

Koncepce metrologie při výrobě malého dopravního letounu

Zbyněk Skovajsa

Bakalářská práce
2015/2016

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Zbyněk Skovajsa**
Osobní číslo: **T140141**
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **koncepte metrologie při výrobě malého dopravního letounu**

Zásady pro vypracování:

- 1. zpracujte literární část na dané téma BP**
- 2. vypracujte seznam norem pro tuto práci a jejich popis**
- 3. popište aktuální stav metrologie**
- 4. zpracujte návrh metrologie pro další období**

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

Dle doporučení vedoucího bakalářské práce.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Milena Kubišová

Ústav výrobního inženýrství

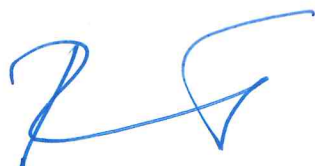
Datum zadání bakalářské práce:

8. ledna 2016

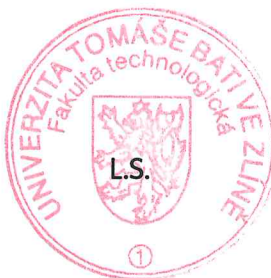
Termín odevzdání bakalářské práce:

20. května 2016

Ve Zlíně dne 3. února 2016



doc. Ing. František Buňka, Ph.D.
děkan



prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.
ředitel ústavu

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 18.5.2016



.....

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

³⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpirá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Zavedením letounu L410NG do sériové výroby je potřeba změnit i koncepci metrologie při výrobě. Zjistit, zdali stávající vybavenost kontrolních pracovišť je dostatečná, nebo je potřeba investovat do nových zařízení, zejména ve vztahu ke kontrole dílců integrálních nádrží.

Klíčová slova: Metrologie, L410, sériová výroba, prototyp

ABSTRACT

Due to the Introduction of the aircraft L410NG into the serial production is needed to change the metrology conception in the production. Find out if current facilities of checking posts is sufficient or it is necessary to invest into new devices, mainly in relation with inspection of elements of integral tanks.

Keywords: Metrology, L410, Batch Production, Prototype

Zde bych chtěl poděkovat Ing. Mileně Kubišové za pomoc při zpracování mé závěrečné bakalářské práce, Pavlu Blažkovi, řediteli KV a MTO, za dobře mířené rady ohledně výkladu leteckých norem. Dále bych rád poděkoval své rodině a kamarádům za podporu po celou dobu mého studia.

Tato práce byla podpořena interním grantem z UTB ve Zlíně IGA/FT/2016/005 a financovaná z fondů pro specifický akademický výzkum.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická, nahraná do IS/STAG, jsou totožné.

OBSAH

ABSTRAKT	6
ÚVOD.....	10
I TEORETICKÁ ČÁST.....	12
1 NEJZNÁMĚJŠÍ LETOUNY VYRÁBĚNÉ V KUNOVICÍCH.....	13
1.1 L200 MORAVA	13
1.2 Z-37 ČMELÁK	13
1.3 L-29 DELFÍN	14
1.4 L-410 XXX.....	14
1.4.1 L-410A	14
1.4.2 L-410AS	15
1.4.3 L-410AB	15
1.4.4 L-410AF.....	15
1.4.5 L-410M	16
1.4.6 L-410MA.....	16
1.4.7 L-410UVP	17
1.4.8 L-410FG	17
1.4.9 L-410UVP-E	18
1.4.10 L-410UVP-E20	18
1.4.11 L-410NG	22
2 JAKOST VÝROBY: OVĚŘOVÁNÍ SHODY S NÁVRHEM.....	24
2.1 SYSTÉM KONTROLY VÝROBY.....	24
2.2 ZABEZPEČENÍ SYSTÉMU JAKOSTI.....	26
3 METODY MĚŘENÍ VE VÝROBĚ.....	27
3.1 OPERAČNÍ MĚŘIDLA	27
3.2 KOMUNÁLNÍ MĚŘENÍ.....	29
3.3 MĚŘICÍ PŘÍSTROJE	32
3.3.1 1 D – přístroj dokáže měřit pouze v jedné ose	32
3.3.2 2 D – přístroj dokáže měřit ve dvou osách:.....	33
3.3.3 3 D – přístroj, který dokáže měřit ve třech osách	35
3.3.4 Výhody a nevýhody měření na SMS	38
3.3.5 Výhody a nevýhody 3D skenerů	39
3.4 MĚŘICÍ STANICE	40
4 CÍL BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	41
II PRAKTICKÁ ČÁST	42
5 DÍLNA TŘÍSKOVÉHO OBRÁBĚNÍ	43
5.1 STÁVAJÍCÍ STAV	43
5.2 NOVÁ KONCEPCE.....	43
5.3 APLIKACE NOVÉ KONCEPCE.....	45
6 TVÁŘENÍ.....	56

6.1	STÁVAJÍCÍ STAV	56
6.2	NOVÁ KONCEPCE.....	56
6.3	APLIKACE NOVÉ KONCEPCE.....	57
7	MĚROVÁ LABORATOŘ.....	59
7.1	NOVÁ KONCEPCE.....	59
	ZÁVĚR	60
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	61
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	63
	SEZNAM OBRÁZKŮ	64

ÚVOD

V roce 1936 vznikl v Kunovicích pobočný závod továrny na výrobu letadel AVIA Letňany. Po svém vzniku fungoval jako opravárenský závod letounů typu AVIA. Po okupaci Československa fungoval jako opravárenský závod Luftwaffe, a to v převážné míře pro stroje Junkers W 34 a Arado Ar 96b. Po skončení války byl podnik znárodněn a opravoval snad všechny typy letounů, které v tehdejší Československu létaly.[1]

Na začátku 50. let byla zahájena výstavba nového závodu (dnešní areál podniku), do kterého se přesunula výroba v té době vyráběného sovětského stroje JAK 11. Později byla v podniku vyráběna modernizovaná verze letounu AERO Ae 45, resp. AERO Ae 145. V roce 1957 přistoupil podnik ke konstrukci prvního samostatného letounu L 200 Morava a o čtyři roky později ke konstrukci zemědělského letounu Z 37 Čmelák. Společnost vyráběla i cvičný proudový letoun L 29 Delfin. V roce 1969 byl zalétán snad nejúspěšnější výrobek Kunovického závodu – letoun L 410. Tohoto letounu bylo v různých verzích a modifikacích do současnosti vyrobeno již přes 1 100 ks a výroba bez přerušení pokračuje i nyní.[1]

Na začátku 90. let minulého století byl vyvíjen a testován 40místný letoun L 610 G, tento projekt byl ale bohužel předčasně ukončen. [1]

V roce 1998 se většinovým akcionářem stala americká společnost Ayres Corporation Inc., která zahájila vývoj nákladního letounu LM 200 Loadmaster. [1]

Novodobá historie společnosti se datuje od září roku 2005, kdy se posledním vlastníkem stala česká obchodní společnost Pamco a byla vytvořena opět nová společnost. Podnik nyní úspěšně vystupuje pod názvem Aircraft Industries, a.s. V červnu roku 2008 se vlastníkem 51 % akcií podniku stala významná ruská průmyslová společnost Ural Mining and Metallurgical Company (UGMK). V srpnu 2013 společnost UGMK nabyla zbývající podíl akcií ve společnosti Aircraft Industries, a.s. a stává se tak jejím 100% vlastníkem. [1]

V roce 2010 byl poprvé představen návrh modernizace letounu L410 označený NG, který se vyznačuje mnoha změnami. Těmi nejzásadnějšími je dvojnásobné zvětšení předního zavazadlového prostoru, zvýšení MTOW, změna konstrukce a technologie výroby křídla letounu s integrálními nádržemi, což znamená zvýšení maximálního množství paliva.

Zavedením letounu L410NG do sériové výroby je potřeba změnit i koncepci metrologie při výrobě. Zjistit, zdali je stávající vybavenost kontrolních pracovišť dostatečná, nebo je potřeba investovat do nových zařízení. [2]

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 NEJZNÁMĚJŠÍ LETOUNY VYRÁBĚNÉ V KUNOVICÍCH

Letoun nesoucí označení L410, kterého bylo za 40 let vyrobeno více než tisíc kusů v různých verzích, je ve světě dobře znám. V Kunovicích nebyla ale vyráběna jen verze L410, ale i jiné letouny. [1]

1.1 L200 MORAVA

Pětimístný dopravní letoun: jeden pilot + 4 cestující, ve výrobě od 1957 do 1964, vyrobeno cca 360 ks. [6]



obr. 1: L200 Morava [6]

1.2 Z-37 ČMELÁK

Jednomístný zemědělský jednomotorový letoun vyvinut a vyráběn ve spolupráci s n. p. Moravan Otrokovice. Určený k rozprašování sypkých hmot nebo postřiku. Ve výrobě od 1965 do 1987. Celkem vyrobeno 713 ks. [6]



obr. 2: Z-37 čmelák [11]

1.3 L-29 DELFÍN

Dvoumístný cvičný proudový letoun, vyráběn zároveň i v AERO Vodochody. Ve výrobě od 1963 do 1973. Celkem vyrobeno 1 722 ks. [6]



obr. 3: L29 – delfín [12]

1.4 L-410 XXX

Letounu L410 bylo od roku 1969 vyrobeno několik variant:

1.4.1 L-410A

První sériová verze L410 osazená motory PT6A-27 s třílistými vrtulemi HC-B3TN-3D o průměru 2,3m. MTOW navýšena na 5700kg. První čtyři letouny byly použity k testování v extrémních povětrnostních podmínkách při teplotách vzduchu od -40°C do 44°C . [14]



obr. 4 L410A [13]

1.4.2 L-410AS

Salónní provedení pro VIP klienty.



obr. 5 interiér VIP verze [15]

1.4.3 L-410AB

Změna na čtyřlistou vrtuli Hartzell HC-B4-TN-3 [14]

1.4.4 L-410AF

Fotogrammetrická verze postavená na základě požadavku maďarského zákazníka, vyroben jediný exemplář. Přední část trupu jako kabina letovoda byla prosklená, předový podvozek musel zůstat nezatažitelný. Letoun sloužil pro svislé snímkování terénu pro vytvoření map. [14]



obr. 6 L-410AF imatrikulace HA-YFA [13]

1.4.5 L-410M

Z důvodu požadavku aby na letounu byly motory a vrtule vyrobeny na území bývalého sovětského svazu, došlo ke změně na motory Walter M-601A a vrtule Avia V-508. Tyto motory a vrtule byly vyráběny na území Čech. Motor ve společnosti Motorlet – nyní GE aviation CZ. [14]



obr. 7 L-410M [13]

1.4.6 L-410MA

Letoun osazen novými motory Walter M-601B a vrtulemi Avia V-508B. [14]



obr. 8 L410MA [13]

1.4.7 L-410UVP

Tato verze vznikla na základě požadavků a připomínek zákazníků ze sovětského svazu. Zákazníci požadovali, aby letoun byl schopen operovat z nejmenších letišť s nezpevněnou ranvejí a za extrémních klimatických podmínek. Došlo ke zvýšení prázdné hmotnosti z důvodu zpevnění draku a zvětšení vnějších rozměrů. Rozpětí o 2m, délka o 87mm výška 18mm. Počet sedaček cestujících byl snížen na 15 míst. [14]



obr. 9 L-410UVP [13]

