orientační měřidla, referenční materiály až po nejnižší stupeň – pomůcky pro měření (držáky, podložky, prizmatické podložky). Uvedená terminologie je závazná v rámci celé společnosti. Cílem sjednocené terminologie je zajištění správného označování jednotlivých druhů měřidel a technologických pomůcek z hlediska metrologie.

2.4 Měření rozměrovosti ve svařovně prototypů

V současné době používá oddělení EGV/6 řadu měřicích a kontrolních zařízení, kterými provádí primárně kontrolu rozměrovosti jednotlivých dílů, podsestav, sestav, platforem, karoserií, jednotlivých částí vozu či vozů jako celků. V subkapitole 2.2 bylo uvedeno několik z těchto zařízení. Tato subkapitola se věnuje pouze měřicím zařízením používaným ve svařovně prototypů. Oddělení kontroly kvality se zde věnuje několika kontrolním procesům, zajišťujícím např. kontrolu rozměrovosti, kontrolu svarových bodů, kontrolu lícování či kontrolu hmotnosti. Tato práce se zaměřuje právě na kontrolu rozměrovosti. Při kontrole rozměrovosti je zde využíván primárně stacionární pracovní souřadnicový měřicí stroj (SMS) ZETT MESS AMVFL/S 24/16 / CNC ve variantě s dvouramenným synchronním měřicím systémem. Dále se pak využívá SMS ZETT MESS AMS 15/15 / CNC v jednoramenném provedení s menším rozsahem měření, mobilní měřicí dotykové zařízení Leica Absolute Tracker AT960-MR, portálový měřicí stroj DEA DELTA, Zeiss ACCURA II a mobilní měřicí skenovací zařízení Atos III Triple Scan.

Jelikož oddělení EGV/6 provádí své činnosti ve vývojovém centru společnosti, zaměřuje tedy své kontrolní procesy primárně na prototypové vozy. Tento fakt má za následek řadu odlišností ve způsobech měření, použité technice a technologii i ve výběru konkrétních postupů měření. Prototypovým vozem se rozumí takový vůz, který je vyráběn jako předchůdce sériové výroby. V současné době je ve společnosti nastavena přesná posloupnost výrobních procesů prototypových vozů a modelů – od koncepčního návrhu, přes designerské skici, výrobu hliněného a dřevěného modelu až po skutečné funkční prototypové vozy. V návaznosti na legislativní požadavky a požadavky koncernu Volkswagen a ŠA musí být před uvedením do běžného provozu každý model automobilu homologován. Krom homologace je zapotřebí také ověření bezpečnosti vozu, které je zprostředkované sadou tzv. crashtestů, neboli simulací destruktivních nárazů vozu za specifických podmínek, které jsou následně vyhodnocovány. K těmto účelům jsou využívány právě prototypové vozy. Krom již zmíněné potřebné homologace a crashtestů se tyto vozy používají také na korozní testy, dlouhodobé jízdní zkoušky, zkoušky podvozků, elektroniky a elektroniky a mnoho dalších. Před každým sériově vyráběným vozem je vyrobeno několik desítek prototypových vozů. Měření rozměrnosti prototypů je procesem nezávislé technické kontroly, která je důležitou součástí procesů managementu kvality při výrobě produktu. Tento typ kontroly lze charakterizovat jako proces porovnávání a hodnocení shody, kdy objekt kontroly (svařenec, montážní díl, karoserie, platforma) je porovnáván s požadavky, které jsou definovány v odpovídajících dokumentech (výkresy, CAD data). Výsledek tohoto hodnocení shody musí být dle platných specifikací zaznamenán do protokolu o měření a tento záznam po určitou dobu uchován.

Bližším popisem měřících zařízení používaných při kontrole rozměrnosti se autor zabývá v následující kapitole této práce.

3 Analýza využití současných měřicích zařízení

V následující části práce je popsán princip fungování souřadnicových měřicích strojů, které jsou využívány při kontrole rozměrovosti. Dále jsou v této části prezentovány výsledky autorovy analýzy využití současných měřicích zařízení na oddělení EGV/6. Cílem provedené analýzy bylo zdokumentovat současný stav, přiblížit logiku jeho fungování, a tím získat podklady k následné optimalizaci. Při provádění kritické analýzy bylo použito empirických metod, jako pozorování, rozhovor s uživateli, dotazník, test, měření a studium dokumentací. Mezi sbírané informace o jednotlivých současně používaných měřicích zařízeních patří např. princip fungování, konstrukční popis zařízení, rozsahy měření ve všech osách, vybavenost softwarem či šířka portfolia měřitelných objektů. Tyto a další informace jsou představeny v následující části práce.

3.1 Souřadnicové měřicí stroje

Souřadnicové měřicí stroje (SMS), anglicky Coordinate Measuring Machine (CMM), prošly historickým vývojem, kdy jejich největší předností byla schopnost měřit v kartézské soustavě. Ta se skládá z navzájem kolmých přímek, protínajících se v jednom bodě. V prostoru má soustava tři kolmé přímky, které se nejčastěji označují jako osy x , y , z . Potenciál SMS byl nejvíce rozvíjen společně s rozvojem počítačových technologií a mikroprocesorů. Jejich využívání přineslo průlom ve vývoji měřicích procesů a stalo se velmi důležitou součástí takřka všech oblastí průmyslových odvětví včetně potravinářského průmyslu, letectví, zdravotnictví a automobilového průmyslu. Ve strojírenství a automobilovém průmyslu se využívají SMS, které poskytují řadu funkcí a jsou schopny měřit i tvarově složité součástky. SMS pracují se dvěma souřadnicovými systémy – souřadnicovým systémem stroje a souřadnicovým systémem měřeného objektu. SMS fungují jako komplexní systémy, které se skládají z několika vzájemně propojených subsystémů, mezi které patří mechanická část (pohonný systém), odměřovací systém, snímací systém, řídicí systém, počítač a software. Mezi mechanické části SMS patří rám, stůl, stojan, portál, most či pinola. Na mechanické pohyblivé části je kladeno několik požadavků, jako stálost rozměrů, minimální vůle, vzájemná kolmost či přímočarost. Princip měření na SMS spočívá ve stanovení základního bodu v prostoru a polohy ostatních bodů se následně

určují souřadnicemi v osách. Mezi základní funkce SMS patří schopnost absolutního měření rozměrů v osách x , y a z , určení vzdáleností mezi definovanými body, určení geometrické odchylky či porovnávání nominální a skutečně naměřené hodnoty. Tento výčet není zdaleka konečný, SMS používané v současné době disponují mnoha funkcemi, které se stále vyvíjejí a zdokonalují. Dle typu konstrukce se SMS dělí na tři kategorie – jednosouřadnicové, dvousouřadnicové a třísouřadnicové. Třísouřadnicové měřicí stroje se dělí na čtyři základní typy: stojanový, výložníkový, portálový a mostový (Petřkovská, Čepová, 2012).

3.2 Kontaktní a bezkontaktní metody měření

Měření geometrických vlastností objektů lze provádět dvěma způsoby, a to buď kontaktně či bezkontaktně (taktéž dotykově či bezdotykově). Oba tyto způsoby mají svá pozitiva i negativa. Pro co nejvyšší přesnost a spolehlivost měření v obou metodách je zapotřebí, aby byla splněna specifická kritéria, mezi která patří např. stálá teplota prostředí i měřeného objektu z důvodu teplotní roztažnosti materiálu - nutná teplota na referenční teplotu $T_0=20^{\circ}\text{C}$ (Česká společnost pro jakost, 2013). Dále pak fyzická stabilita stroje i měřeného objektu (zabránění otřesům, vibracím, nežádoucím pohybům) či správné ustavení měřeného objektu (např. na RPS body). Další podmínky se liší dle toho, zdali se používá metoda kontaktní či bezkontaktní.

Kontaktní metody měření

V případě kontaktního měření dochází k fyzickému kontaktu povrchu měřeného objektu s měřicím zařízením. Tento typ měření se dále dělí na kontaktní měření destruktivní a nedestruktivní. Při destruktivní metodě dochází k narušení povrchu a vlastností měřeného objektu, kdežto metoda nedestruktivní využívá pouze mírného kontaktu, který nemá vliv na vlastnosti měřeného objektu. Jelikož jsou na oddělení EGV/6 využívány kontaktní SMS pouze nedestruktivní, další text se věnuje pouze jim. Systémy měření, které využívají kontaktní metody měření, disponují snímacím systémem. Snímací systém se v základu skládá ze snímací hlavy a snímacího dotyku s jejich prodloužením a systémem výměny (viz Obr. 3).



