

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B0715A270013 – Strojní inženýrství
Studijní specializace: Strojírenská technologie - technologie
obrábění

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Experimentální ověření vlivu teploty dílu při měření vybraných
rozměrových parametrů**

Autor: Vítězslav NETRVAL
Vedoucí práce: Ing. Dana KUBÁTOVÁ, Ph.D.

Akademický rok 2020/2021

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2020/2021

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Vítězslav NETRVAL**
Osobní číslo: **S19B0763P**
Studijní program: **B0715A270013 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Strojírenská technologie-technologie obrábění**
Téma práce: **Experimentální ověření vlivu teploty dílu při měření vybraných rozměrových parametrů**
Zadávací katedra: **Katedra technologie obrábění**

Zásady pro vypracování

1. Úvodní rešerše z oblasti metrologie a použitých materiálů dílů
2. Návrh experimentu
3. Realizace a následné vyhodnocení
4. Závěrečné shrnutí výsledků měření

Rozsah bakalářské práce: **30 – 40 stran**
Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

- Metrologie v kostce. 3. opravené vydání, ČMI, 2009. Dostupné z https://www.unmz.cz/sborniky_th/sb2009/MvK_7_vidit_hypervazby_small.pdf
- Český metrologický institut. [online] 2013 [cit. 20. 9. 2013] Dostupné z: <http://www.unmz.cz/urad/ouradu>
- Zákon č. 505/1990 Sb. ze dne 16. listopadu 1990 o metrologii. Dostupný z: <http://www.unmz.cz/urad/uplne-pracovni-zneni-zakona-c-505-1990-sb-o-metrologiiic237>
- ČECH, J., PERNIKÁŘ, J. a PODANÝ, K. Strojírenská metrologie. 4. přep. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005. 176 s. ISBN 80-214-3070-2

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Dana Kubátová, Ph.D.**
Katedra technologie obrábění

Konzultant bakalářské práce: **Ing. Václava Pokorná**
Katedra technologie obrábění

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

L.S.

Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan

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

Prohlášení o autorství

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

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

V Plzni dne:

.....

podpis autora

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Netrval	Jméno Vítězslav	
STUDIJNÍ PROGRAM	B0715A270013 Strojní inženýrství		
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Kubátová, Ph.D.	Jméno Dana	
PRACOVISŤE	ZČU - FST – KTO		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Experimentální ověření vlivu teploty dílu při měření vybraných rozměrových parametrů		

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

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	51	TEXTOVÁ ČÁST	30	GRAFICKÁ ČÁST	6
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK) ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	Bakalářská práce obsahuje popis a výsledky navrhovaného experimentu týkajícího se vlivu teploty dílu při měření vybraných rozměrových parametrů. Navrhovaný experiment se provádí ve třech teplotních scénářích a na třech různých materiálech. Výsledkem je pak porovnání naměřených hodnot při různých teplotách.
KLÍČOVÁ SLOVA ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE	metrologie, souřadnicový měřicí zařízení, vliv teploty při měření, délková roztažnost

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Surname Netrval	Name Vítězslav	
STUDY PROGRAMME	B0715A270013 Mechanical Engineering		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Kubátová, Ph.D.	Name Dana	
INSTITUTION	ZČU - FST - KTO		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Experimental verification of the influence of part temperature during a measurement of selected dimensional parameters		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	KTO	SUBMITTED IN	2021
----------------	------------------------	-------------------	-----	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	51	TEXT PART	30	GRAPHICAL PART	6
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	This thesis contains a description and results of an experiment that is focused on effect of temperature during the measurement. The experiment is performed on three different materials during three different temperature scenarios. The outcome is a comparison of measured values during different temperatures.
KEY WORDS	metrology, coordinate measuring machine, effect of temperature during measurement, linear expansion