1.4.8 L-410FG

Dokonalejší fotogrammetrická verze vycházející z draku letounu UVP. Letoun byl vybaven první autopilotem Československé konstrukce a výroby (AP-410). [14]



obr. 10 L-410FG v barvách AČR [13]

1.4.9 L-410UVP-E

Z důvodu požadavku na ekonomii provozu vznikla verze UVP-E, která zákazníkovi nabízela řadu vylepšení. Byla posunuta toaleta a zavazadlový prostor, tím vzniklo místo pro další čtyři sedadla. Bylo zesíleno křídlo, takže mohly být instalovány kapkovité nádrže o kapacitě 200 litrů paliva na konci křídel. Byl zvýšen MTOW z 5800kg na 6400kg. Osazeny motory Walter M-601E o výkonu 560kW a nové pětistupňové vrtule V-510 vybavené systémem ručního i automatického praporování, a také snížili hlučnost letounu. Letoun byl certifikován dle ruského předpisu NLGS-2. [14]



obr. 11 L-410UVP-E [13]

1.4.10 L-410UVP-E20

Poslední sériově vyráběná verze letounu. Certifikována dle amerického předpisu FAR23, tato certifikace umožnila provozovat letouny v západních zemích, africe, jižní americe. FAR23 nebyl tak přísný jako NLGS-2, po přepočtu konstrukce draku letounu bylo možné zvýšit MTOW na 6600kg. Byly doplněny nouzové východy pod křídla. Nově instalována avionika západního typu – Bendix King, Honeywall. V roce 2008 došlo k modifikaci na digitální palubní desku. Byl zaveden systém vestavby kitů jednotlivých verzí interiéru kabiny cestujících, sanitní kit pro leteckou ambulanci, který je vybaven šesti lehátky a stol-

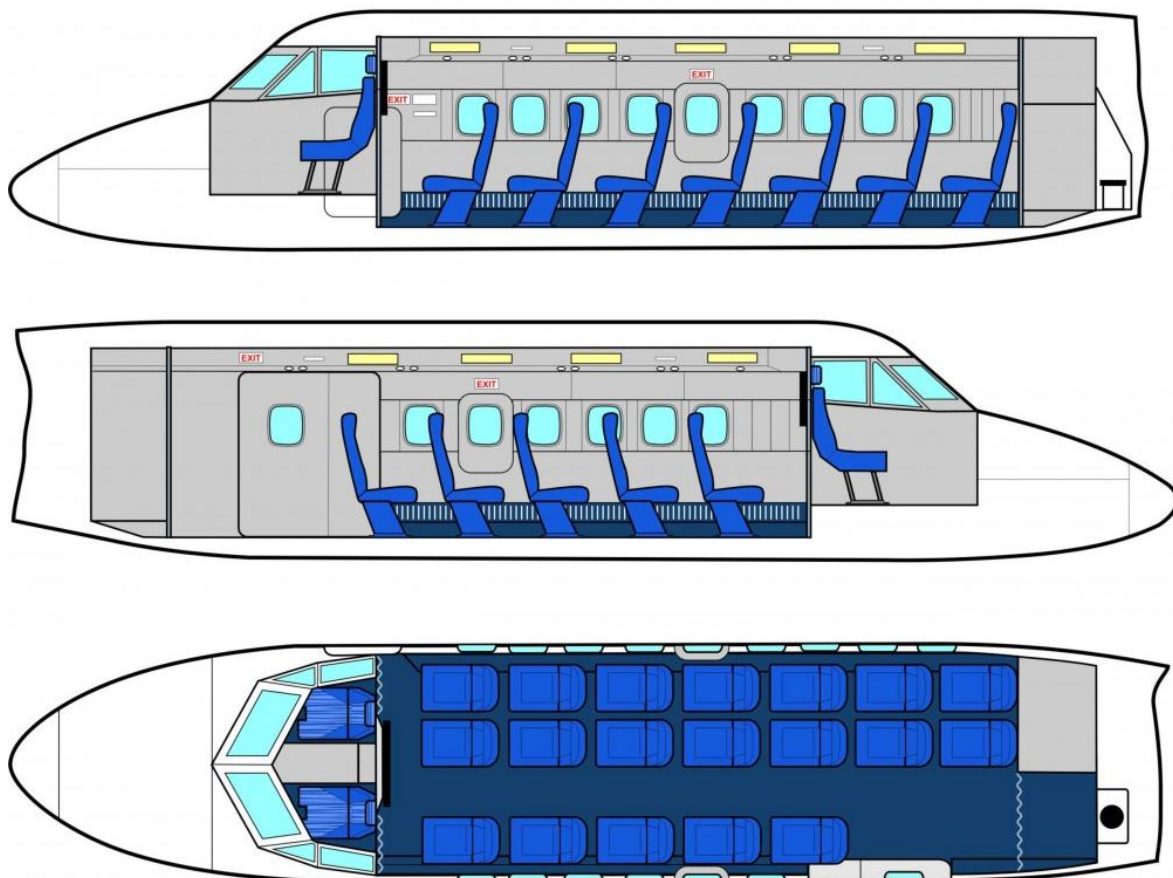
kem a sedadlem pro lékaře, cargokit, VIP, parakit, možnost instalace sklopných sedaček pro rychlou přestavbu na cargokit. [14]



obr. 12 L-410UVP-E20 [13]



obr. 13 L-410UVP-E20 kokpit [16]



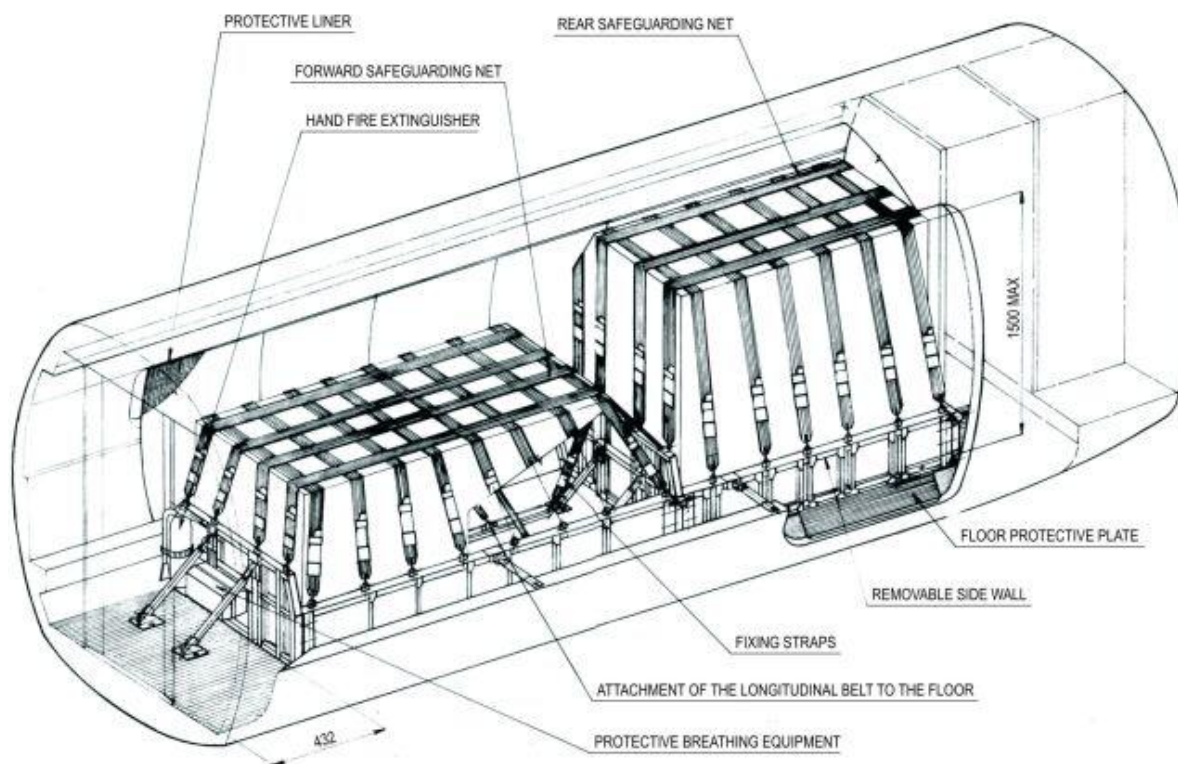
obr. 14 L-410UVP-E20 standardní pasažérská verze pro 19 cestujících a 2 piloty [16]



obr. 15 L-410UVP-E20 sklopné sedačky [16]



obr. 16 L-410UVP-E20 sanitní kit [16]



obr. 17 L-410UVP-E20 cargokit [16]



obr. 18 L-410UVP-E20 parakit [16]

1.4.11 L-410NG

V červenci 2015 vzlétl poprvé prototyp verze L410NG. Jedná se o přepracovaný letoun z nově zkonstruovaným křídlem a prodlouženou přední nosovou částí o 800mm. Osazen novým turbovrtulovým motorem H85-200 BC04 o výkonu 850k, novou vrtulí Avia AV725, která má vylepšený systém synchronizace vrtulí. Na letounu je kompletní digitální palubní deska – tzv glass cockpit. Poprvé v historii bude na letounu použita filosofie „de-mage tolerance“ pro zvýšení životnosti draku. [17]



obr. 19 L-410NG [17]



obr. 20 L-410NG kokpit [17]



obr. 21 L-410NG foto ze zkušebního letu [18]

Letoun L-410NG bude nabízen ve stejných variantách kabiny cestujících jako verze UVP-E20, tedy kabina cestujících pro 19 pasažérů, sanitní kit, cargo kit, VIP, parakit. Dále je možné kabinu cestujících upravovat dle speciálních požadavků zákazníků. [17]

2 JAKOST VÝROBY: OVĚŘOVÁNÍ SHODY S NÁVRHEM

Už od dob římské říše byl zájem o to, jak výrobek, který byl směněn na trhu, slouží. Začalo se proto používat slovo „kvalita“, jehož synonymem je „jakost“. Nejstarší výklad slova „kvalita“ pochází již z dob Aristotela, ale pro moderní výrobní společnost již vhodný není. Tak jako není vhodné použít slogan „jakost je naprostá spokojenost zákazníků“, protože toto tvrzení ovlivňují různé kategorie požadavků zákazníků. [4]

Proto byla pro aktuální část historie vypracována univerzální definice, která má svoji významnou důležitost. Tato definice je uvedena v normě ČSN ISO 8402, kde je uvedeno, že „jakost“ je celkový souhrn znaků, charakteristik a entit, které dokáží ovlivnit schopnost správné funkce dílce, zařízení či sestavy. [4]

Požadavek na ověření shody s typovým návrhem je v letectví dán normou *Část 21 – přijatelné způsoby průkazu a poradenský materiál pro certifikaci letové způsobilosti letadel a souvisejících výrobků, letadlových částí a zařízení a certifikaci ochrany životního prostředí a dále certifikaci projekčních a výrobních organizací*, vydanou Evropskou agenturou pro bezpečnost letectví EASA. Tato norma představuje sbírku veškerých požadavků od projekčního návrhu až po uvolnění letounu k letu. Oblast výroby je definována v oddílu A hlava F – *Výroba bez oprávnění organizace k výrobě* a oddílu A hlava G – *Oprávnění organizace k výrobě pro výrobky, letadlové části a zařízení*. [3]

2.1 Systém kontroly výroby

Prokazování shody, dle Části 21 – oddíl A, hlava F, *jednotlivý výrobek, letadlová část nebo zařízení*, v této souvislosti znamená, že shoda s použitelnými údaji má být stanovena a prokázána pro každý výrobek, letadlovou část nebo zařízení bez výjimky. [3]

Systém kontroly výroby – funkční zkoušky: všechny vyráběné položky by měly být podrobovány kontrolám prováděných ve vhodných fázích výroby, které dovolují efektivní ověření shody s konstrukčními údaji.