Zdroj: <https://www.renishaw.cz/media/img/gen/cf19a9b38a784430a63a5e8c2bcda401.jpg>

(28. 11. 2019)

Obr. 3 Motorická indexovatelná snímací hlava

Snímací hlavy se dělí na pevné (nelze je v prostoru otáčet, mívají více hrotů, jsou přesnější) a indexovatelné (mají nastavitelné polohy v prostoru, ale jsou méně přesnější). Indexovatelné hlavy se dělí na manuální (nutnost manuálně nastavit polohu hlavy) a motorické (strojově nastavitelné, předem definované opakovatelné polohy). Na hlavě se nachází dřík spojující hlavu se samotným senzorem neboli kuličkou. Kulička se při měření přímo dotýká měřeného objektu. V okamžiku dotyku kuličky s měřeným objektem je systémem zaznamenána aktuální poloha kuličky. Ta je poté zapsána do systému, porovnána s požadovanými parametry (např. dle CAD dat) a je vypočtena odchylka mezi nominální a naměřenou hodnotou (jedná se o tzv. systém spínacího typu). Kontaktní zařízení tohoto typu vytváří diskrétní body. Důležitým parametrem je dokonalý tvar kuličky a tuhost dotyku. Materiálem kuličky může být rubín (nejpoužívanější), nitrid křemíku, oxid zirkoničitý či diamant. Materiálem dříku může být ocel, karbid wolframu, keramika či uhlíková vlákna. Jelikož princip metody spočívá v přímém kontaktu, nelze měřit objekty například z pryže, polystyrenu, či dalších měkkých materiálů, jelikož by došlo k jejich deformaci a měření by nebylo přesné (Petřkovská, Čepová, 2012).

Na oddělení EGV/6 je v současné době využíváno několik kontaktních (nedestruktivních) měřicích strojů. Jedná se o ZETT MESS AMVFL/S 24/16 / CNC, ZETT MESS AMS 15/15 / CNC, DEA Delta, Zeiss ACCURA II RDS 9/12/8

a Leica Absolute Tracker AT960-MR. (Zařízení Leica může být využíváno v kontaktním i bezkontaktním režimu měření.) Podrobná analýza vlastností těchto strojů je prezentována v subkapitole 3.3.

Bezkontaktní metody měření

Na rozdíl od kontaktních metod měření tyto metody nevyužívají princip dotyku senzoru s měřeným objektem, ale daný objekt je skenován, popř. vyfocen (v případě fotogrammetrie). Základní rozdělení je na pasivní a aktivní metody snímání. Zásadním rozdílem mezi těmito metodami je fakt, že při pasivní metodě není z měřicího stroje vysíláno světlo na měřený objekt. Mezi pasivní metody se řadí např. stereovidění, analýzy pohybu či zoomování. Stereovidění je z pasivních metod nejrozšířenější, obvykle se však využívá i v kombinaci s jinou metodou. Výhodou zařízení používajících pasivní metody je nižší pořizovací cena. Nevýhodou pak méně přesné a kvalitní měření. U aktivních metod měřicí stroj aktivně vysílá na měřený objekt strukturované světlo. Projekce strukturovaného světla se využívá při 3D triangulaci (zjišťování vzdáleností a souřadnic sestrojováním pomyslných trojúhelníků mezi body). Strukturované světlo má několik druhů vzorů – používají se např. binární kódy, kdy je světlo projektováno ve slabých pruzích. Díky této metodě lze efektivně získat spojitou oblast měření ve vysokém rozlišení. Princip použití strukturovaného světla spočívá prvně v projekci definovaného vzoru na měřený objekt, poté jsou kamerami s CCD čipem zaznamenány vzniklé deformace projektovaného vzoru a v počítačovém softwaru se porovná promítaný a zaznamenaný vzor. Při použití této metody nelze snímat průhledné a lesklé povrchy (sklo, číré plasty, leštěné materiály apod.) jelikož dochází k odrazu paprsků a zkreslení výsledků měření. Proto je zapotřebí před měřením tyto povrchy vhodně upravit matným práškem. Nejčastěji je používán křídový prášek, jehož hlavní složkou je uhličitán vápenatý (CaCO_3). Při používání strukturovaného světla by měl být v místě měření zajištěn adekvátní typ a intenzita osvětlení a měla by být zvolena správná doba zaznamenávání obrazu a následné vyhodnocování (Gorthi, 2010). Stejně jako u kontaktních metod, i zde je důležitá stálá vhodná teplota, eliminace mechanických vibrací apod.

Na oddělení EGV/6 je v současné době využíváno jedno plně bezdotykové zařízení, a to ATOS III Triple Scan. Dále je zde využíváno zařízení Leica Absolute Tracker AT960-MR, kterým lze provádět měření kontaktní i bezkontaktní metodou.

3.3 Aktuálně používané měřicí stroje

Jak již bylo uvedeno výše, v současné době využívá oddělení EGV/6 několik měřicích zařízení. Většina z těchto zařízení funguje na principu kontaktního měření. Mezi tyto stroje se řadí ZETT MESS AMVFL/S 24/16 / CNC, ZETT MESS AMS 15/15 / CNC, DEA Delta, ZEISS ACCURA II RDS 9/12/8 a Leica Absolute Tracker AT960-MR (s možností bezkontaktního měření). Dále je využíván i jeden plně bezkontaktní měřicí stroj, a to ATOS III Triple Scan. Následující část práce má za cíl analyzovat jejich využívání při různých druzích měření a jejich technické parametry a z toho vyplývající možnosti a omezení. V úvodu této kapitoly byly uvedeny použité metody analýzy. Tyto metody byly aplikované na jednotlivé, v současnosti používané, měřicí stroje a výsledkem je následující analýza.

Uvedené měřicí stroje jsou využívány Mladé Boleslavi. V odštěpném závodě ve Vrchlabí se využívá SMS ZETT MESS a v Kvasinách SMS ZETT MESS a Leica. Tyto stroje nejsou součástí analýzy v této bakalářské práci.

ZETT MESS AMVFL/S 24/16 / CNC

Prvním analyzovaným měřicím strojem je produkt německé firmy ZETT MESS TECHNIK GmbH, MESSMASCHINEN. Tento SMS ZETT MESS, typu AMVFL/S 24/16 / CNC, byl vyroben v roce 1998 a následně nainstalován v oddělení EGV/6, kde je dodnes využíván k měření rozměrovosti. Fotografie tohoto zařízení je vložena v Příloze 1. Tento měřicí stroj je duplexním zařízením; to znamená, že k měření jsou využívány dva stroje, které jsou vzájemně propojeny a do určité míry spolupracují. Každý z těchto strojů (polovina duplexu) dokáže fungovat nezávisle na druhém ze strojů a zároveň dokáží měřit v jeden okamžik stejný objekt. Celý měřicí systém je ukotven na broušené litinové desce, která slouží jako statický podklad. Tato deska je stavebně zakotvena v zemi tak, aby byly co nejvíce eliminovány případné otřesy. Je vodorovně vyvážená a v prostoru měření je její povrch perforován v osově souměrné síti závitových děr (dle osy x) o průměru 10 mm, které slouží k upevnění např. upínek (upínacího nářadí) či ustavovacích přípravků RPS bodů. RPS body jsou využívány napříč koncernem pro ustavování jak celého vozu, tak jednotlivých dílů ve voze. Polohy jednotlivých RPS bodů jsou definovány souřadnicemi v osách x , y , a z . Před samotným měřením je zapotřebí ustavit měřený objekt dle platných RPS bodů tak, aby došlo