Obsah

Přehled použitých zkratk a symbolů.....	9
Seznam obrázků	10
Seznam tabulek	11
Seznam rovnic.....	11
1 Úvodní rešerše z oblasti metrologie a použitých materiálů dílů	12
1.1 Cíl práce.....	12
1.2 Metrologie	12
1.3 Vlivy působící na přesnost měření	14
1.3.1 Prostředí	14
1.3.2 Teplota dílu	14
1.4 Používané materiály v leteckém průmyslu.....	15
1.4.1 Historie používaných materiálů	15
1.4.2 Hliníkové slitiny.....	17
1.4.3 Titanové slitiny.....	17
1.4.4 Kompozitní materiály.....	17
1.5 Používané materiály v automobilovém průmyslu	18
1.5.1 Oceli	19
1.5.2 Slitiny	20
1.5.3 Kompozitní materiály.....	20
1.5.4 Plastové materiály	21
2 Návrh experimentu.....	22
2.1 Popis testovaného dílu	22
2.2 Popis materiálů dílů vybraných pro experiment.....	23
2.2.1 Uhlíková ocel	23
2.2.2 Hliníková slitina	23
2.2.3 Plast.....	24
2.2.4 Výroba testovacích dílů.....	24
2.3 Popis použité měřicí techniky.....	26
2.3.1 Měření teploty dílů	26
2.3.2 Měření rozměrů dílů.....	28
2.4 Specifikace zvolených podmínek pro experiment.....	32
3 Realizace a následné vyhodnocení.....	33
3.1 Plastové díly	33
3.2 Díly z hliníkové slitiny	35

3.3	Ocelové díly.....	36
3.4	Vzájemné srovnání	37
4	Závěrečné shrnutí výsledků měření.....	41
5	Seznam použitých zdrojů	43
	PŘÍLOHA č. I	i
	PŘÍLOHA č. II	ii
	PŘÍLOHA č. III.....	v

Přehled použitých zkratk a symbolů

CMM	Coordinate measuring machine
lx	lux
dB	decibel
GLARE	Glass aluminium reinforced laminate
ČSN	Česká technická norma
BH	Nake hardenable
HSLA	High-strength low-alloy
TRIP	Transformation-induced plasticity
CGI	Compacted graphite iron
CFRP	Carbon fibre reinforced plastic
PP	Polypropylen
ABS	Akryl-butadien-styren
3D	trojdimenzionální
EN	Evropská norma
ISO	Mezinárodní organizace pro normalizaci
W.Nr.	Werkstoffnummer
AISI	American Iron and Steel Institute
kg	kilogram
m ³	metr krychlový
MPa	megapascal
J	joule
cm ²	centimetr čtvereční
K	kelvin
GPa	gigapascal
mm	milimetr
μm	mikrometr
°C	stupeň celsia

Seznam obrázků

Obrázek 1 – Ishikaův diagram [6].....	13
Obrázek 2 - grafické znázornění použitých materiálů v letectví [10]	16
Obrázek 3 - použité materiály v letounu Boeing 787 [9].....	16
Obrázek 4 - synergický efekt [11].....	18
Obrázek 5 - materiálové složení Škoda Octavia II [13].....	19
Obrázek 6 - oceli použité na výrobu karoserie [15].....	20
Obrázek 7 - karbonový monokok Lamborghini Aventador [18]	21
Obrázek 8 - součást pro experiment zobrazená v CAD programu.....	22
Obrázek 9 - vyrobené díly pro experiment.....	25
Obrázek 10 - 3D tiskárna Prusa i3 MK3S+ [28].....	26
Obrázek 11 - měření teploty pomocí multimetru.....	27
Obrázek 12 - měření teploty pomocí senzorů a multimetru.....	27
Obrázek 13 - měřicí přístroj CMM Carl Zeiss Prismo 7 Navigator.....	28
Obrázek 14 - bokorys testované součásti	29
Obrázek 15 – používané doteky	30
Obrázek 16 - měření dotekem o průměru 3 mm	30
Obrázek 17 - měření dotekem o průměru 1.5 mm	31