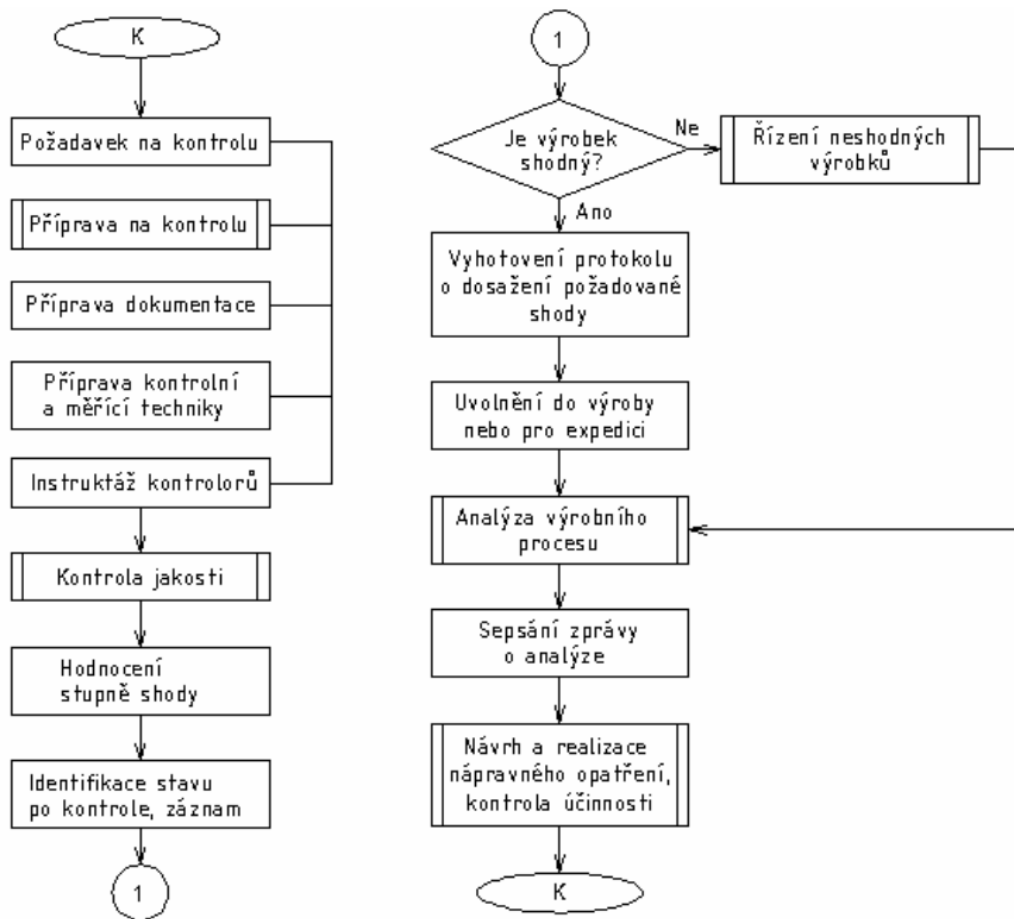
Úvahy o složitosti položky a/nebo její integraci v další výrobní etapě do značné míry určí povahu a dobu těchto zkoušek, například:

- Zařízení – vyžadují úplné funkční zkoušky podle specifikací.

- Letadlové části – vyžadují alespoň základní zkoušky stanovení shody, ale smí být povoleny přiměřené úlevy vzhledem k následným zkouškám prováděným v další fázi výroby.
- Materiál – vždy vyžaduje ověření udaných vlastností [3]

Účelem systému kontroly výroby je ve vhodných fázích výroby kontrolovat a poskytovat objektivní důkaz o tom, že jsou použity správné specifikace a že postupy jsou vykonávány výhradně v souladu se specifikací.

Během výrobního postupu by měl být každý letadlový celek zkontrolován v souladu s plánem, který určuje povahu všech požadovaných kontrol a fáze výroby, ve kterých se vyskytují. Plán by měl také určovat všechny konkrétní dovednosti nebo kvalifikaci požadovanou u osob provádějící kontroly (např. pracovníci nedestruktivního zkoušení). [3]



obr. 22: Algoritmus činnosti kontroly [4]

Při ověřování shody s návrhem je třeba vycházet z faktu, že kvalita výrobku má být vyrobena, nikoliv „vykontrolována“. Pracovníci útvaru kvality výrobků nesmí nést zodpovědnost za úroveň kvality výrobku. Za kvalitu výrobku má plnou zodpovědnost dělník, který

výrobek vyrobil. Pracovníci útvaru kvality výrobků mají za úkol včasné a ekonomicky přípustné odhalení neshodných výrobků. Další povinností je oddělení a izolace neshodných výrobků, analýza procesu vzniku neshodného výrobku a předání výsledků analýzy na odpovědné oddělení k realizaci nápravných opatření.

2.2 Zabezpečení systému jakosti

Část 21 požaduje, aby výrobní organizace prokázala, že zavedla a udržuje systém jakosti, který umožňuje organizaci zajistit, že každá vyrobená položka je shodná s použitelnými konstrukčními údaji a je ve stavu pro bezpečný provoz.

Nezávislá funkce zabezpečení jakosti – požaduje se, aby funkce zabezpečení jakosti, která je součástí organizace, byla nezávislá na funkcích, které monitoruje. Tato požadovaná nezávislost se týká vztahu podřízenosti, pravomocí a přístupu v organizaci.

K zabezpečení výše uvedeného musí funkce zabezpečení jakosti sloužit k plánovitému, nepřetržitému a systematickému vyhodnocování nebo prověřování faktorů majících vliv na shodu (popř. na bezpečnost provozu, kde je vyžadována) výrobků, letadlových částí nebo zařízení s použitelným návrhem. Toto vyhodnocení by mělo zahrnovat všechny složky systému jakosti, aby bylo prokázáno vyhovění Hlavě G, Část 21. [3]

Hlava G, části 21 definuje výrobní zařízení jako pracovní prostor, kde jsou pracovní podmínky i prostředí samotné regulovány podle potřeby s ohledem na čistotu, teplotu, vlhkost, větrání, osvětlení, prostor, přístup, hluk a znečištění vzduchu. [3]

Hlava G, části 21 uvádí, že vybavení a nářadí by mělo být takové, aby umožňovalo provádět všechny přesně vymezené pracovní úkoly opakovatelným způsobem bez nežádoucích účinků. Kontrola správnosti kalibrace vybavení a nářadí, jež ovlivňuje kritické rozměry a hodnoty, by měla prokázat správnost a být výsledovatelná k národním nebo mezinárodním etalonům. [3]

3 METODY MĚŘENÍ VE VÝROBĚ

Lze rozdělit do tří základních skupin: operační měřidla, komunální měření, měřicí zařízení.

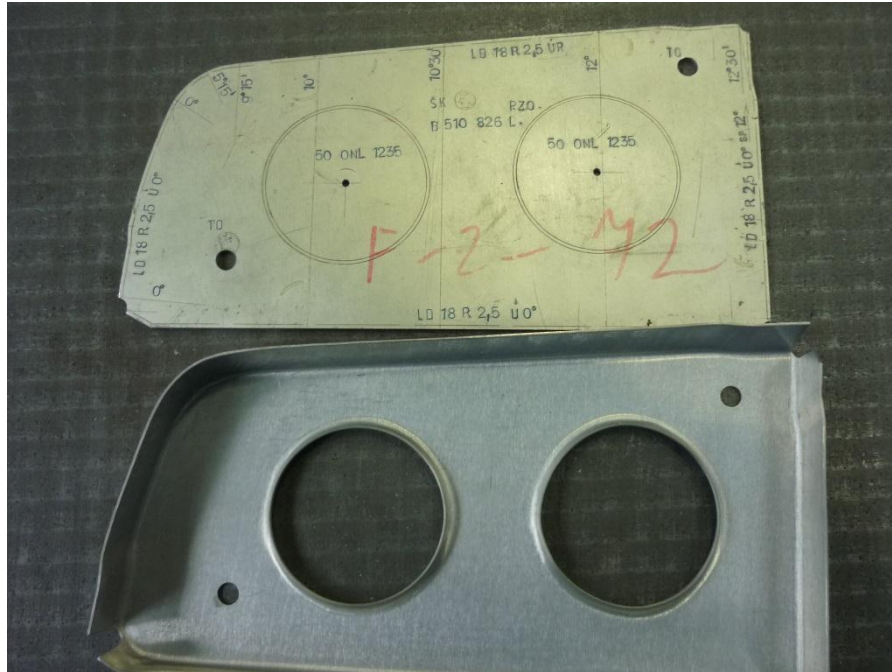
3.1 Operační měřidla

Koncepce vychází z metod měření z 60. let 20. stol. Ve své době byly operační měřidla nepostradatelnou pomůckou při sériové výrobě na konvenčních obráběcích strojích, kdy bylo nutné měřit každý vyrobený kus. Jejich charakteristikou bylo zjišťování pouze dvou stavových veličin: měřka projde = OK, neprojde = NO OK.

Výhody a nevýhody měření operačními měřidly:

- + okamžité vyhodnocení operátorem
- + jednoduchost obsluhy
- + vhodné jako měřidlo funkce
- + měření malých otvorů s tolerancemi
- + vhodné pro výrobu na konvenčních strojích
- potřeba velkého počtu (pro každý díl, každý rozměr), cca 30 000 aktivních operačních měřidel,
- dlouhá doba výroby (konstrukce, výroba, měření, kalibrace)
- personalistika, operační měřidla vážou mnoho pracovníků (KO, TPV, KV, dílna, výdejna)
- velký počet kalibrací
- konstrukční nebo technologická změna výrobku znamená úpravu nebo výrobu nového operačního měřidla
- výstup z měření není využitelný pro statistické hodnocení, známe jen veličinu OK / NO OK
- operační měřidla nesplňují podmínky způsobilosti měření (MSA)
- konstrukce, výroba, kalibrace – nutnost kvalifikovaného personálu.

Druhy operační měřidel: šablony, tzv. košové měřky a tažné špalky, které jsou nositeli výsledného tvaru .