k vyrovnání stroje a měřeného objektu. Krom samotného měřicího prostoru desky jsou po stranách v ose x pojezdové aparáty, které slouží k pohybu sloupů SMS v ose x . Pohyby ramen v ose y a z zajišťují motory připevněné na sloupech SMS. Měřicí rozsah tohoto zařízení je 5000 mm v ose x , 1600 mm v ose y a 2400 mm v ose z . Tyto parametry měřicího rozsahu umožňují měření jak karoserií vozu, tak platform a velkorozměrových dílů. Nejčastěji zde měřené díly vozů jsou tzv. panelové díly, mezi které patří dveře, zadní víko, kapota, vnitřní a vnější postranice. Dále jsou pak měřeny platformy, které jsou doručeny z koncernu VW, svařené a okované karoserie, které jsou předem určeny pro speciální zkoušky, jako například crashtesty či dlouhodobé zkoušky a jsou zde měřeny i další rozměrné objekty, jako např. speciální svářecí přípravky. Každý ze strojů duplexu má dvě pracovní stanice – jednu přímo na měřicí ploše a druhou vedle měřicí plochy. Měření může být tedy obsluhováno buď přímo z měřicí plochy, nebo ze vzdálenějšího pracoviště. Každé z těchto pracovišť je vybaveno sdíleným stolním počítačem s vhodným softwarem, samostatnou obrazovkou, trackballem³ a klávesnicí. Pracoviště umístěné na měřicí desce pak disponuje multifunkčním joystickem, který slouží pro ruční měření objektů. V přední části měřicí desky je umístěna kalibrační koule, sloužící ke kalibraci snímacích hlav ve všech jejich polohách. Snímací systém se skládá z hlavy (výrobce: firma Renishaw), která je indexovatelná, motorická. Prodloužení snímacího systému měří 200 mm (možno nastavit i jiné, menší délky, či prodloužení odstranit úplně), průměr dotyku činí 2 mm (možno použít i jiné průměry – menší i větší) a délka dotyku je 20 mm (záleží také na průměru dotyku). U hlav lze nastavit vysoké množství předdefinovaných poloh dle požadavků uživatele, které jsou poté pravidelně kalibrovány za použití kalibrační koule. Jedná se pouze o „provozní“ kalibraci. Normou vyžadovaná kalibrace je prováděna jednou za rok externí kalibrační firmou, která je akreditovanou zkušební laboratoří ČIA. Tyto kalibrace jsou prováděny dle normy ISO 10360-2 a ISO 10360-5. Předmětem kalibrace je zkoumání chyby snímání, měření délky souběžně s osami, měření souběžně s rovinou a měření délky úhlopříčně v prostoru za použití kalibrační tyče s koulemi. Na základě těchto pravidelných kalibrací jsou vydávány protokoly o zkoušce, vyjadřující se k výsledkům zkoušky – zdali zařízení vyhovuje či nikoliv. Výsledky

³ Vstupní zařízení PC, podobné myši. Využívané je tam, kde je nutná vysoká přesnost polohování kurzoru (obsluha CAD programů).

těchto kalibrací jsou poté zaznamenány do *Průvodní karty měřidla*. Pro měření na tomto SMS je využíván PC se softwarem francouzské firmy Metrologic Group S.A.S. s názvem Metrolog X4 (na tomto SMS před rokem aktualizovaná verze původního softwaru Metrolog XG). Tento program disponuje mnoha funkcemi, které přesahují požadavky na měření ve svařovně oddělení EGV/6. Program nabízí mnoho užitečných funkcí, které jsou denně využívány při měření. Hlavní výhodou tohoto měřicího stroje je jeho CNC režim, který dokáže na základě uživatelem předdefinovaného programu samostatně měřit daný objekt, a tím šetřit čas, zvyšovat přesnost a eliminovat riziko lidské chyby. Režim CNC (a programy pro něj psané) je využíván při opakovaném měření téhož objektu (např. karoserie). Mezi oběma zařízeními duplexu funguje vazba *twin*, která umožňuje vzájemné propojení těchto dvou zařízení pro účely synchronizace naměřených hodnot i vyrovnání. Program Metrolog X4 má uživatelsky přívětivé prostředí, ve kterém jsou do značné míry předdefinované měřené prvky (geometrická primitiva jako např. body, kružnice, ovály, koule a další). Tyto elementy měření lze zasadit do programu pro CNC režim. Tento SMS funguje nejen v režimu CNC, ale i v režimu manuálním, kdy obsluha ručně měří body a otvory povrchu a další elementy. V případě jak manuálního, tak CNC měření je zapotřebí mít k danému měřenému objektu relevantní platná CAD data, která se propojí s naměřenými body a vznikne pro každý měřený element odchylka, tzn. rozdíl mezi naměřenými a nominálními hodnotami daného elementu. Výsledkem měření je pak mrak bodů, který je porovnán právě s nominálními hodnotami elementů. Měření na tomto SMS s využitím programu Metrolog X4 není náročné na objem dat – největší podíl velikosti dat mají CAD data, která slouží jako vstup do programu měření. Programem vytvořená data jsou pouze naměřené elementy. Z těchto elementů je poté zpracován výstup v podobě protokolu ve formátu PDF, který slouží k uchování a prezentování výsledků měření.

Mezi nevýhody tohoto SMS se řadí fakt, že v současném stavu nelze provádět bezkontaktní měření. Dále nelze provádět a vyhodnocovat skenování tvarových ploch ani provádět měření a vyhodnocení rádiusů a tornadolinií⁴. Není možné také zajistit komplexní naměřená data celého povrchu vozu včetně barevné mapy znázorňující odchylky. Technická omezení zvedacího zařízení nedovolují měřit

⁴ Designový prolis na boční části vozu.

hotový vůz a žádný objekt těžší než 500 kg (z důvodu váhového limitu jeřábu). Z důvodu zastaralé konstrukce měřicího systému je celková rychlost pohybu a snímání nízká, a tím pádem je celé měření náročnější na čas oproti modernějším SMS podobného typu. Celkově tento ač funkční SMS, je již technicky zastaralý a neodpovídá standardu a konceptu VW a ŠA.

ZETT MESS AMS 15/15 / CNC

Druhým analyzovaným měřicím strojem je, stejně jako v předchozím případě, produkt německé firmy ZETT MESS TECHNIK GmbH, MESSMASCHINEN. Tento SMS ZETT MESS, typu AMS 15/15 / CNC byl vyroben v roce 1992 a dodnes slouží na oddělení EGV/6 ke kontrole rozměrovosti. Fotografie tohoto zařízení je vložena v Příloze 2. Oproti předchozímu měřicímu stroji funguje tento SMS jako samostatný jednoramenný stroj, bez vazeb na žádné další měřicí zařízení. Funguje na velmi podobném principu jako autorem výše popisovaný SMS. Zásadní rozdíl je v měřicím rozsahu stroje. V ose x dosahuje měřicí rozsah 2000 mm, v ose y 1500 mm a v ose z také 1500 mm. Jedná se tedy o fyzicky menší měřicí stroj, který z tohoto důvodu není určen pro měření karoserií, platform ani velkorozměrových dílů. Na tomto stroji se kontrolují rozměrovosti menších dílů, které jsou po kontrole instalovány do vozů. Dále se zde měří rozměrovost svařenců a menších svářecích přípravků. Ačkoliv se zde primárně měří menší díly, je zde možné měřit např. i kapotu vozu. Stejně jako u předchozího SMS je potřeba měřený objekt před samotným měřením ustavit a vyrovnat. Ustavení je možné pomocí RPS bodů, vyrovnání pak např. metodou na tři otvory, na šest bodů či na plochu a dva otvory. Rozdíl je také v desce a jejím usazení. Tato litinová deska disponuje nejen závitovými perforacemi, ale i sítí otvorů pro ukotvení pomocí speciálních upínacích čepů. Díky těmto čepům, upínkám a magnetům je možné měřený objekt uchovat ve stabilní pozici po celou dobu měření. Rozdíl oproti předchozímu SMS je také v „provozní“ kalibraci – zde neprobíhá kalibrace v režimu CNC, ale je zapotřebí provést kalibraci ručně, což je náročnější na obsluhu i na čas a zvyšuje se riziko uživatelské chyby. Také ve snímací hlavě je zde rozdíl – používá se prodloužení pouze 100 mm právě z důvodu měření menších objektů. Používá se průměr dotyku 2 mm a délka dotyku 20 mm. Tento SMS je taktéž vybaven softwarem Metrolog X4, avšak v tomto případě se nevyužívají předdefinované CNC programy, pouze

jednorázové CNC dráhy pohybu snímání. Kalibrační lhůta činí taktéž jeden rok a kalibrace jsou zaznamenávány do *Průvodní karty měřidla*.

Leica Absolute Tracker AT960-MR

Dalším analyzovaným SMS je Leica Absolute Tracker AT960-MR. Fotografie tohoto zařízení je vložena v Příloze 3. Tento stroj se zásadně liší od předchozích dvou analyzovaných SMS v celé své konstrukci a metodách snímání. Jedná se o mobilní laserový měřicí systém pro získávání CAD dat a měření souřadnic bodů ve 3D prostoru. Zařízení slouží k rozměrové kontrole karoserií, svařených podkompletů a k ustavování svařovacích přípravků a flexibilů (stavěcích přípravků) v karosářských dílnách oddělení EGV (Ml. Boleslav, Kvasiny, Vrchlabí). Dále je používáno k ustavování a měření interiérových a exteriérových dílů při stavbě prototypů na montáži vozu a k měření tvarů, spár a přesahů při stavbě interiérových a exteriérových modelů. V požadavcích odborných útvarů technického vývoje a oddělení EGV je stále vyšší počet měření a vyhodnocování odchylek od CAD v místech, které nelze, vzhledem k jejich špatné dostupnosti, měřit klasickými měřicími stroji – systém Leica je v této problematice částečným řešením. Zařízení Leica Absolute Tracker AT960-MR využívá při měření dva odlišné principy – kontaktní a bezkontaktní.