Seznam tabulek

Tabulka 1 - chemické složení oceli ČSN 12 050.1 [23].....	23
Tabulka 2 - chemické složení slitiny EN AW-6061 [25].....	23
Tabulka 3 - srovnání parametrů vybraných materiálů [23] [25] [27]	24
Tabulka 4 - názvy součástí zařízení	28
Tabulka 5 - technické parametry CMM Carl Zeiss Prismo 7 Navigator [29].....	29
Tabulka 6 - zvolené podmínky	32
Tabulka 7 – PLAST ABS - DÍL Č.1 srovnání délek.....	33
Tabulka 8 - PLAST ABS - DÍL Č.1 srovnání úhlů.....	34
Tabulka 9 - PLAST ABS - DÍL Č.2 srovnání délek	34
Tabulka 10 - PLAST ABS - DÍL Č.2 srovnání úhlů.....	35
Tabulka 11 - porovnání odchylek chladných dílů.....	37
Tabulka 12 - porovnání odchylek teplých dílů.....	38
Tabulka 13 – porovnání největších délkových odchylek	39
Tabulka 14 - porovnání největších úhlových odchylek	39
Tabulka 15 - porovnání průměrných odchylek	40
Tabulka 16 - HLINÍKOVÁ SLITINA EN AW-6061 - DÍL Č.1 srovnání délek.....	iii
Tabulka 17 - HLINÍKOVÁ SLITINA EN AW-6061 - DÍL Č.1 srovnání úhlů.....	iii
Tabulka 18 - HLINÍKOVÁ SLITINA EN AW-6061 - DÍL Č.2 srovnání délek.....	iv
Tabulka 19 - HLINÍKOVÁ SLITINA EN AW-6061 - DÍL Č.2 srovnání úhlů.....	iv
Tabulka 20 - OCEL ČSN 12 050 - DÍL Č.1 srovnání délek	vi
Tabulka 21 - OCEL ČSN 12 050 - DÍL Č.1 srovnání úhlů.....	vi
Tabulka 22 - OCEL ČSN 12 050 - DÍL Č.2 srovnání délek	vii
Tabulka 23 - OCEL ČSN 12 050 - DÍL Č.2 srovnání úhlů.....	vii

Seznam rovnic

Rovnice 1 - délková roztažnost [8]	14
Rovnice 2 - objemová roztažnost [8]	15

1 Úvodní rešerše z oblasti metrologie a použitých materiálů dílů

Ačkoliv se to na první pohled nemusí zdát, metrologie je jako vědní disciplína přirozenou a neodmyslitelnou součástí našeho života. Do styku s metrologií se každý z nás dostane hned při narození, kdy jsme součástí vážení, měření délek, teploty či tlaku. [1]

S postupem času každý člověk přichází s metrologií mnohem častěji do styku. Hlavní využití metrologie je však v technické praxi. Metrologii využívá zejména strojírenský průmysl. Cílem každého výrobního podniku v oblasti strojírenství je výroba vlastních produktů s určitou mírou přesnosti. Díky tomu se snaží výrobní společnosti vyvarovat výrobě zmetků, které způsobují ekonomické ztráty. Finální přesnost výrobků zaručuje správnost a kvalitu výrobního procesu. Tento záměr je důležitý pro podniky zejména v dnešní době, kdy je na trhu velmi vysoká konkurence.

Metrologie slouží ve strojírenství pro kontrolu parametrů výrobku a také k případnému zjištění nepřesných rozměrů výrobků. K měření těchto parametrů se používá široké spektrum měřicí techniky. Jejich volba je závislá na velikosti součásti, podmínkách, při kterých je měření prováděno, či na přesnosti provedení měřené součásti. [2]

1.1 Cíl práce

Z rozsáhlé oblasti metrologie se tato práce zaměří jen na její malou část, a to na proces kontroly dílů. Práce je zaměřená na nalezení vlivu teploty dílu při měření výrobních parametrů součásti v rámci akreditované metrologické laboratoře.