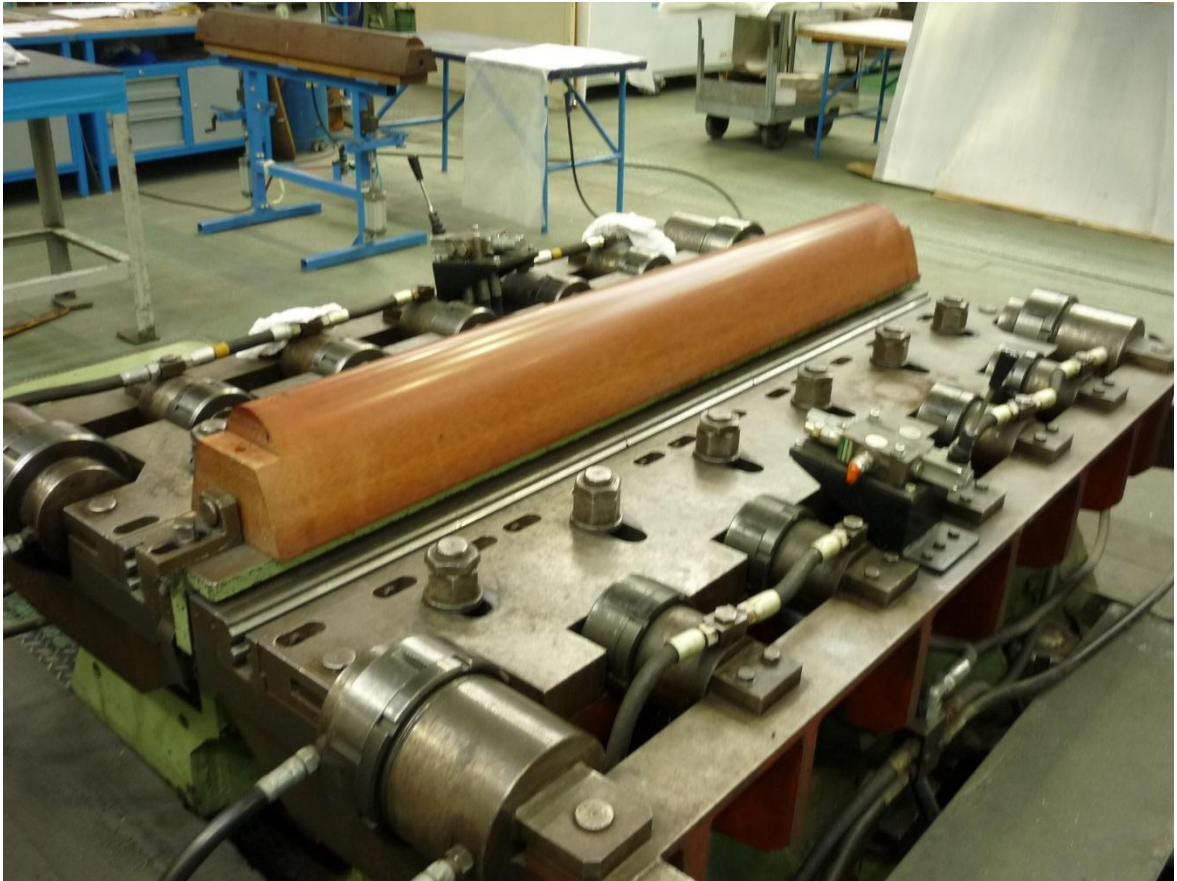


obr. 23: kontrolní šablona



obr. 24: košová měrka

Košová měrka je využívána pro dílce, které svojí charakteristikou tvaru zasahují do prostoru a není možné je kontrolovat pomocí kontrolní šablony, která kontroluje jen 2D tvar.



obr. 25: tažný špalek

3.2 Komunální měření

Je nejčastěji využívaný přístup k měření součástí. Jedná se o měření s pomocí běžně dostupných měřidel a měřicích přístrojů.

Měřidla jsou ve výrobě nepostradatelná pro okamžité zjištění jednoduchých rozměrů přímo operátorem. Problematické je měření tvarově složitých součástí.

Komunální měřidla:

- Posuvné měřítko



obr. 26 posuvné měřítko [19]

- Mikrometr (vnější, vnitřní)



obr. 27 mikrometr vnější [19]



obr. 28 mikrometr vnitřní [19]

- Pasometr



obr. 29 pasometr [19]

- Koncové měrky



obr. 30 sada koncových měrek [19]

- Úhломěry



obr. 31 úhломěr [19]

3.3 Měřicí přístroje

- Univerzální délkoměr 1D
- Výškoměr 1D
- Mikroskop 2D
- Profil projektor 2D
- Konturograf 2D i 3D
- Kruhoměr 3D
- Souřadnicový měřicí stroj 3D
- Optický souřadnicový měřicí stroj 2D i 3D
- Měřicí ramena 3D
- Multisenzorový měřicí stroj 3D (možné senzory – dotyk, optika, laser, ...)
- 3D scanner
- Tomografy 3D

3.3.1 1 D – přístroj dokáže měřit pouze v jedné ose

Výškoměr – užitečný přístroj pro dílenské použití. Moderní výškoměr dokáže měřit i rozteče otvorů, rovinnosti, rovnoběžnost atd. Omezením je použití pouze v jedné ose.
[19]



obr. 32 výškoměr [19]

Délkoměr – nejpřesnější z běžně dostupných zařízení (nejistota měření: $\pm 0,4\mu\text{m}$). Vhodný pro kalibrační službu. Nevýhodou je nutnost měření v laboratorních podmínkách.



obr. 33: univerzální délkoměr [20]

3.3.2 2 D – přístroj dokáže měřit ve dvou osách:

Mikroskop – velmi přesné zařízení. Moderní mikroskopy mají možnost automatického měření.



obr. 34: mikroskop [20]

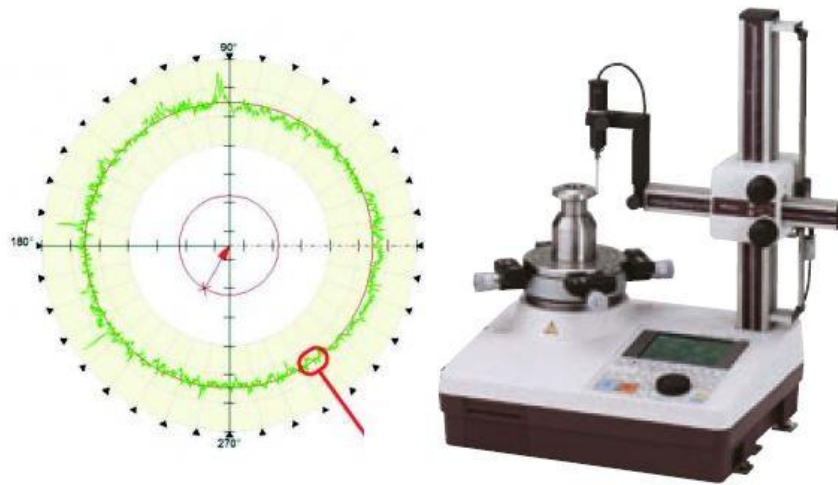
Profil projektor – optické zařízení s možnostmi částečné automatizace měření vhodné pro kusovou a malosériovou výrobu. U moderních přístrojů je možná částečná automatizace měření. Nevýhodou je omezení pouze ve dvou osách a pouze částečná automatizace měření.



obr. 35: profil projektor [20]

Konturograf (užívané výrazy také profiloměr, konturoskop) – přesné měřicí 2D zařízení používající taktilní metodu měření. Přístroj je určen pro analýzu kontur funkčních tvarových ploch jako rádiů, sražení, úhlů a drážek. Přístrojem se neprovádí celková rozměrová kontrola měřeného dílu, ale spíše precizní analýza drobných úseků důležitých pro funkčnost dílce. Typickým příkladem je použití pro účely ložiskářského a automobilového průmyslu. Snímací tvrdokovový hrot je konstruován s geometrií velmi malého rádia $25\ \mu\text{m}$ s vrcholovým úhlem 24° (konický), nebo 12° (půlený), což elegantně zaručuje dosažitelnost jemných kontur a hran, v místech kde klasické měření na SMS s rubínovou kuličkou nelze zpravidla provést. Taktéž software je unifikovaný pro tyto měřicí úlohy a poskytuje větší možnost analýzy a prezentace měřených úloh. Pro rozšíření funkčnosti může být přístroj kombinován s druhou posuvnou jednotkou pro měření drsnosti, nebo v nejmodernějším provedení osazen kombinovanou – univerzální posuvnou jednotkou pro konturu i drsnost. Pak jsou obě měřicí úlohy elegantně analyzovány z jednoho měření. Obvyklé rozsahy přístrojů jsou dle provedení pro osu X 100–200 mm s výkyvem snímacího ramínka 40–60 mm, přístroj je tak schopný operovat v 2D prostoru max. o rozměrech 200×60 mm. Při spojení s PC a sofistikovaným vyhodnocovacím softwarem nabízí přístroj plnou programovatelnost a uživatelský komfort jako u 3D přístrojů. [20]

Kruhoměr – velmi přesné zařízení pro měření kruhovitosti, přímosti a rovinnosti. Nevýhodou je nutnost měření v laboratorních podmínkách a specifické měřicí úlohy. [20]



obr. 36 kruhoměr [20]

3.3.3 3 D – přístroj, který dokáže měřit ve třech osách

Souřadnicový měřicí stroj (SMS) – univerzální přesné měřicí zařízení, které zvládá velké množství měřicích úloh. Přístroj je možno vybavit dotykovou nebo skenovací sondou, při skenování je povrch snímán kontinuálně.

Velkou výhodou je univerzálnost zařízení pro měření většiny obráběných dílů, možnost plně automatického režimu měření pomocí měřicích programů, rychlá reakce na změnu výroby či konstrukce dílce. Změna měřicího programu představuje otázku minut. Další výhodou je standardizovaný výstup pro zákazníka, který lze použít i pro statistické vyhodnocení procesu výroby. Pokud je ve výrobě více SMS, je zajištěna jejich kompatibilita/náhrada, pokud jsou vybaveny stejným SW. SMS splňují požadavky pro způsobilost měření tzv. MSA. Lze vytvářet programy na tzv. off-line stanici, nedochází k blokování kapacity pro měření vytvářením programu. Nevýhodou SMS je potřeba kvalifikovaného personálu pro obsluhu z důvodu možného poškození zařízení vlivem neodborného používání, ale taky velmi velkými nároky na programátory, kteří tvoří měřicí program.