Princip kontaktního měření je založen na vzájemném propojení zařízení Laser Tracker a Leica T-Probe. Laser Tracker vypočítává 3D polohu reflektoru z horizontálního a vertikálního úhlu a následně změří vzdálenost. Laser Tracker shromažďuje 3D souřadnice ve sférickém měřicím rozsahu sledováním ručního bezdrátového dotykového snímače Leica T-Probe. Toto mobilní laserové optické souřadnicové měřicí zařízení disponuje tzv. „All-in-one“ designem, který obsahuje potřebná příslušenství. Má v sobě zabudovaný interferometr, kameru, digitální vodováhu a meteostanici (sledování a následná kompenzace hodnot teploty, tlaku a vlhkosti). Zařízení disponuje nezávislými akumulátory, které zajišťují až osmihodinový provoz a lze je vyměnit za provozu. Měřicí systém je velmi odolný vůči prachu a lze ho tedy používat i v náročných podmínkách. Laser Tracker je za použití kamery a projektovaného laserového paprsku propojen s druhou částí tohoto měřicího systému, a to se zařízením Leica T-Probe III. Jedná se o bezdrátový dotykový snímač pro laserový Tracker Leica AT960, který poskytuje možnost měření i špatně dostupných míst díky své mobilitě, malé hmotnosti

i rozměrovosti a možnostem nastavitelného prodloužení dotyku. Na snímači jsou umístěna čtyři programovatelná tlačítka - světelná a akustická signalizace stavu baterie a správné funkce a dva konektory pro upevnění hrotů (vertikální a horizontální). Poloha snímače je odměřována kamerou za pomoci infračervených diod integrovaných ve snímači. Laser Tracker a T-probe musejí mít mezi sebou přímou viditelnost, jelikož jsou vzájemně propojené laserovým paprskem. Díky tomuto paprsku a principu interference světla pak dochází k velmi přesnému měření. Systém Leica díky funkci PowerLock automaticky obnovuje přerušené laserové spojení. Horizontální rozsah měření činí 360° a vertikální rozsah činí přibližně 145°. 3D měřicí dosah zařízení činí 40 m. Zařízení je nutné jednou ročně řádně kalibrovat.

Princip bezkontaktního měření umožňuje skenování interiérových a exteriérových dílů při stavbě prototypů na montáži a skenování tvarů, spár a přesahů při stavbě interiérových a exteriérových modelů. Skenovací hlava, připojená 10m kabelem, poskytuje rychlou odezvu a vysokou kvalitu naskenovaných dat. Rychlost snímání činí až 210 000 bodů za sekundu. Skener využívá technologii diodové laserové čáry o vlnové délce 660 nm se snímačem s dynamickým rozsahem. Měřicí rozsah činí 150±50 mm od skeneru. Rozlišení tohoto skeneru činí 0,075 mm (vzdálenost mezi vedlejšími body na laserové čáře). Laser Tracker funguje na základě interferometrického odměřování okamžité polohy sondy.

Pro práci s tímto SMS se v PC využívá program PolyWorks – produkt kanadské firmy InnovMetric využívající princip univerzální 3D metrologické softwarové architektury. Tento program lze dále rozšířit o moduly, které poskytují další možnosti jeho využití. Tento software je využíván jak pro kontaktní, tak pro bezkontaktní měření. Pro provádění kontroly rozměrovosti (rozměrové inspekce) je využíván Polyworks/Inspektor™Premium. Díky tomu lze měřit všechna geometrická primitiva, tvarové i polohové úchyly.

ZEISS ACCURA II RDS 9/12/8

Čtvrtým analyzovaným strojem používaným ve svařovně technologického vývoje oddělením kontroly kvality je portálový 3D souřadnicový měřicí CNC stroj firmy Carl Zeiss – ACCURA II RDS 9/12/8 z roku 2016. Fotografie tohoto zařízení je vložena v Příloze 4. Tento SMS se vyznačuje vysokou přesností měření (na

tisíciny milimetru). Jeho měřicí rozsah je však výrazně menší než u předchozích SMS – 900 mm v ose x, 1200 mm v ose y a 800 mm v ose z. Využívá se především pro kontrolu rozměrovosti mechanicky obráběných dílů s vysokým nárokem na přesnost rozměrovosti jako např. hlavy motoru, hlavy válců, ojnice, klikové hřídele, písty, ventily a další. Měřená jsou zde geometrická primitiva, úchyly tvaru (kruhovitost, válcovitost, rovinnost apod.), úchyly polohy (soustřednost, souosost, kolmost apod.) a další (rozteče otvorů apod.). Důležitým měřením je např. kontrola rovinnosti hlav válců a bloku motoru, která je nezbytná pro bezchybné fungování válců v motoru. Měření lze provádět jak manuálně, tak za pomoci CNC módu a tvoření CNC měřicích programů. Využíván je princip kontaktního měření s průměrem dotyku nejčastěji 3 mm (průměr lze zvětšit i zmenšit, na základě vlastností měřeného objektu a požadavků na přesnost) a s prodloužením dotyku maximálně 150 mm, aby se zachovala deklarovaná přesnost měření. Tu zajišťují mimo jiné i sklokeramická měřítka v osách stroje, která jsou méně náchylná např. k teplotní roztažnosti a opotřebování. Měřený objekt je upevněn na stacionární žulový stůl a ovládání měřicích pojezdů je zajišťováno obsluhou digitálního ovládacího pultu s dvěma joysticky (jeden pro pohyb v ose z a druhý pro pohyb v osách x a y). Pro měření je na pinole připojena měřicí hlava RDS-CAA (od firmy Zeiss), která se otáčí s krokem 2,5° o 360° v obou rovinách otáčení. Na hlavě je připojen pasivní skenovací senzor s možností prodloužení o 30–150 mm. Snímače senzoru jsou vyměnitelné a mezi varianty patří např. hvězdicový snímač, semi-hvězdicové snímače či L a T snímače. Maximální dovolená chyba je $E_0=(1,2+L/350)$ μm s pevnou hlavou a $E_0=(1,6+L/350)$ μm s otočnou hlavou. Pro měření jsou využívána CAD data, která jsou importována do softwaru Calypso, používaného pro práci na tomto SMS. Měřicí software Calypso CNC Geometry je plně grafický měřicí a vyhodnocovací software pro kontrolu pravidelných geometrických tvarů a úchylek polohy a tvaru (objektově orientované programování s podporou CAD dat). Jako u předchozích SMS je i zde prováděna pravidelná kalibrace za pomoci kalibrační koule. Povinná kalibrace SMS dle platných norem probíhá jednou za rok přímo firmou Zeiss.

DEA Delta

Předposledním analyzovaným SMS je mostový souřadnicový měřicí stroj Delta od společnosti DEA z roku 1991. Fotografie tohoto zařízení je vložena v Příloze 5. Tento SMS je převážně využíván pro měření tzv. DKM (Data Control Model). Ten také patří pod oddělení EGV/6 a dle funkčního zařazení je v této práci tento stroj také analyzován. Na SMS Delta se měří díly interiéru a exteriéru, přípravky či nosiče modelu vozu. Měření nosičů vozu a ustavování jejich patek a čoček je jednou z nejpřesnějších činností prováděných na tomto SMS (tolerance do 0,02 mm). U ostatních objektů se tolerance měření liší dle potřeb přesnosti měření. Měřené jsou plochy a spáry. Výsledek měření ploch na jednotlivých dílech je v toleranci 0,15 mm. Poté se jednotlivé díly dají do tzv. sestavy a zde jsou měřeny přesahy s tolerancí do 0,2 mm a plošné body s tolerancí do 0,4 mm. Měření spár je realizováno pomocí metrologických válečků v toleranci do 0,1 mm. Měřený objekt je upevněn na litinovou desku se sítí děr (50mm a 100mm síť děr souměrná dle osy x) pomocí kalených adaptérů (čepů). SMS DEA Delta má poměrně velký měřicí rozsah – 5000 mm v ose x, 2000 mm v ose y a 1500 mm v ose z a pohyb v osách je zajištěn pneumaticky (silou stlačeného vzduchu). Pohyb v osách je ovládán bezdrátovým ovladačem s joystickem připojeným k PC pomocí Bluetooth, což zvyšuje komfort obsluhy. Tímto ovladačem lze provádět většinu úkonů potřebných k měření v blízkosti SMS. Využívána je motorická indexovatelná hlava s průměrem dotyku 3 mm (možný menší i větší průměr v závislosti na měřeném objektu) a s volitelným prodloužením dotyku (100 mm, 200 mm, či více). Zařízení je průběžně kalibrováno na kalibrační kouli připevněné k desce a jednou za rok je prováděna kalibrace měrovým střediskem ŠA zajišťující splnění norem měření. Maximální dovolená chyba měření je $E_0=(25+L/50) \mu\text{m}$. Pro práci na tomto SMS je využíván software PC DMIS, který umožňuje vytváření programů a vyhodnocování výsledků měření s využitím dat z CAD modelu. Tento program pracuje na odlišné bázi než ostatní již zmíněné programy – veškeré kroky uživatele jsou zaznamenávány do textového okna, jehož výstupem je program. Jednotlivé kroky jsou zpětně editovatelné a CAD data jsou zobrazována či skrývána pomocí hladin zobrazení (přepínání CAD dat měřeného objektu např. na samotný díl a přípravek). Díky rozšiřujícím modulům nainstalovaným do tohoto