Cílem předkládané práce je vytvoření podkladů z oblasti vlivu teploty dílů při měření na CMM (coordinate-measuring machine) pro akreditovanou metrologickou laboratoř a pro její zákazníky tak, aby sepsané poznatky mohly být použity při argumentaci potřeby teplotní stabilizace dílu před měřením.

1.2 Metrologie

Pojem metrologie lze definovat jako: Vědní oblast zabývající se měřením různých fyzikálních a technických veličin. [3]

Metrologie se zároveň zabývá: [4]

- problematikou veličin a jednotek
- problematikou metod a postupů měření a zpracování výsledků měření
- problematikou měřidel
- problematikou vlivů lidského činitele
- problematikou předpisovou a právní
- problematikou základních fyzikálních konstant
- problematikou technických a materiálových konstant

Metrologie plní tři hlavní úkoly: [5]

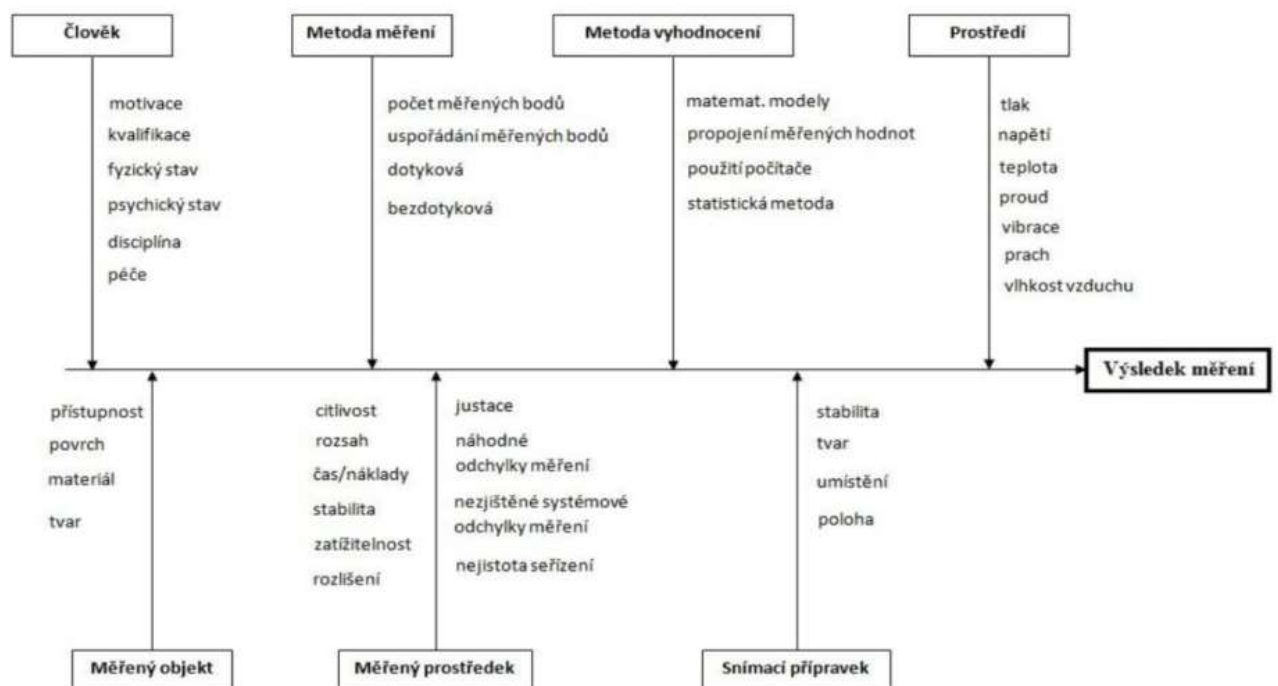
1. Definování mezinárodně uznávaných jednotek měření.
2. Realizace jednotek měření pomocí vědeckých metod.
3. Vytváření řetězců návaznosti cestou stanovení a dokumentování hodnoty, přesnosti měření a přenosu těchto údajů.