Dříve bylo nutné mít SMS umístěno v místnosti se stálou teplotou a vlhkostí vzduchu. Moderní SMS lze umístit přímo do výrobních prostor, vedle stroje. Postprocesory dokážou provést kompenzaci výsledku měření o rozdíl mezi měřením při standardní teplotě v laboratoři a v dílenském prostředí. [10], [7] [9]

Měřicí rameno – univerzální mobilní přístroj pro měření větších součástí. Velkou výhodou je mobilita. Zařízení pracuje na principu snímání bodů v uživatelsky definovaném souřadném systému. Nevýhodou je nízká přesnost a vyšší požadavky na obsluhu než SMS. [7] [9]



obr. 37: dotyková sonda měřicího ramene [7]

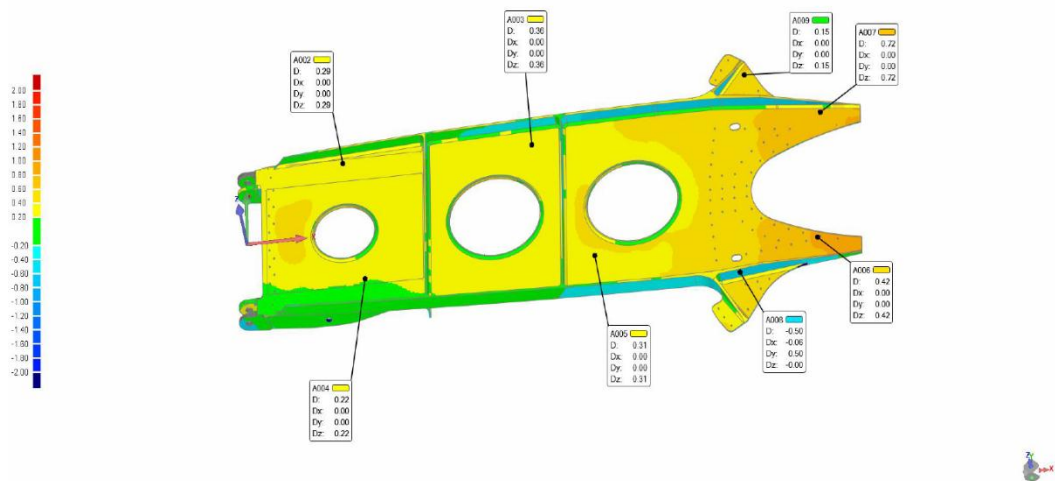
Multisenzorový měřicí stroj – univerzální měřicí zařízení, které kombinuje více způsobů měření. Přístroj lze osadit větším množstvím snímačů – dotekový, skenovací, optika, laser. Výhody obdobné jako u SMS, nevýhodou je větší náročnost na personál než tomu je u SMS. Je tomu tak kvůli požadavku znalostí nastavení jednotlivých senzorů. [21] [22]



obr. 38: pracovní prostor multisenzorového měřicího přístroje [22]

3D skenery – Vhodné pro měření všech dílců. Jednou z největších výhod 3D skenerů je rychlé získání skutečného trojrozměrného modelu. Naskenovaná data lze využít pro kon-

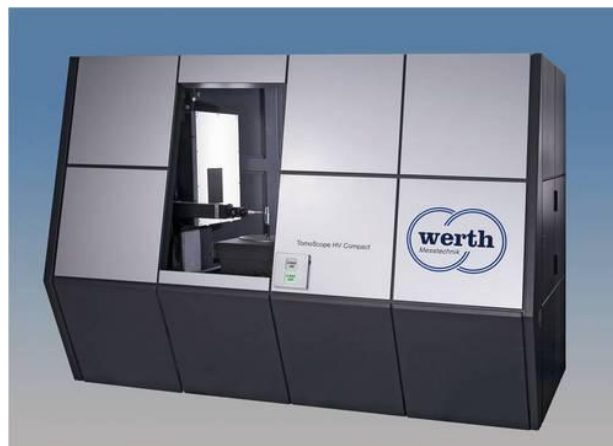
trolu vyrobeného dílu vůči zdrojovým CAD datům nebo porovnat s jiným naskenovaným dílem. Díky této možnosti lze rychle zjistit odchylky při výrobě a prokázat, že je díl vyroben v tolerancích. Při vytváření inspekční zprávy lze kontrolovat rozměry, vynášet anotace v místech zvolených uživatelem, kótovat prvky v prostoru a provádět 2D řezy s odchylkami. Výsledkem celé práce je inspekční zpráva, kde jsou zobrazeny všechny kroky, které uživatel vytvořil při kontrole součásti. Příklad možné vizualizace výstupních dat poskytuje obr. č. 9. Zobrazen naskenovaný díl s barevně vyznačenými odchylkami od CAD modelu. [5]



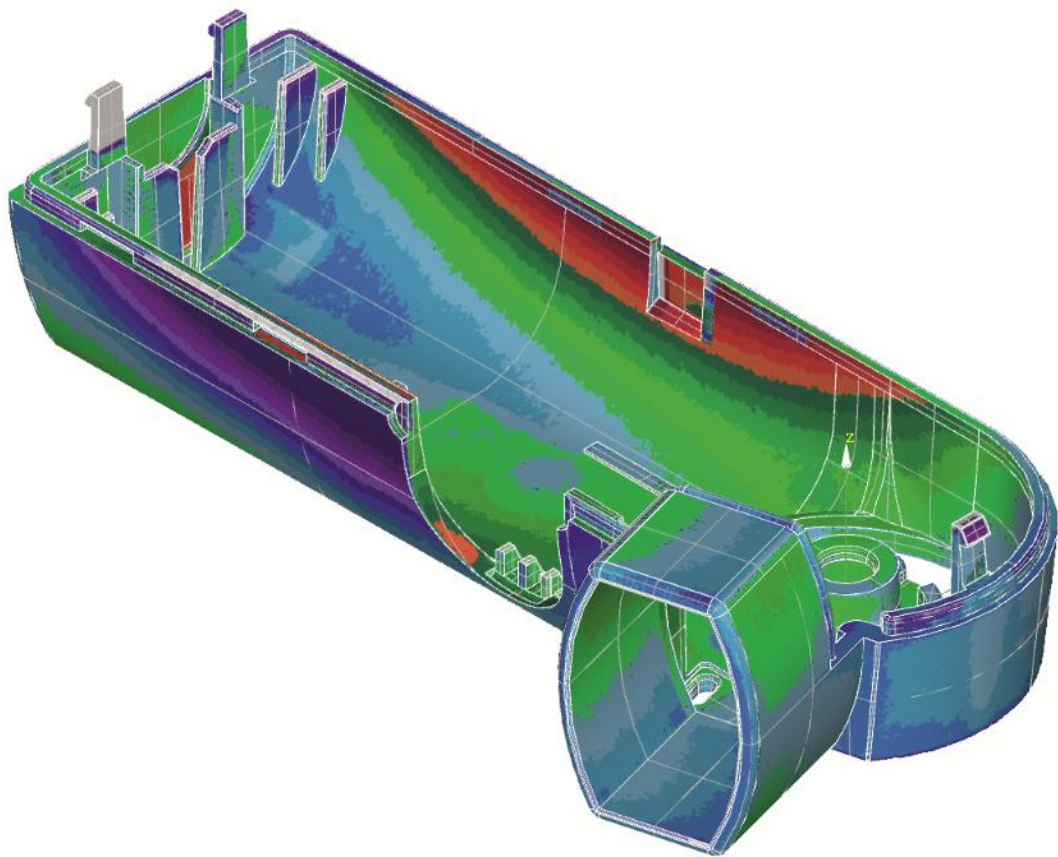
obr. 39: vizualizace výstupu dat z 3D skeneru

Tomografy – univerzální měřicí přístroje pracující na principu počítačové tomografie.

Výhodou je, že tyto přístroje dokážou změřit i rozměry, které jsou jinou metodou obtížně měřitelné nebo neměřitelné včetně vnitřních materiálových vad. Nevýhodou je vysoká pořizovací cena a velké nároky na odbornost obsluhy. [8]



obr. 40: tomograf werth [8]



obr. 41: vizualizace výstupu dat z tomografu [8]

3.3.4 Výhody a nevýhody měření na SMS

- + Flexibilní měřicí zařízení.
- + Rychlá reakce na změnu technické dokumentace.
- + Automatizace měření (měřicí program).
- + Standardizované výstupy – využití pro statistiku.
- + Při instalaci více SMS je zajištěna zastupitelnost při poruše.
- + Znalost nominální (číselné hodnoty) měřeného rozměru – nutné pro seřizování CNC.
- + Splňuje požadavky pro způsobilost měření (MSA).
- + Není závislost na kapacitě útvarů TGPV a konstrukce přípravků.
- + Vysoká přesnost měření.

- + Možnost připravit měřicí program off-line podle CAD modelu, dříve než je vyroben první kus.
- + Nové SMS lze umístit na dílnu mezi OC.
- Vstupní investice 1,5–5 mil. Kč dle přesnosti a velikosti a vybavenosti stroje
- Pro obsluhu je potřeba delší čas k zaškolení v porovnání s OM.
- Potřeba kvalifikovaného programátora pro tvorbu měřicího programu.
- Náklady na upgrade SW.

Měření na SMS patří ke standardům v současné strojírenské výrobě. Významnou výhodou je univerzálnost, rychlá reakce na změnu výroby a technické změny, vysoká přesnost měření, automatizace měření a možnost statistického vyhodnocení výrobního procesu. [9][10][7]

3.3.5 Výhody a nevýhody 3D skenerů

- + Nekontaktní zachycení modelu.
- + Vysoká hustota dat – rozlišení.
- + Vysoká přesnost.
- + Mobilita skeneru.
- + Pohyby skeneru lze automatizovat.
- + Automatické spojování snímků.
- + Vysoká kvalita dat.
- + Software pro další zpracování – reverzní inženýrství, kontrola.
- + Uživatelská kalibrace na prostředí – nezávislé skenovací prostředí.
- Skenuje pouze povrch.
- Investice v řádu 2–8 mil.
- Neskenuje barvu.
- Nemožnost skenovat hluboké díry menších rozměrů.

3D skenery přesouvají možnosti digitalizace a měření z laboratoří do předních linií výroby. 3D skenery mohou zachytit kompletní nebo pouze částečný 3D model jakéhokoliv fyzického objektu. Většina těchto zařízení generuje oproti klasickým dotykovým měřákům husté mračno bodu nebo polygonovou síť reprezentující povrch zkoumaného objektu. [5] [27]

3.4 Měřicí stanice

Jsou využívány především ve velkosériové nebo hromadné výrobě při požadavku na 100% kontrolu výrobku. Jedná se o jednoúčelová zařízení vyrobená na zakázku, která mohou být buď automatická, anebo poloautomatická. Výhodou těchto zařízení je rychlost měření, možnost automatického třídění a fakt, že se jednoduše obsluhují. Zařízení je schopno sbírat data a vyhodnocovat způsobilost procesu. Jelikož je však zařízení jednoúčelové, má i řadu nevýhod: např. omezený rozsah měření (pouze pro jeden dílec), pomalejší reakci na konstrukční změnu výrobku, v případě zrušení výroby musí být zařízení také zrušeno nebo přestavěno na jiný dílec. Pořizovací náklady jsou enormně vysoké z důvodu individuální konstrukce každé stanice. [23] [24]



obr. 42: automatická měřicí stanice [24]

4 CÍL BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Cílem této bakalářské práce je navrhnout kompletní koncepci metrologie v návaznosti na plánované zavedení prototypu letounu do sériové výroby.