programu je portfolio možností měření velmi široké. Program dále umožňuje online vizualizaci měřicí hlavy v CAD datech.

ATOS III Triple Scan

Posledním současně používaným analyzovaným měřicím zařízením je ATOS III Triple Scan. Fotografie tohoto zařízení je vložena v Příloze 6. Jedná se o jediné plně bezkontaktní měřicí zařízení, které je na oddělení EGV/6 využíváno ke kontrole rozměrovosti. Tento měřicí stroj je obecně využíván pro dva druhy měření. Jedním z nich je samotná kontrola rozměrovosti bezkontaktním skenováním a druhým z nich je kombinace s fotogrammetrií. Při používání bezkontaktního skenování je na rozdíl od kontaktních SMS možné měřit např. i objekty s horkým povrchem či měkkým povrchem (pryž, polystyren, ...). Výhodou tohoto zařízení je i jeho mobilita, lze tedy snímat objekty takřka bez omezení váhy a velikosti. Naopak nelze měřit průhledné a lesklé objekty – ty je zapotřebí před skenováním zmatnit vhodným prostředkem (popsáno v části *Bezkontaktní metody měření* v této kapitole). V následující části je nejprve popsán postup a metoda snímání v kombinaci s fotogrammetrií a poté samotné skenování při kontrole rozměrovosti.

ATOS III Triple Scan v kombinaci s digitálním fotoaparátem Canon dokáže vytvářet prvotní CAD data snímaného objektu. K tomu je zapotřebí nejprve využít již zmiňovanou fotogrammetrii. Fotogrammetrie se zabývá rekonstrukcí tvarů a měřením rozměrů ze snímků fotoaparátu. K dosažení správného výsledku je potřeba dodržovat určené návaznosti postupu snímání. Nejprve je nutné snímaný objekt opatřit množstvím nekódovaných bodů neboli nalepovacích „koleček“ různých velikostí. Velikost průměru nekódovaného bodu je přímo úměrná velikosti snímaného objektu. Snímání tímto zařízením je možné rozdělit na čtyři kategorie dle velikosti snímaného objektu. Nejmenší snímaný záběr je čtverec o délce strany 150 mm. Největší ze záběrů je čtverec o délce strany 1000 mm. Čím větší je snímaná plocha, tím větší je zapotřebí průměr nekódovaného bodu. Po opatření objektu nekódovanými body je nutné objekt opatřit body kódovanými – křížovými sestavami definovaných „terčů“ o přesných vlastnostech (rozměry, barevné drážky, pořadové číslo). Poté se do prostoru snímání umístí kalibrační tyče. Přesnost kalibračních tyčí je v řádu tisícín milimetru. Následuje samotné fotogrammetrické snímání pomocí snímacího systému Tritop, kdy se digitálním

fotoaparátem pořídí sada fotografií z několika úhlů pohledu. V každém záběru fotoaparátu musí být umístěn kódovaný znak spolu s nekódovanými. Na základě rozmístění jednotlivých bodů poté příslušný software přiřadí 3D hodnoty (hodnoty v osách x , y , z) nekódovaným bodům. Poté se odstraní kódované body a kalibrační tyče a hodnoty poloh nekódovaných bodů se přehrají do softwaru pro skenování Atos Professional. Poté je objekt skenován zařízením Atos a dle již známých souřadnic nekódovaných bodů jsou k sobě adekvátně přiřazeny naskenované snímky. Z vytvořených a k sobě přiřazených snímků je vytvořena triangulační síť, která je poté upravena a převedena do podoby CAD dat, která se pak dále zpracovávají (např. porovnání rozměrnosti vozu před a po dlouhodobých zkouškách vozu). Na jeden vůz je zapotřebí přibližně 200 až 300 snímků zařízením Atos. Touto metodou lze měřit rozměrově malé i velké objekty. Pro vyšší přesnost měření rozměrných objektů je nutné nejprve aplikovat metody fotogrammetrie a poté skenování zařízením Atos. V případě měření objektů malých rozměrů lze použít pouze skenování zařízením Atos. Snímání pomocí zařízením Atos a fotogrammetrie je primárně využíváno při vytváření dat modelů vozů.

Druhým využitím bezkontaktního skenovacího zařízení Atos III Triple Scan je podobně jako u předchozích SMS kontrola rozměrnosti a určování odchylek. K určení odchylek je zapotřebí mít v programu příslušná CAD data s nominálními hodnotami. Měřený objekt je opatřen nekódovanými body a poté probíhá skenování metodou aktivního snímání, kdy je ze zařízení pomocí projektoru vysíláno na měřený objekt strukturované světlo. To se po dopadu na měřený objekt deformuje dle vlastností jeho povrchu. Zdeformované světlo je poté za použití stereovidění (snímacích kamer s CCD čipem na okrajích snímací hlavy) porovnáno s CAD daty. Na rozdíl od výstupu z kontaktních SMS (jednotlivé diskrétní body) je při použití bezkontaktního skenování výstupem mapa odchylek mezi naměřenými a nominálními hodnotami objektu, která bývá zpravidla doplněna o barevnou vizualizaci, která usnadňuje porozumění výsledkům měření. Snímání zařízením Atos je pro potřeby svařovny využíváno při kontrole rozměrnosti takových dílů, kdy je žádoucí znát správnost rozměrnosti po celém povrchu (např. střecha či kapota při zjišťování příčin tzv. „lupavky“).

Použití těchto metod bývá náročnější na objem naměřených a ukládaných dat než je tomu u kontaktních SMS. Při měření zařízením Atos je využíván software Atos Professional (skenování, fotogrammetrie) a Gom Inspect Professional (porovnávání s CAD daty a vyhodnocování měření). Kalibrace zařízení Atos III Triple Scan probíhá při každé změně kategorie velikosti měřeného objektu. Každá kategorie velikosti vyžaduje rozdílný projektor a rozdílné snímací kamery, které je nutné měnit. Projektor a kamery se kalibrují pomocí kalibračních desek. Po kalibraci je zařízení opět připraveno pro nové měření.

3.4 Zhodnocení současně používaných zařízení

Ačkoliv mají všechna současně používaná měřicí zařízení platnou kalibraci (vyžadováno zákonem i podnikovými a koncernovými normami), řada z používaných zařízení již zcela nespadá do vhodného standardu společnosti ŠA a koncernu VW. Jedním z důvodů je stáří jednotlivých zařízení, a tím pádem jejich opotřebování. Žádné ze zařízení nevykazuje takové známky opotřebování, že by již nezaručovalo výsledky měření v mezích deklarované tolerance, avšak tyto způsoby měření se již nejeví jako optimální. Současná rychlost snímání již také není vyhovující. Vzhledem k širokému spektru měřených objektů, různorodosti specifických požadavků na měření a měřicích činnostech na oddělení EGV/6 nelze nyní určit žádné jediné zařízení, které by dokázalo všechny tyto potřeby uspokojit. Trend metrologie v ŠA i v koncernu VW však jasně vykazuje vývoj směrem od kontaktních k bezkontaktním měřicím metodám a zařízením. Trend je následován postupně v návaznosti na plánované investice. Z tohoto důvodu je poslední část této práce věnována analýze potenciálně využitelného měřicího zařízení, které by mohlo být na oddělení EGV/6 v rámci optimalizace a modernizace měřicích metod využíváno. Obnova měřicí techniky zajistí zvýšení přesnosti měření, zvýšení kvality měřených a skenovaných dat (zvýšení počtu naskenovaných bodů) a zvýšení efektivity měření. V současné době nelze zajistit zvýšené požadavky odborných útvarů z důvodu nedostatečné kapacity měřicích strojů. V technickém vývoji není žádná jiná alternativa k přesnému měření a skenování dílů v nedostupných místech podkompletů a ke kvalitní analýze zjištěných závad při stavbě karoserií a prototypů, která musí vycházet z přesných naměřených dat. Obnova měřicí techniky přinese zajištění všech těchto požadavků odborných útvarů technického vývoje na měření a skenování plechových dílů a jejich

podsestav, plastových dílů, designových modelů, DKM modelů a zástavbových prototypových dílů v odpovídající kvalitě, množství a standardu VW.