Metrologie se dělí do tří kategorií s různým stupněm složitosti a požadavků na přesnost. [5]

1. **Vědecká metrologie** se zabývá organizací a vývojem etalonů a jejich udržováním (nejvyšší úroveň).
2. **Průmyslová metrologie** zajišťuje náležité fungování měřidel používaných v průmyslu a ve výrobních a zkušebních procesech, pro zajištění kvality života obyvatel a pro akademický výzkum.
3. **Legální metrologie** se zabývá správností měření tam, kde tato měření mají vliv na průhlednost ekonomických transakcí, zvláště tam, kde je potřeba předepsaného ověřování měřidel.

Tato práce bude dále zaměřena jen do oblasti průmyslové metrologie, kde by se práce měla zaměřit na popis vlivu nedodržení podmínek měření (teplota dílu) na dosažené výsledky.

Základem této práce byla vytvořena analýza, která zjišťuje možné příčiny způsobující nepřesnosti při měření. Na základě provedení Ishikaova diagramu (obrázek č.1) bylo vybráno několik možných problémů.



Obrázek 1 – Ishikaův diagram [6]

Na základě brainstormingové metody byly vybrány tři možné příčiny:

1. Prostředí – speciálně teplota
2. Metoda měření – dotekové či bezdotykové měření
3. Měřený prostředek – velikost dílu a jeho povrch

Příčiny chyb, jejichž příčinou je špatně zvolená metoda měření nebo samotný měřený díl a jeho specifika, byly tématem dříve publikovaných kvalifikačních prací. Tato práce se soustředí pouze na vliv teploty a soustředí se na problém, jak velké rozdíly mohou vznikat při nedodržení teplotní stabilizace při měření.

1.3 Vlivy působící na přesnost měření

Aby bylo možné považovat měření za správné, je nutné dodržet podmínky, které jsou pro měření dané.

1.3.1 Prostředí

Pracovní prostředí pro měření délek musí splňovat určitá kritéria, ať už se jedná o teplotu, vlhkost či osvětlení. Teplotní chyba je nejčastěji způsobena rozdílnou teplotou měřeného dílu a měřidla. Teplota ovlivňuje přesnost měření přímo, ale i nepřímo (bývá dávana do souvislosti také s tlakem a vlhkostí a je součástí celkových mikroklimatických podmínek laboratoře). V metrologických laboratořích jsou kladeny požadavky na teplotu, která by měla být $(20 \pm 0,5)$ °C, pro nejpřesnější měření pak $(20 \pm 0,1)$ °C.

Relativní vlhkost by se měla pohybovat v rozmezí 55÷60 %. Důležitá je také hodnota intenzity umělého osvětlení, která má být 800 lx, a maximální dovolená hodnota pro hlučnost, která je 55 dB. Dalšími požadavky na prostředí je bezprašnost, zajištění prostředí bez vibrací a dostatečný prostor pro přesné měření. [7]

1.3.2 Teplota dílu

Přesnost měření může být ovlivněna nejen teplotou prostředí, ale z větší části i teplotou samotného měřeného dílu. Rozdílná teplota dílu má za následek změny rozměrů, což se projevuje na délkách a objemu tělesa. Obecně platí, že pokud těleso ohřejeme o určitou teplotu, těleso se zvětší. Při tomto jevu dojde k pohybu molekul z jejich původních rovnovážných poloh do nových rovnovážných poloh, které jsou dále od sebe. Tento pohyb molekul zapříčiní zvětšení délek a objemu tělesa. Naopak pokud těleso ochladíme o určitou teplotu, dojde ke zkrácení délek a zmenšení objemu. Délková roztažnost je popsána rovnicí č.1.

$$\Delta l = l_0 \cdot \alpha \cdot \Delta T \quad [1]$$

Rovnice 1 - délková roztažnost [8]

kde: Δl ...délková změna

l_0 ...původní délka

α ... délkový teplotní součinitel roztažnosti

ΔT ...teplotní změna

Analogický vztah platí i pro objemovou roztažnost, kde se pro výpočet používá objemový teplotní součinitel roztažnosti β . Objemová roztažnost je definována rovnicí č.2.