Aby byl cíl splněn, je nutné se seznámit s poznatky uvedenými v teoretické části.

V Kunovicích jsou zastoupeny různé metody měření, které se liší v závislosti na použité technologii výroby. Zpravidla jsou tyto metody kombinovány. Tento stav je dán historickým vývojem v oblasti technologie výroby, s níž oblast metrologie a vlastní měření úzce souvisí (v Kunovicích i strojírenství obecně).

V následující části je popsán stav stávající koncepce metrologie a především směr, kterým se musí v Kunovicích ubírat.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 DÍLNA TŘÍSKOVÉHO OBRÁBĚNÍ

5.1 Stávající stav

Konvenční výroba je vybavena základními komunálními měřidly, která jsou pro tento druh výroby vhodná. S postupným převáděním výroby na CNC stroje už není měření komunálními měřidly efektivní z důvodu požadavku na měření velkého počtu rozměrů, které v rámci jedné operace vznikají.

5.2 Nová koncepce

Cílem koncepce je integrovat měření dílů přímo do výrobního procesu v požadované periodicitě, která plyne z dosahované úrovně způsobilosti výrobního procesu.

Zvolená metoda měření je závislá na sériovosti výroby dílu, jejich konstrukční složitosti a smysluplnosti zvoleného postupu obrábění, četnosti změny výroby a dosahované způsobilosti výrobního procesu.

Výroba dílů v Kunovicích je charakteristická:

- Širokým rozsahem výrobků
- Různou velikostí dílů
- Výrobní dávky v řádu desítek kusů – častá změna výroby
- Výrobní CNC stroje jsou využívány univerzálně pro více druhů dílů
- Tvarovou členitost dílů
- Vysokou přesnost některých rozměrů

Na základě vstupních kritérií byla stanovena kritéria pro efektivní měřicí metodu.

Požadavky na metodu měření:

- Univerzálnost (okamžitá použitelnost při změně druhu dílu)
- Přesnost odpovídající požadavkům technické dokumentace
- Kapacita měření
- Způsobilost měření (MSA)
- Statistické zpracování výsledků (spc)

- Použití komunálních měřidel pro okamžitou kontrolu operátorem

Z výše uvedených požadavků na měření plyne potřeba kombinace více metod měření.

Zastoupení metod měření a jejich role

- Souřadnicové měřicí zařízení (SMS):
 - Seřizování výrobních CNC fréz
 - Periodické měření rozměrů
- Základní komunální měřidla
 - Operativní měření rozměrů přímo u stroje operátorem
- Měřicí přístroje – mikroskop / profil projektor
 - Seřizování výrobních CNC soustruhů
 - Periodické měření dílců
- Měřicí přístroje – konturograf
 - Měření specifických rozměrů
 - Měření jakosti povrchu
- Jednoduchá operační měřidla
 - Měření specifických rozměrů, které nedokáže spolehlivě změřit měřicí technika (např. dlouhé malé otvory)
 - Závitové a průměrové kalibry
- 3D skener
 - Kontrola rozměrných dílců při seřizování CNC fréz.
 - Kontrola dílců integrálních nádrží
 - Kontrola tvarově složitých dílců

5.3 Aplikace nové koncepce

Nová koncepce je navržena a komunikována v rámci zavedení sériové výroby L410-NG a navazuje na projekt „modernizace“ obrábění v Kunovicích s přihlédnutím k plánovanému navýšení výroby. Kombinace výroby letounů L410UVP-E20 a L410NG.

Rozsah navrženého řešení:

1) Souřadnicové měřicí stroje:

- Off-line programátorská stanice

Stanice slouží k tvorbě řídicího programu pro SMS. Při tvorbě programu není blokováno zařízení, program je vytvořen mimo zařízení, před zahájením měření (výroby) dílce.

- SMS DEA Global 1500-3300-1350, pracovní prostor 1 500 × 3 300 × 1 350 mm pro měření rozměrných součástí.

SMS umístěný v klimatizovaném prostředí



obr. 43: SMS DEA Global 1500-3300-1350 [7]

- SMS DEA global 700-700-600, pracovní prostor $700 \times 700 \times 600$ – umístěný na dílně mezi stroji.



obr. 44: SMS DEA Global 700-700-600 [7]

2) Komunální a operační měřidla

- evidence použití pomocí vhodného ERP systému, eliminace nepoužívaných.

3) Profil projektor

Náhrada mikroskopu / profil projektoru Carl Zeiss Jena, který již nesplňuje požadavky na automatickou kontrolu rozměrů.



obr. 45: mikroskop Carl Zeiss Jena

Náhrada: Digitální profilový projektor Keyence



obr. 46: profil projektor Keyence [25]

Výhody a nevýhody

- + Snížení času nutného k měření kusů, po naprogramování trvá změření jednoho kusu ± 5 s, výrobce garantuje vyhodnocení 99 rozměrů během 2 s.
- + Eliminace chyby měření komunálními měřidly pracovníkem.
- + Zaručená opakovatelnost měření.
- + Součástí dodávky je i aplikace pro výpočet způsobilosti výrobního procesu, do které se ihned po změření přenáší výsledky.
- + Software umožňuje propojení s informačním systémem – načtení programu na základě čárového kódu na výrobní objednávce.
- + Stroj je vybaven teplotními čidly, může být i na dílně mezi stroji.
- + Úspornost: Žádné další náklady na recalibrace a servis (nemá pohyblivé součásti).
- Pořizovací náklady.[25]

4) Konturograf

Stávajícím vybavením je problematické měřit vnitřní tvarové prvky: drážky pro „O“ kroužky, vnitřní zápichy atd.



obr. 47: konturograf MarSurf XC20 [20]

Zařízení je schopno měřit vnější i vnitřní kontury a zároveň vyhodnotit jakost povrchu.

Lze automatizovat vyhodnocení měření pro jednotlivé díly. [20]

5) Laser tracker Leica AT960-MR T-probe T-scan5

Leica Absolute Tracker je mobilní optický CMM, který vypočítává 3D polohu reflektoru z horizontálního úhlu, vertikálního úhlu a vykonává měření vzdálenosti. Úhlové snímání je zabezpečeno použitím kódovacích zařízení s vysokým rozlišením, vzdálenost je určována absolutním měřením pomocí absolutního interferometru. [28]



obr. 48: Laser tracker Leica AT960-MR [28]

Leica Absolute Tracker AT960 shromažďuje 3D souřadnice ve sférickém měřicím rozsahu třemi způsoby:

- Sledováním reflektoru - Reflektor je zařízení přesného kulovitého tvaru, které obsahuje systém zrcadel nebo jiných odrazových ploch pro odrazení přijatého laserového paprsku zpět. Existuje spousta druhů reflektorů, které se liší velikostí, použitým materiálem a odolností proti pádu či jinému mechanickému poškození. [28]



obr. 49 kulový reflektor [28]

- Sledováním ručního bezdrátového dotykového snímače Leica T-Probe.

Leica T-probe je bezdrátový dotykový snímač pro laserový tracker AT960, který umožňuje vysoce efektivní řešení pro bodové měření na velké vzdálenosti. Poloha a natočení snímače je odměřována na trackeru pomocí reflektoru a infračervených diod, které jsou integrované ve snímači. [26] [28]



obr. 50: Leica T-probe [26]

- Sledováním ručního bezkontaktního laserového skeneru Leica T-Scan.

Leica T-scan 5 je bezdotykový diodový laser skener, který umožňuje skenovat různou jakost povrchu (lesklý, matný, lakovaný). [27] [28]

- šířka skenovacího paprsku 125 mm
- rychlost skenování 210 000 bodů za sekundu
- rozlišení 0,075 (vzdálenost dvou bodů na čáře)
- vlnová délka 670nm
- frekvence načítání čar 160Hz



obr. 51: Leica T-Scan [27]

6) Stacionární 3D skener stroje Handtmann HBZ 7×2,

Jedná se o zařízení určené pro absolutní bezkontaktní měření 3D vyfrézovaného dílu, který umožňuje měření geometrických prvků, včetně jejich vzájemných vztahů.

Měření a vyhodnocení dat je plně automatizováno, bez nutnosti dozoru obsluhujícího personálu.

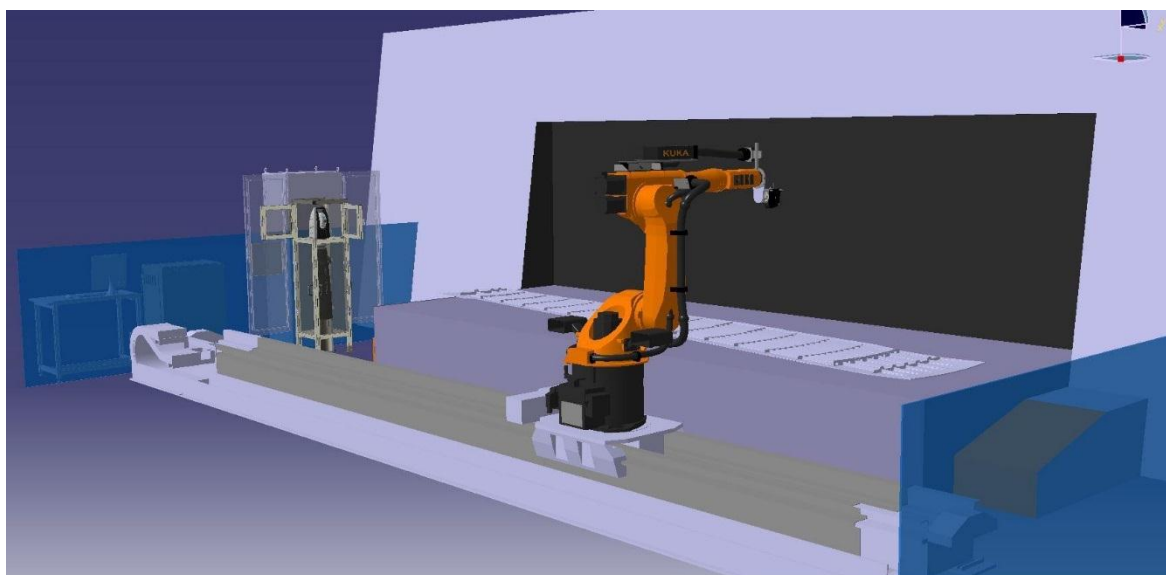
Měřicí zařízení má zprostředkovanou přímou vazbu na výrobní cyklus. Proces skenování a vyhodnocení měření nepřekročí čas 3 hodiny. Měřicí zařízení bude využíváno na sledování výrobního procesu a přímo vyznačí místo odchylek vyrobeného dílu pomocí tzv. farení mapy, což bude mít přímý dopad na zvýšení kvality výrobku.

Zařízení obsahuje 3D optický měřicí systém Leica AT960-MR T-probe T-scan5, pro který se jako manipulátor používá 7osý průmyslový robot KUKA. Laserový skener je namontován na koncový efektor robotické ruky. Tím docílíme toho, že bezkontaktní absolutní laserové měření není závislé na stabilitě robotické ruky, což znamená, že chyba polohování robota neovlivňuje výsledky měření.