4 Návrh pořízení nového měřicího zařízení

Vzhledem k výše uvedeným nedostatkům současných SMS, které již nedokáží naplňovat požadavky na měření, je žádoucí investovat do obnovy měřicích zařízení. Hlavním z důvodů nenaplňování požadavků na měření je stáří současně používaných SMS a s tím spojená vyšší poruchovost a nízká rychlost snímání. Pořízení nového měřicího zařízení je navrženo jako optimalizační řešení výše zmíněných problémů při měření. Současně toto zařízení splňuje předpoklad metrologického trendu ve společnosti ŠA a koncernu VW, a to přechod z kontaktních na bezkontaktní metody měření. V této části práce se autor zabývá charakteristikou technických parametrů, měřicích možností a implementací nového měřicího zařízení.



Zdroj: https://www.gom.com/fileadmin/user_upload/atos-scanbox/atos-scanbox-series-8-header.jpg
(3. 12. 2019)

Obr. 4 ATOS ScanBox série 8

Novým zařízením je ATOS ScanBox série 8 od společnosti GOM. Toto 3D optické měřicí zařízení funguje na bázi bezkontaktního měření a dokáže poskytnout celoplošné skeny a porovnání vůči CAD datům. Toto měřicí zařízení využívá při své činnosti program Gom Inspect Professional a program ATOS Professional s modulem virtuální měřicí místnosti, která poskytuje možnost simulace a kontroly

pohybů robota z důvodu bezpečnosti. Samotným měřicím aparátem je ATOS III Triple Scan v kombinaci s fotogrammetrickým zařízením (digitální fotoaparát). Měřený objekt je nejprve nasnímán digitálním fotoaparátem zabudovaným ve skenovací hlavě robota a poté jsou tyto snímky vyhodnoceny pomocí fotogrammetrie. Zde je nutné měřený objekt a jeho okolí opatřit nekódovanými body, kódovanými body a kalibračními tyčemi. Po provedení fotogrammetrického vyhodnocení je využit princip aktivní projekce strukturovaného světla vysílaného na měřený objekt projektorem umístěným na skenovací hlavě. Následně je povrch objektu snímán kamerami, které na základě destrukce projektovaného světla vyhodnotí strukturu povrchu a vypočítají odchylky naměřených hodnot od hodnot nominálních a software vytvoří barevnou mapu odchylek včetně měření všech otvorů. (Princip aktivního bezkontaktního měření popsán výše.) (MCAE Systems, 2019).

Mezi využití tohoto zařízení patří kontrola rozměrovosti a digitalizace platform, kompletních karoserií i vozů, modelů, odlitků, montážních dílů či frézovaných nástrojů. Jedná se o měřicí systém, který dokáže měřit kompletní karoserie a vozy zvenčí i zevnitř. Součástí tohoto měřicího systému jsou dvě robotická ramena, která dokáží snímat v režimu duplex i každé samostatně. Duplexní režim je zajištěn synchronním a koordinovaným měřením dvou robotů v jedné buňce ve střední části celého systému (prostor, ve kterém se nachází měřený objekt). Zde je možné měřit objekty o rozměrech až 13750 x 10150 x 3900 mm. Měření v duplexním režimu je využíváno při měření rozměrných objektů, jako např. karoserií, kdy obě robotická ramena dokáží měřit tento objekt současně vytvářením společné datové sady měření, jelikož operace robotů probíhá ve sdíleném souřadném systému. Osmiosý kinematický koncept umožňuje měření kompletních karoserií shora, zespodu, ze strany a zevnitř a současně zabírá velmi málo místa. Měření mimo režim duplex je umožněno díky odděleným měřicím buňkám po obou stranách zařízení, kdy každé z obou robotických ramen dokáže měřit zcela samostatně rozdílný objekt ve stejný okamžik. Součástí těchto samostatných měřicích buněk je rotační stůl, který umožňuje mnohonásobně zvýšit počet možných úhlů snímání, a tím pádem zvýšit efektivitu tohoto zařízení. Zde lze měřit objekty o rozměrech až 6000 x 2500 x 1500 mm (např. dveře vozů). Další výhodou tohoto zařízení je takřka neomezená váha měřeného objektu ve

střední části zařízení a maximální váha 2000 kg pro měření na rotačních stolech. Měřené objekty lze do měřicího zařízení ukládat ručně, paletovým či vysokozdvížným vozíkem a kladkovým jeřábem. Přesnost skeneru (bez použití fotogrammetrie) pro měřicí záběr 800 x 600 mm² je lepší než 0,03 mm na délce 300 mm. (MCAE Systems, 2019)

Toto zařízení poskytuje řadu výhod oproti zastaralým dotykovým SMS. Díky virtuální analýze dat lze dosáhnout zefektivnění práce a úspory času pracovníků karosárny při lícování panelových dílů (využití virtuální zástavby). Samotné skenování robotickými rameny uspoří čas pracovníkům kontroly kvality, jelikož tato metoda je rychlejší než současné kontaktní měření na zařízení ZETT MESS - na základě porovnání různých zařízení bylo také zjištěno, že ruční skenování je minimálně o třetinu pomalejší než skenování robotické. Další výhodou je komplexní výstup v podobě barevných map odchylek, díky kterým lze, na rozdíl od dotykového měření, měřit a vyhodnocovat rádiusy a tornádolinie vozů. Toto zařízení je kompatibilní s měřicími zařízeními napříč koncernem VW a dosáhne se standardizace měřících postupů v rámci koncernu. Díky tomuto zařízení bude oddělení kontroly kvality schopné zajistit budoucí navýšené poptávky měření v rámci celého technického vývoje při vyšší produktivitě a efektivitě měření.

Návratnost investice do tohoto zařízení byla odhadnuta na základě porovnání pořizovací ceny zařízení (včetně veškerých komponentů, licenčních poplatků a ostatních nákladů) a ceny za externí provedení všech měření, která by musela být objednána z důvodu požadovaných měření. S ohledem na obchodní tajemství, nemohou být v této práci zveřejněny částky finančních prostředků, za které by společnost zařízení nakoupila, či za které by zajistila externí zpracování. Na základě provedených odhadů lze však tvrdit, že roční úspora nákladů na externí měření by přesáhla pořizovací cenu zařízení, a tudíž že prostá doba návratnosti investice nepřesáhne dvanáct měsíců.

Následující přehled znázorňuje významné přínosy vzniklé při pořízení tohoto měřicího zařízení:

- následování trendu bezkontaktního měření,
- tvorba celoplošných skenů povrchů (ne pouze jednotlivých bodů),
- výstup v podobě přehledně vypovídajících barevných map,

- schopnost měřit všechny potřebné objekty z celého oddělení EGV/6 z hlediska váhy a rozměrů,
- úspora výdajů za externí zpracování měření,
- zajištění zvýšené poptávky měření,
- zvýšení rychlosti snímání,
- úspora času zaměstnanců,
- zvýšení celkové efektivity měření.

Závěr

Metrologie, jakožto nedílná součást kvality, má význam jak v oblasti průmyslové či legislativní, tak i v občanských životech. Stejně jako většina ostatních vědních a technických oborů, i metrologie se postupem času vyvíjí a zdokonaluje. Hlavně v oblastech legislativy a průmyslu je důležité, aby byly metrologické nástroje, zařízení a postupy řízeny moderními a optimálními metodami s cílem zvyšování celkové efektivity systému metrologie. Právě modernizací a optimalizací metrologických prvků se tato práce zabývala.