$$\Delta V = V_0 \cdot \beta \cdot \Delta T \quad [2]$$

Rovnice 2 - objemová roztažnost [8]

kde: ΔV ...objemová změna

V_0 ...původní objem

β ...objemový teplotní součinitel roztažnosti

ΔT ...teplotní změna

Hodnota délkového teplotního součinitele roztažnosti α je dána v materiálových listech jednotlivých materiálů. Pro tuto práci budou následně vybrány tři materiály a jejich hodnota bude v tabulce v kapitole 2.2.3. Objemový teplotní součinitel roztažnosti β se vypočte jako trojnásobek hodnoty α . [8]

1.4 Používané materiály v leteckém průmyslu

V leteckém průmyslu se používá široká škála materiálů, počínaje kovovými materiály a konče kompozity. Každý z těchto materiálů má své specifické vlastnosti a je vhodný pro různé části letadel. Obecně jsou na materiál pro výrobu letadel kladeny nároky pevnostní, technologické, ekonomické a provozní.

Charakteristické požadavky na materiál jsou zejména vysoká pevnost a tuhost, únavová odolnost, nízká hustota a odolnost proti tečení. Tyto vlastnosti se ověřují pomocí mechanických zkoušek. Od běžného zkoušení materiálů se liší v teplotách, při kterých je zkouška prováděna. Zkoušky se provádějí za nižších i vyšších teplot z důvodu nasimulování podmínek, za kterých budou v letadle použity.

Technologické nároky na materiál jsou tvářitelnost, obrobitelnost, svařitelnost, slévateľnost, popřípadě schopnost lepení. Zvolení technologie má značný vliv na finální vlastnosti součásti. Technologické požadavky lze kontrolovat mechanickými zkouškami, například svary se dají zkontrolovat pomocí metalografie.

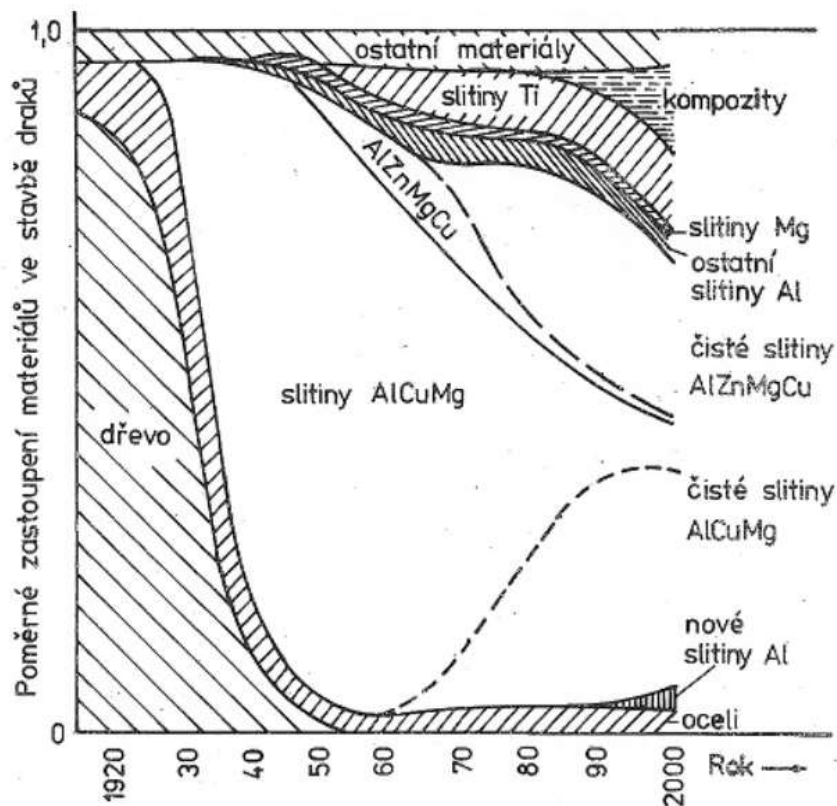
V současné době je také kladen důraz na ekonomické požadavky materiálu. Nejde pouze o cenu polotovaru, ale s ekonomickými požadavky jsou spojeny i náklady na likvidaci materiálu.