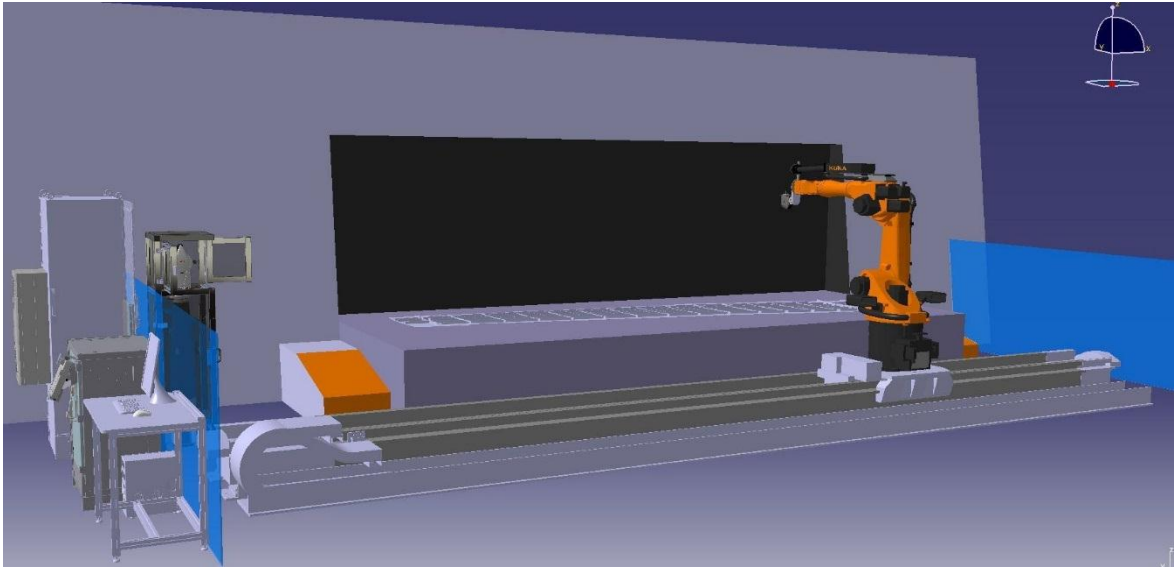
Zařízení bude schopné měřit díly s různou povrchovou strukturou (lesklým, matným, hladkým, drsným povrchem, popř. kombinace jednotlivých struktur povrchů)



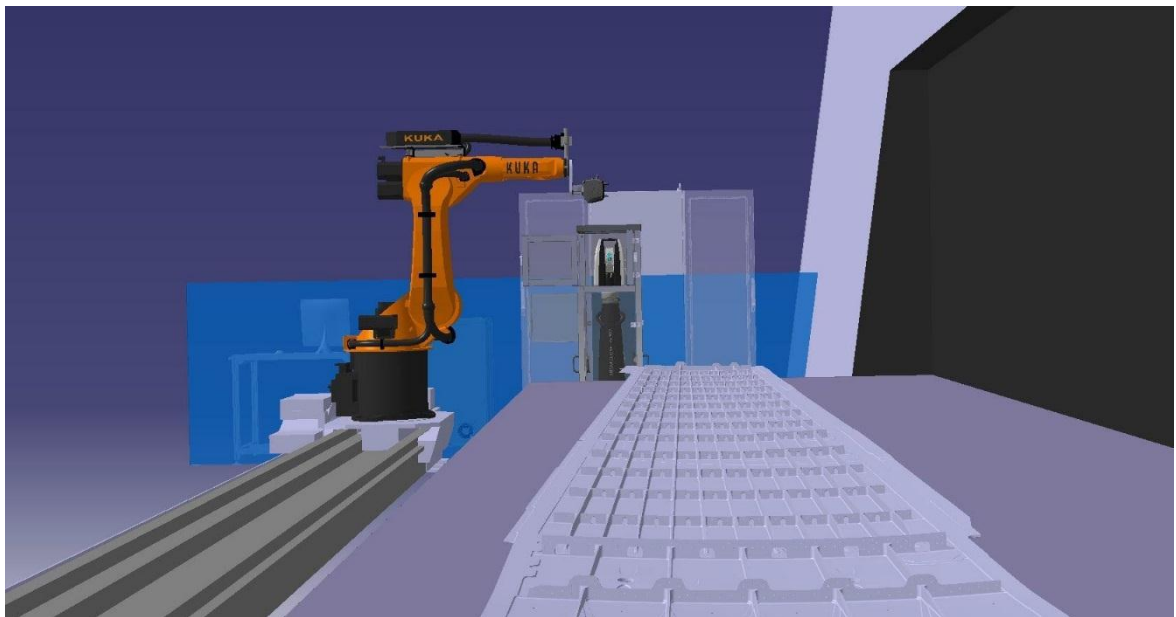
obr. 52: robotický manipulátor



obr. 53: vizualizace zařízení, severovýchodní pohled



obr. 54: vizualizace zařízení, jihovýchodní pohled



obr. 55: vizualizace zařízení, severní pohled

Přesnost měřicího systému:

Měřicí rozsah:

- Max. rozsah s T-Cam MR (\varnothing) 20 m
- (65 ft) Horizontální 360°
- Vertikální $\pm 45^\circ$

Volnost otáčení:

- Přímý náklon $\pm 45^\circ$

- Boční náklon $\pm 45^\circ$
- Neomezená rotace 360°

Měřicí a sledovací vlastnosti systému:

- Rychlost sledování ve všech směrech > 1 m/s
- Akcelerace 1G

Leica T-Scan senzor

- Hloubka měření 200 mm
- Šířka skenovacího laseru 100 mm
- Obnovovací frekvence skenovací čáry více než 160 Hz
- Měřicí vzorkovací rychlost více než 210 000 bodů/sec
- Hustota bodů 0,075 mm

Bezpečnost laseru:

- IEC 60825-1 (2007-03),
- EN 60825-1 (2007-10), třída 2M

Hmotnost

- Leica T-Scan 5 1,080 g

Nejistota měření prostorové délky (2 sigma)

- $UL = \pm 60 \mu\text{m}$ vzdálenost pod 8,5 m
- $UL = \pm 26 \mu\text{m} + 4 \mu\text{m/m}$ vzdálenost nad 8,5 m

Nejistota měření poloměru koule (2 sigma)

- $UR = \pm 50 \mu\text{m}$ do 8,5 m
- $UR = \pm 16 \mu\text{m} + 4 \mu\text{m/m}$ nad 8,5 m
- $US = \pm 85 \mu\text{m} + 1.5 \mu\text{m/m}$

Nejistota měření rovinného povrchu (2 sigma)

- $UP = \pm 80 \mu\text{m} + 3 \mu\text{m/m}$

Maximální dovolená chyba systému Leica AT960MR s T-Scan 5:

- $MPEE = \pm 120 \mu\text{m}$ (2 sigma)

Výhody a nevýhody:

- + Plně automatizované měření.
- + Okamžité vyhodnocení rozměrů a odchylek od 3D modelu.
- + Vyhodnocení ve velmi krátkém čase.
- + Zobrazení srovnáním naměřených dat s 3D modelem s použitím barevných map.
- Vysoké pořizovací náklady cca 20 mil Kč.
- Nutné stavební úpravy podlahy a základů.

7) Potřebné softwarové vybavení:

- monitorování, regulace procesů – spc
- tvorba kontrolních postupů
- software pro jednotlivá zařízení

6 TVÁŘENÍ

6.1 Stávající stav

Jednotlivé dílce zpracovávané na dílně tváření jsou ověřovány dle kontrolních šablon nebo košových měrek, popř. je výsledný tvar dán tvarem tažného špalku. Tvar těchto operačních měřidel je dán tzv. plaz měrkami, které jsou nositelem tvaru letounu. Letoun L410NG nemá tvar dán plaz měrkami, ale 3D modelem. Kontrolní šablony pro L410NG jsou tisknuté na folii.

Zvolená technologie ověření shody je dána způsobem výroby.

Na dílně tváření jsou zpracovávány i kooperační zakázky. Pokud zákazník požaduje měrový protokol, jsou dílce převáženy na kontrolu prostřednictvím SMS.

6.2 Nová koncepce

Pokud nedojde ke změně technologie výroby, není potřeba měnit zásadně koncepci metrologie. Pouze eliminovat zbytečné přesuny na kontrolní pracoviště SMS umístěné na dílně třískového obrábění (vzdálenost mezi dílnou tváření a dílnou třískového obrábění 600m).

Charakteristika vyráběných dílů:

- široký rozsah výrobků
- různá velikost a tvarová členitost dílců
- výrobní dávky v řádu desítek kusů – častá změna výroby
- ruční práce

Na základě vstupních kritérií byla stanovena kritéria pro efektivní měřicí metodu.

Požadavky na metodu měření:

- univerzálnost (okamžitá použitelnost při změně druhu dílu)
- přesnost odpovídající požadavkům technické dokumentace
- kapacita měření
- statistická regulace procesu (spc) – vyžadována zákazníky

Z výše uvedených požadavků vyplývá kombinace více metod měření

- 1) Operační měřidla – kontrolní šablony, košové měrky
 - kontrola tvaru dílce
- 2) Základní komunální měřidla
 - kontrola zbylých rozměrů
- 3) Měřicí rameno
 - náhrada měření na SMS

6.3 Aplikace nové koncepce

Nová koncepce je navržena a komunikována v rámci zavedení sériové výroby L410-NG s přihlédnutím k plánovanému navýšení vlastní výroby i kooperačních zakázek. Kombinace výroby letounů L410UVP-E20 a L410NG.

Rozsah navrženého řešení pro stávající technologické vybavení:

- 1) Operační měřidla
 - výroba kontrolních šablon z tvarově stálého materiálu
 - evidence použití, kalibrace
- 2) Komunální měřidla
- 3) Měřicí rameno
 - náhrada měření za SMS:

Jedná se o mobilní 3D měřicí rameno ROMER RA7312. Vybavené šestiosým přenosným systémem ROMER Multi Gage. Měřicí rozsah ramene 1200 mm. Osazené dotykovými sondami TESA pro přesné bodové měření s vyměnitelnými dotyky s funkcí automatické detekce typu a velikosti sondy. [7]

Výhody a nevýhody:

- + Odstranění převozu k měření na SMS.
- + Mobilní zařízení.
- + 6 stupňů volnosti.
- Pořizovací cena.

- Zařízení může obsluhovat pouze kvalifikovaný personál.



obr. 56: 3D měřicí rameno ROMER RA7312 [7]

7 MĚROVÁ LABORATOŘ

Měrová laboratoř zabezpečuje činnosti, které vyžadují vysokou odbornost, čemuž musí odpovídat kvalifikace personálu a preciznost zařízení.

Měrová laboratoř musí zabezpečovat následující služby:

- zabezpečení metrologického pořádku v návaznosti na legislativu
- externí a interní kalibrační služby
- centrální správa měřicích zařízení
- evidenci nákladů na kalibraci měřidel

7.1 Nová koncepce

S rozšířením výroby dojde k nárůstu požadavků na kalibrace měřidel, zkrátí se intervaly kalibrací komunálních měřidel. Stávající vybavení nebude možné pokrýt tento nárůst.