Cílem teoretické části bakalářské práce bylo charakterizovat poznatky z oblasti metrologie včetně jejího vývoje a organizačního členění v České republice. Dále pak byla stručně představena společnost ŠKODA AUTO a.s. se zaměřením na fungování a zásady metrologie v této společnosti a ve svařovně technického vývoje.

V praktické části práce bylo analyzováno využití jednotlivých současně používaných měřicích zařízení. Každé ze šesti analyzovaných zařízení má své výhody i nevýhody. Je nutné podotknout, že žádné není schopné zajistit všechny potřeby měření. Z důvodu stárí, poruchovosti a nedostatečné rychlosti a flexibility těchto zařízení bylo navrženo optimalizační řešení. Toto řešení spočívá v pořízení nového měřicího zařízení, které na rozdíl od většiny současných zařízení využívá bezkontaktní metody měření, tzv. skenování, za použití velmi moderních technologií. Využíváním bezkontaktních metod měření dokáže zároveň toto oddělení udržet krok s trendem udávaným koncernem VW – a to právě přechod od kontaktních na bezkontaktní měřicí zařízení. Dle informací vyplývajících z výhledů společnosti do příštích několika let dojde ke zvýšení poptávky měření. Z tohoto důvodu oddělení kontroly kvality potřebuje disponovat takovým zařízením, které by bylo schopné tyto požadavky řádně zajistit. Nové zařízení by dokázalo nahradit většinu současně používaných zařízení, při zachování vysoké efektivity a přesnosti měření. Zároveň by díky tomuto zařízení bylo možné měřit široké portfolio objektů z hlediska rozměrovosti. Veškeré prováděné měření by pomohlo zredukovat průměrný čas potřebný k měření právě díky automatizovanému robotickému měření, které je minimálně o třetinu rychlejší než ruční skenování. Z provedeného investičního návrhu lze odhadovat (na základě

porovnání pořizovací ceny a ceny za externí provedení), že prostá návratnost této investice by neměla přesáhnout dvanáct měsíců.

Na základě provedené analýzy využití jednotlivých současně používaných měřicích zařízení a všech informací a faktů uvedených v této práci lze jednoznačně doporučit provedení modernizace a optimalizace měřicích zařízení právě investicí do nového měřicího zařízení ATOS ScanBox série 8.

Seznam literatury

ČESKO. Zákon č. 505 ze dne 16. listopadu 1990 o metrologii. In: Sbíрка zákonů České republiky. 1990. Dostupný také z: <https://www.mpo.cz/assets/dokumenty/47593/53703/594938/priloha001.doc>

Český metrologický institut [online]. Brno: ČMI, 2019a [2019-10-07]. Dostupné z: <https://www.cmi.cz/komentovany%20zakon%20o%20metrologii>

Český metrologický institut [online]. Brno: ČMI, 2019b [2019-12-02]. Dostupné z: <https://www.cmi.cz/node/537>

FRANK, Petr. *Metodika zabezpečování optimální přesnosti měření v souladu s metrologickou konfirmací*. Brno: Vysoké učení technické v Brně. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky, 2009. 163 s. Vedoucí disertační práce Prof. Ing. Karel Hruška, DrSc.

GORTHI, S. S. a P. RASTOGI. Fringe Projection Techniques: Whither we are?. *Optics and lasers in engineering* [online]. 2010, roč. 48, č. 2, s. 133-140 [2019-12-02]. ISSN 0143-8166. Dostupné z: <http://infoscience.epfl.ch/record/140745/files/OLEN.pdf>

HOWARTH, Preben, ed. *Metrologie v kostce: ... s doplňky a poznámkami: projekt Euromet č. 595*. V české mutaci 1. vyd. Praha: Sdělovací technika, 2002. ISBN 80-86645-01-0.

In-line-měřicí technika pro zpětné sledování ve stavbě karoserií: dodatek k příručce VDA 5, Vhodnost kontrolních procesů. Přeložil Pavel NĚMEČEK. Praha: Česká společnost pro jakost, 2013. Management jakosti v automobilovém průmyslu. ISBN 978-80-02-02476-7.

Interní dokumentace ŠKODA AUTO a.s., 2019

KOPŘIVA, František. Metrologie ve ŠKODA AUTO a.s. *Metrologie*. 2017, **26**(2), 34 – 38

LUDVÍK, Vladimír. *Nejistoty měření, přesnost měření, správnost měření a otázky spojené se vzájemnou porovnatelností výsledků měření a s prohlášením o shodě s technickými specifikacemi*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005. Sborníky technické harmonizace.

MCAE systems [online]. Kuřim: MCAE Systems, s.r.o., 2019 [2019-12-03]. Dostupné z: <https://www.mcae.cz/cs/produkty/atos-scanbox-3d-opticke-merici-zarizeni/>

NENADÁL, Jaroslav. *Management kvality pro 21. století*. Praha: Management Press, 2018. ISBN 978-80-7261-561-2.

PETŘKOVSKÁ, Lenka a Lenka ČEPOVÁ. *Metrologie a řízení kvality: učební text*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2012. ISBN 978-80-248-2771-1

ŠKODA AUTO a.s. *Výroční zpráva 2018. Mladá Boleslav: ŠKODA AUTO a.s., 2019*

TŮMOVÁ, Olga. *Metrologie a hodnocení procesů*. Praha: BEN-technická literatura, 2009. 232 s. ISBN 978-80-7300-249-7.

Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví [online]. Praha: ÚNMZ, 2019 [2019-10-01]. Dostupné z: <http://www.unmz.cz/urad/narodni-metrologicky-system-ceske-republiky>

Vhodnost kontrolních procesů: vhodnost měřících systémů, vhodnost procesů měření a kontroly, rozšířená nejistota, posuzování shody. Praha: Česká společnost pro jakost, 2011. Management jakosti v automobilovém průmyslu. ISBN 978-80-02-02307-4.

Seznam obrázků

Obr. 1 Zúčastněné subjekty NMS ČR	10
Obr. 2 Řetězec návaznosti měřidel	12
Obr. 3 Motorická indexovatelná snímací hlava.....	24
Obr. 4 ATOS ScanBox série 8.....	38