Hlavní provozní požadavek na letecké součásti je odolnost vůči korozi. Do těchto požadavků můžeme také zařadit odolnost vůči provozní (vysoké) teplotě či opravitelnost součásti. [9] [10]

1.4.1 Historie používaných materiálů

První letadla byla vyrobena převážně ze dřeva. Dřevo bylo použito na stavbu trupu a vrtulí. V mnohem menším množství se používal hliník, buď jako plechy na trupu nebo jako součást komponentů ve spalovacím motoru. Kovové materiály se začaly používat již během první světové války, avšak jejich hlavní rozmach nastal ve 20. letech 20. století. Největší vývoj v konstruování letadel proběhl během druhé světové války. Letadla se začala vyrábět převážně z lehkých hliníkových slitin. Tyto slitiny obsahovaly převážně hliník, měď a hořčík. V 60. letech 20. století se v letectví začaly používat titanové slitiny, stále však převažovalo

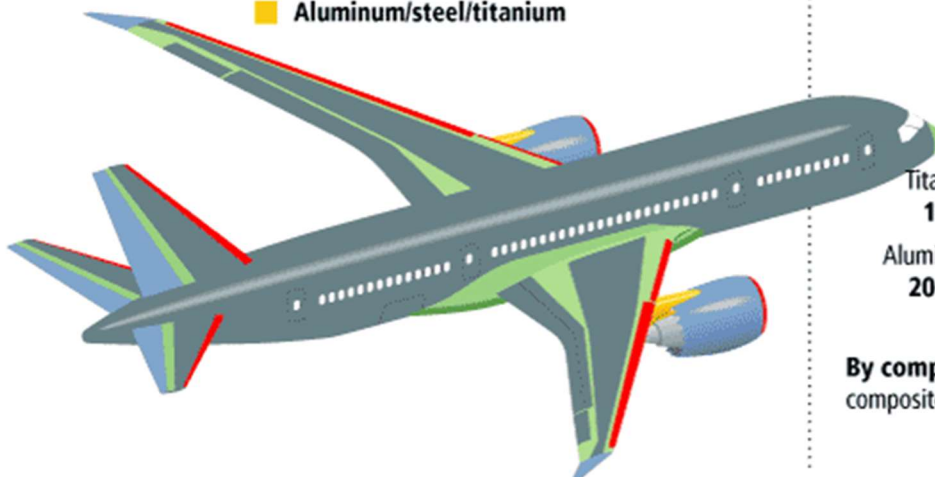
použití lehkých hliníkových slitin. Vývoj používaných materiálů je vyobrazen na obrázku č.2. V současné době se hojně využívají kompozitní materiály, zejména z důvodu úspory hmotnosti. Použití materiálů na různých částech letadla je vidět na obrázku č.3. [10] [11]



Obrázek 2 - grafické znázornění použitých materiálů v letectví [10]

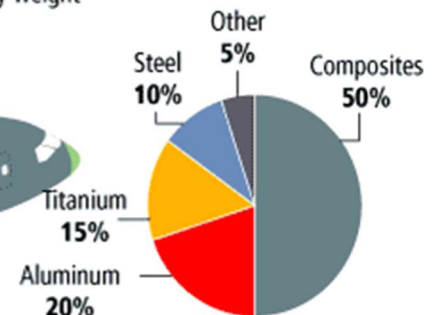
Materials used in 787 body

- Fiberglass
- Aluminum
- Carbon laminate composite
- Carbon sandwich composite
- Aluminum/steel/titanium



Total materials used

By weight



By comparison, the 777 uses 12 percent composites and 50 percent aluminum.