Plánovaný stav vybavení měrové laboratoře:

- Univerzální délkoměr (Zeiss nebo Mahr) – kalibrace kroužků, závitových kroužků, závitových kalibrů, válečkových kalibrů, dlouhých koncových měrek. Měří s nejistotou měření $\pm 0,4 \mu\text{m}$.
- Oprava kruhoměru.
- ERP systém pro evidenci měřidel.

Výše uvedené vybavení měrové laboratoře bude kapacitně i pokrytím požadovaných metod měření vyhovující.

Výhody a nevýhody:

- + Interní externí kalibrační služba.
- + Sledování nákladů na kalibraci měřidel.
- + Sledování opotřebení měřidel.
- Náklady na pořízení zařízení a vybavení metrologické laboratoře.
- V metrologické laboratoři musí pracovat pouze kvalifikovaný personál, který zná legislativu.

ZÁVĚR

Ve své bakalářské práci jsem představil jediného výrobce dopravního letounu v české republice, který dodává letouny do celého světa již více než 40 let. Tradice leteckého průmyslu v české republice je již skoro 100 let. Letecká výroba na Slovácku probíhá bez přerušení 80 let.

V teoretické části byl představen výrobní program společnosti, metody měření ve výrobě a mezinárodní legislativní požadavky pro výrobu částí letounu.

Pro zhotovení praktické části bakalářské práce jsem zmapoval stávající stav metrologie, analyzoval nedostatky a navrhnul řešení, které bude vyhovující pro navýšení výroby a zároveň pokryje požadavky na kontrolu dílů letounu L410NG v sériové výrobě. V současné době je již zakoupen SMS DEA Global 1500-3300-1350. Investice do ostatních zařízení jsou ve fázi schvalování.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] *Aircraft Industries: historie* [online]. Kunovice, 2016 [cit. 2016-05-13]. Dostupné z: http://www.let.cz/clanek_285_historie.html
- [2] *Aircraft Industries: výzkum a vývoj* [online]. Kunovice, 2016 [cit. 2016-05-13]. Dostupné z: http://www.let.cz/clanek_295_vyvoj-l-410-ng.html
- [3] Úřad pro civilní letectví: Konsolidované znění AMC a GM k Části 21. AMETEK, 2013 [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: <http://www.caa.cz/file/6415/>
- [4] NENADÁL, Jaroslav. 1998. *Moderní systémy řízení jakosti: Quality Management*. 1. vyd. Praha: Management Press. ISBN 80-859-4363-8.
- [5] 3D skenování [online]. AMETEK, 2015 [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: www.3d-skenovani.cz/
- [6] *Aircraft Industries: dřívější produkce* [online]. Kunovice, 2016 [cit. 2016-05-13]. Dostupné z: http://www.let.cz/clanek_453_nase-drivejsi-produkce-v-leteckem-muzeu-kunovice.html
- [7] *Hexagon Metrology: Produkty* [online]. 2016 [cit. 2016-05-13]. Dostupné z: http://www.hexagonmetrology.cz/Produkty_98.htm
- [8] *Prima Bilavčík: Souřadnicové měřicí stroje se senzorem pro počítačovou tomografii a 3D měření* [online]. Uherský Brod, 2014 [cit. 2016-05-13]. Dostupné z: <http://www.merici-pristroje.cz/tomoscope/>
- [9] NENÁHLO, Čeněk. Souřadnicová měřicí technika. *MM spektrum*. 2011, (3/2011). DOI: 110316.
- [10] Historie souřadnicových měřicích strojů. *Coordinate Measuring Machine History* [online]. <http://www.coord3-cmm.com/>, ©2012-2014 [cit. 2016-05-13]. Dostupné z: <http://www.coord3-cmm.com/50-years-of-coordinate-measuring-machine-industry-developmentsand-history/>
- [11] Flickriver [online]. ©2007-2016 [cit. 2016-05-16]. Dostupné z: <http://www.flickriver.com/groups/cmelak/pool/>
- [12] <http://www.military-today.com/> [online]. ©ARG2006-2016 [cit. 2016-05-16]. Dostupné z: http://www.military-today.com/aircraft/129_delfin.htm
- [13] Planes.cz [online]. ©1999-2016 [cit. 2016-05-16]. Dostupné z: <http://www.planes.cz/cs/photos?page=1&fulltext=L410>
- [14] www.l410.cz [online]. 2016 [cit. 2016-05-16]. Dostupné z: <http://www.l410.cz/wp/historie>
- [15] E1 [online]. 2010 [cit. 2016-05-16]. Dostupné z: <http://www.e1.ru/talk/forum/read.php?f=67&i=7449872&t=7449872&page=2>

- [16] Aircraft Industries: verze [online]. Kunovice, 2016 [cit. 2016-05-16]. Dostupné z: http://www.let.cz/clanek_543_verze-l-410.html
- [17] Aircraft Industries: NG [online]. Kunovice, 2016 [cit. 2016-05-16]. Dostupné z: <http://www.let.cz/letadlo-l-410-ng.html>
- [18] Airzone.tv [online]. Kunovice, 2016 [cit. 2016-05-16]. Dostupné z: <http://www.airzone.tv/modernizovana-legenda-l-410-ng-leta/>
- [19] CZ-20001 [online]. Mitutoyo Cesko s.r.o., 2015 [cit. 2016-05-16]. ISBN CZ-20001. Dostupné z: http://dl.mitutoyo.eu/HE/eBook/cz_cz/index.html
- [20] Produkty MAHR [online]. 2016 [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: <http://www.mahr.com/cs/Produkty-a-slu%C5%BEby/V%C3%BDrobn%C3%AD-m%C4%9B%C5%99ic%C3%AD-technika/Produkty/>
- [21] Hexagon Metrology: multisenzorové a optické systémy [online]. 2016 [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: http://www.hexagonmetrology.cz/Multisenzorove-a-opticke-systemy_110.htm
- [22] Prima Bilavčík: multisenzorové SMS [online]. Uherský Brod, 2014 [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: <http://www.merici-pristroje.cz/multisenzorove-sms-0/>
- [23] Amest: měřicí stanice [online]. 2016 [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: <http://www.amest.cz/merici-stanice>
- [24] AMS Automatizace a měření ve strojírenství, s.r.o. [online]. ©2013-2016 [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: <http://www.amspraha.cz/cz/>
- [25] Keyence [online]. 2016 [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: <http://www.keyence.eu/products/measure-sys/image-measure/im/index.jsp>
- [26] NMS: Leica T-Probe [online]. 2015 [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: <http://www.sk.nms-int.com/produkty/leica-t-probe/>
- [27] NMS: Leica T-scan [online]. 2015 [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: <http://www.sk.nms-int.com/produkty/steinbichler-t-scan-cs/>
- [28] NMS: Leica AT960/930 [online]. 2015 [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: <http://www.sk.nms-int.com/produkty/leica-at930-960/>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

KV	Kvalita výroby
MTO	maintenance technician organizations
NG	New generation
MTOW	Maximum Take-Off Weight, Maximální vzletová hmotnost
UGMK	Уральская горно-металлургическая компания Uralská důlní a těžební společnost
EASA	European Aviation Safety Agency
KO	Útvar Konstrukce
TPV	Útvar technologické přípravy výroby
OK	V pořádku
NO OK	Není v pořádku
MSA	Analýza systému měření
2D	Rovinný obrazec
3D	Prostorový díl
SW	software
SMS	Souřadnicový měřicí stroj
CAD	Počítačem podpořený návrh
CNC	Číslicově řízený stroj
ERP	Software pro dozorování procesů
CMM	Coordinate measuring machine
UL	Nejistota měření prostorové délky
UP	Nejistota měření rovinnosti povrchu
UR	Nejistota měření poloměru koule
MPPE	Maximální povolená chyba pro měření délky
UVP	Укратшенного взлота i посадки – zkrácený vzlet i přistání

SEZNAM OBRÁZKŮ

obr. 1: L200 Morava [6]	13
obr. 2: Z-37 čmelák [11]	13
obr. 3: L29 – delfín [12].....	14
obr. 4 L410A [13]	14
obr. 5 interiér VIP verze [15].....	15
obr. 6 L-410AF imatrikulace HA-YFA [13]	15
obr. 7 L-410M [13]	16
obr. 8 L410MA [13].....	16
obr. 9 L-410UVP [13].....	17
obr. 10 L-410FG v barvách AČR [13].....	17
obr. 11 L-410UVP-E [13].....	18
obr. 12 L-410UVP-E20 [13]	19
obr. 13 L-410UVP-E20 kokpit [16].....	19
obr. 14 L-410UVP-E20 standardní pasažérská verze pro 19 cestujících a 2 piloty [16].....	20
obr. 15 L-410UVP-E20 sklopné sedačky [16].....	20
obr. 16 L-410UVP-E20 sanitní kit [16]	21
obr. 17 L-410UVP-E20 cargokit [16].....	21
obr. 18 L-410UVP-E20 parakit [16].....	22
obr. 19 L-410NG [17]	22
obr. 20 L-410NG kokpit [17].....	23
obr. 21 L-410NG foto ze zkušebního letu [18].....	23
obr. 22: Algoritmus činnosti kontroly [4]	25
obr. 23: kontrolní šablona	28
obr. 24: košová měrka.....	28
obr. 25: tažný špalek	29
obr. 26 posuvné měřítko [19].....	29
obr. 27 mikrometr vnější [19]	30
obr. 28 mikrometr vnitřní [19].....	30
obr. 29 pasometr [19]	30
obr. 30 sada koncových měrek [19].....	31
obr. 31 úhloměr [19]	31
obr. 32 výškoměr [19].....	32

obr. 33: univerzální délkoměr [20]	33
obr. 34: mikroskop [20]	33
obr. 35: profil projektor [20].....	34
obr. 36 kruhoměr [20].....	35
obr. 37: dotyková sonda měřicího ramene [7]	36
obr. 38: pracovní prostor multisenzorového měřicího přístroje [22].....	36
obr. 39: vizualizace výstupu dat z 3D skeneru	37
obr. 40: tomograf werth [8].....	37
obr. 41: vizualizace výstupu dat z tomografu [8]	38
obr. 42: automatická měřicí stanice [24]	40
obr. 43: SMS DEA Global 1500-3300-1350 [7].....	45
obr. 44: SMS DEA Global 700-700-600 [7].....	46
obr. 45: mikroskop Carl Zeiss Jena	46
obr. 46: profil projektor Keyence [25].....	47
obr. 47: konturograf MarSurf XC20 [20]	48
obr. 48: Laser tracker Leica AT960-MR [28].....	49
obr. 49 kulový reflektor [28].....	49
obr. 50: Leica T-probe [26].....	50
obr. 51: Leica T-Scan [27].....	51
obr. 52: robotický manipulátor	52
obr. 53: vizualizace zařízení, severovýchodní pohled	52
obr. 54: vizualizace zařízení, jihovýchodní pohled“	53
obr. 55: vizualizace zařízení, severní pohled.....	53
obr. 56: 3D měřicí rameno ROMER RA7312 [7]	58