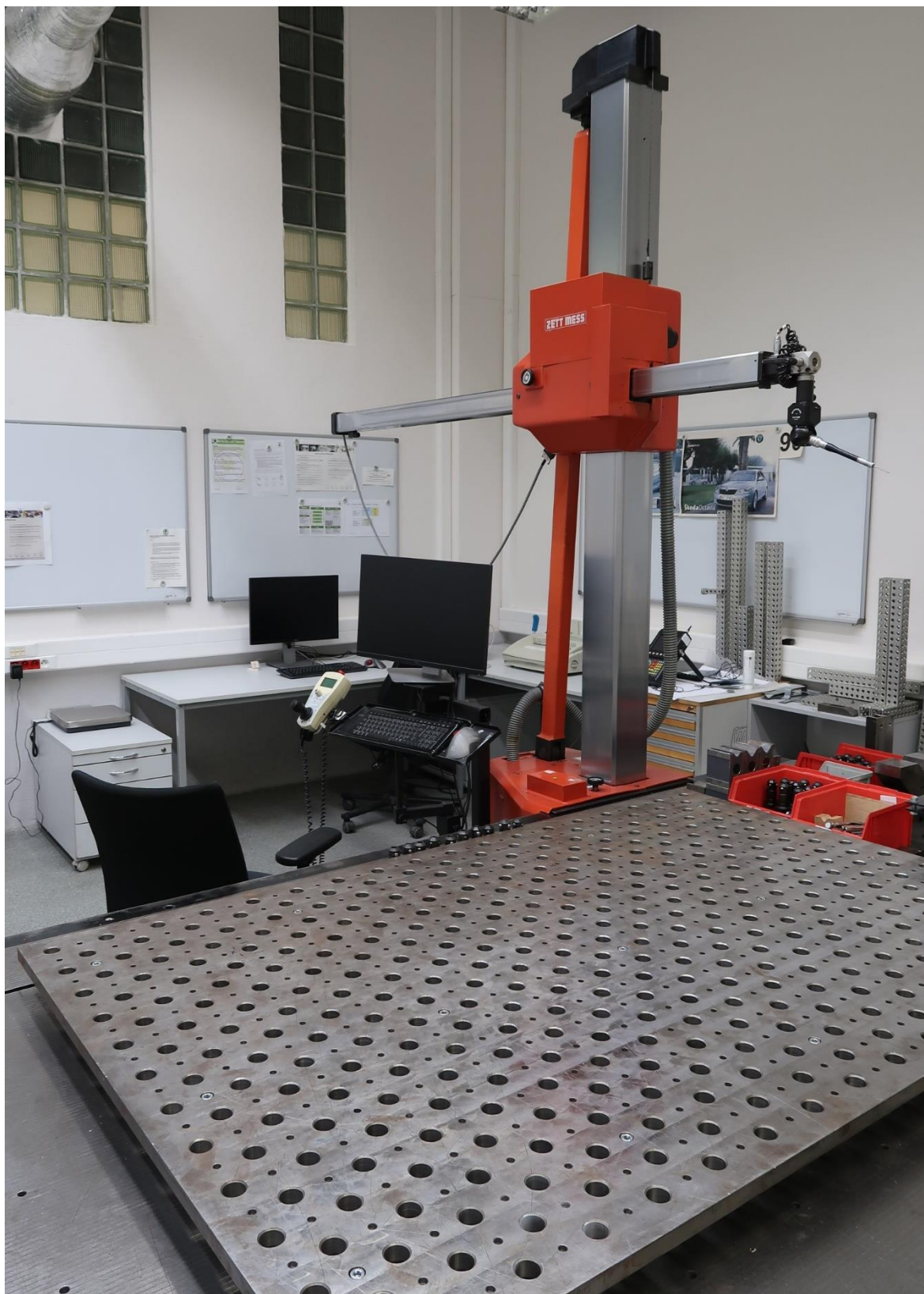
Seznam příloh

Příloha 1 ZETT MESS AMVFL/S 24/16 / CNC	48
Příloha 2 ZETT MESS AMS 15/15 / CNC	49
Příloha 3 Leica Absolute Tracker AT960-MR, T-Probe a T-Scan.....	50
Příloha 4 ZEISS ACCURA II RDS 9/12/8	51
Příloha 5 DEA Delta	52
Příloha 6 ATOS III Triple Scan	53

Příloha 1 ZETT MESS AMVFL/S 24/16 / CNC



Příloha 2 ZETT MESS AMS 15/15 / CNC



Příloha 3 Leica Absolute Tracker AT960-MR, T-Probe a T-Scan



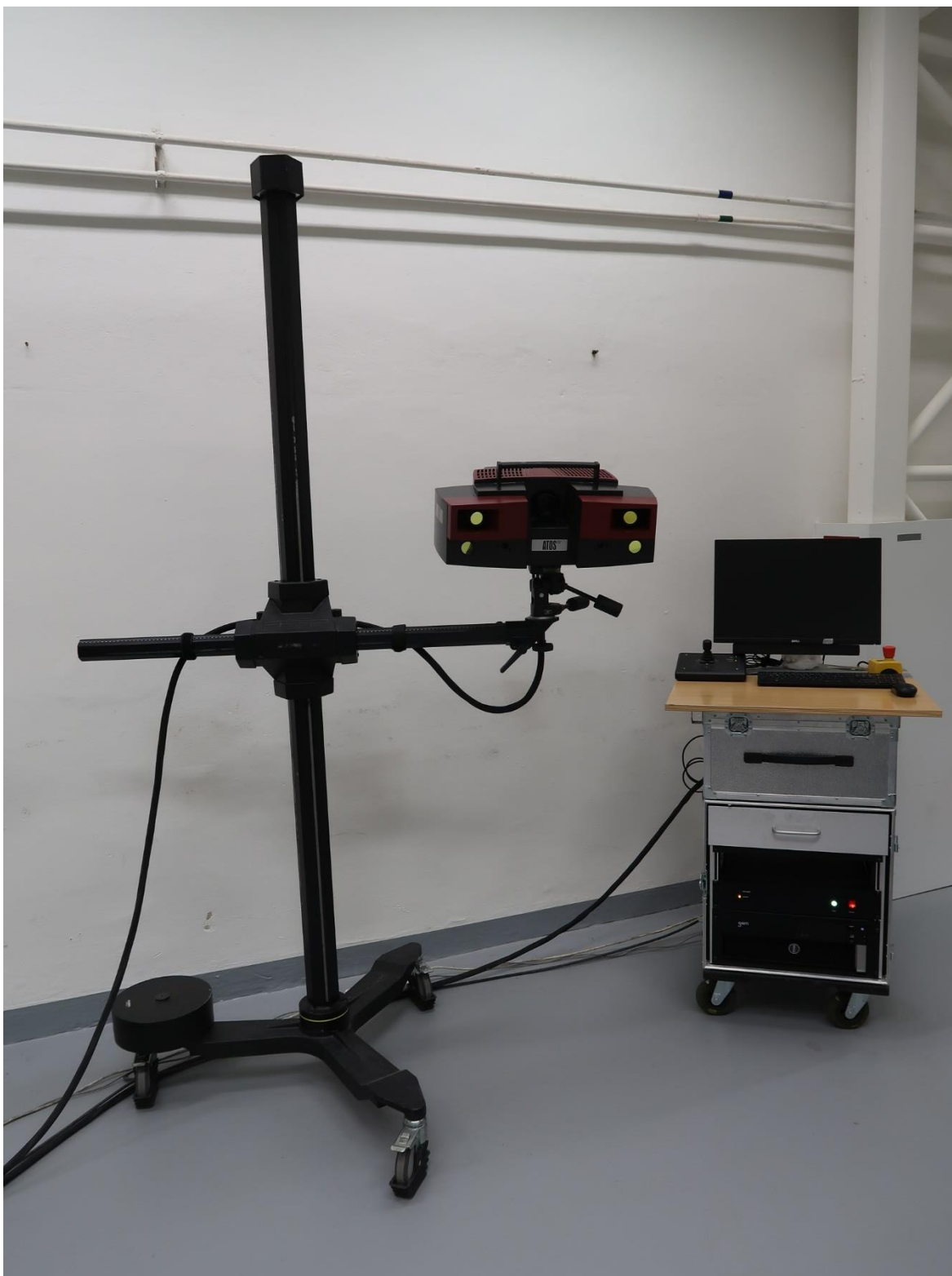
Příloha 4 ZEISS ACCURA II RDS 9/12/8



Příloha 5 DEA Delta



Příloha 6 ATOS III Triple Scan



ANOTAČNÍ ZÁZNAM

AUTOR	Daniel Svoboda		
STUDIJNÍ PROGRAM/OBOR/SPECIALIZACE	6208R186 Podniková ekonomika a řízení provozu, logistiky a kvality		
NÁZEV PRÁCE	Optimalizace měřících zařízení při stavbě prototypů ve ŠKODA AUTO a.s.		
VEDOUČÍ PRÁCE	Ing. et Ing. Martin Folta, Ph.D., EUR ING		
KATEDRA	KRVLK - Katedra řízení výroby, logistiky a kvality	ROK ODEVZDÁNÍ	2019
POČET STRAN	53		
POČET OBRÁZKŮ	4		
POČET TABULEK	0		
POČET PŘÍLOH	6		
STRUČNÝ POPIS	<p>Autor v úvodu této práce charakterizuje teoretické poznatky z oblasti metrologie a představuje společnost ŠKODA AUTO a.s. V následující části jsou analyzovány současně používané měřící zařízení sloužící ke kontrole rozměrovosti ve svařovně prototypů v technologickém vývoji společnosti. Poslední část práce se věnuje modernizaci a optimalizaci měřících zařízení. Je představen optimalizační návrh formou investice do nového měřícího zařízení, které by dokázalo zajistit všechny požadavky na měření.</p>		
KLÍČOVÁ SLOVA	bezkontaktní měření; metrologie; optimalizace; souřadnicové měřící stroje		

ANNOTATION

AUTHOR	Daniel Svoboda		
FIELD	6208R186 Business Administration and Operations, Logistics and Quality Management		
THESIS TITLE	Optimization of measuring equipment in prototype construction at ŠKODA AUTO a.s.		
SUPERVISOR	Ing. et Ing. Martin Folta, Ph.D., EUR ING		
DEPARTMENT	KRVLK - Department of Production, Logistics and Quality Management	YEAR	2019
NUMBER OF PAGES			
	53		
NUMBER OF PICTURES			
	4		
NUMBER OF TABLES			
	0		
NUMBER OF APPENDICES			
	6		
SUMMARY	<p>In the introduction of this work the author characterizes theoretical knowledge in the field of metrology and introduces the company ŠKODA AUTO a.s. The following part analyzes the currently used coordinate measuring machines for dimensionality control in the prototype welding shop in the technological development department of the company. The last part is devoted to the modernization and optimization of coordinate measuring machines. An optimization proposal is presented in the form of an investment in a new coordinate measuring machine that could meet all the measurement requirements.</p>		
KEY WORDS	<p>contactless measurement; coordinate measuring machine; metrology; optimization</p>		