Obrázek 3 - použité materiály v letounu Boeing 787 [9]

1.4.2 Hliníkové slitiny

Hliníkové slitiny jsou nejčteněji používaným kovovým materiálem při stavbě letadel. Nejvíce používaná slitina hliníku je na bázi Al-Cu-Mg. Tyto slitiny mají nejčastěji označení 2xxx a jsou známé pod pojmem duraly. Přednostmi těchto slitin jsou dobré mechanické vlastnosti, zejména jejich vysoká pevnost, která je dosahována vytvrzováním. Nevýhodou použití může být horší odolnost vůči korozi. Z těchto slitin se zhotovují krycí panely trupu a potahy křídel. [12]

Al-Li slitiny patří mezi nedávno nalezené slitiny hliníku. Přidání lithia se zvyšuje pevnost a zároveň se snižuje hmotnost slitiny. Lithium je kov s nejnižší hustotou mezi kovy a díky této vlastnosti dochází ke snížení hmotnosti ve výsledné slitině. Nevýhodou této skupiny slitin je horší odolnost vůči únavovému porušení a šíření trhlin. Výroba těchto slitin je obtížná a značně nákladná. Z těchto slitin se vyrábí komponenty, které jsou výrazně mechanicky nebo tepelně namáhané, například rámy nebo vzpěry. [9] [11] [12]

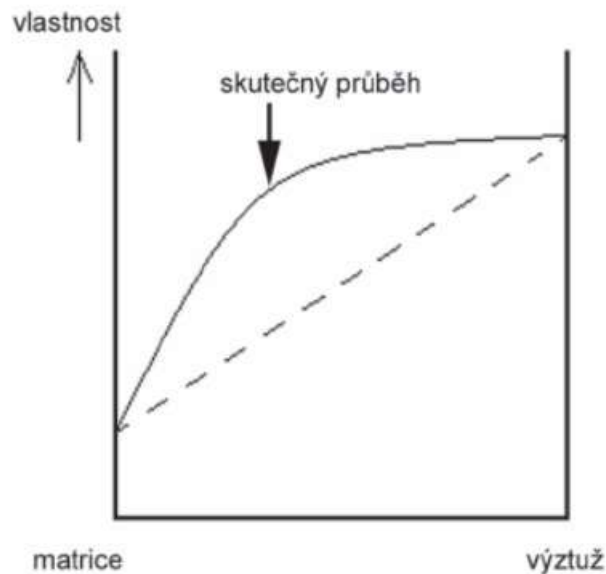
Skandium je významný legující prvek pro hliníkové slitiny. Legováním hliníkových slitin skandiem se zlepšují mechanické a technologické vlastnosti. Pro dosažení ještě lepších vlastností se společně se skandiem přidává malé množství zirkonia. Tyto skandiem legované slitiny byly použity pro výrobu stíhaček MIG 29. [11]

1.4.3 Titanové slitiny

Čistý titan vyniká především pevností a zároveň je odolný vůči korozi. Přednosti titanových slitin jsou odolnost vůči korozi, odolnost proti abrazi, výborný poměr mezi pevností a hustotou a v neposlední řadě vysoká mez kluzu. Nejpoužívanější titanovou slitinou je Ti-6Al-4V. Téměř polovina vyprodukovaného titanu se používá na výrobu této slitiny. Hlavní prvky slitiny jsou patrné z jejího označení – titan, hliník a vanad, avšak v této slitině je obsažen i kyslík a dusík. Při vyšším obsahu kyslíku a dusíku má slitina větší pevnost. Naopak při nižším obsahu se zlepšuje korozní odolnost, houževnatost a tažnost. V leteckém průmyslu se tato slitina používá na lopatky kompresorů či části draku. [12]

1.4.4 Kompozitní materiály

Kompozitní materiály jsou heterogenní materiály složené ze dvou či více fází. Každá z těchto fází má odlišné vlastnosti, ať už fyzikální, mechanické či chemické. Jedna z fází kompozitu je spojitá - matrice a druhá je nespojitá - výztuž. Výztuž má oproti matici lepší mechanické vlastnosti. Hlavním cílem výztuže je zvýšení modulu pružnosti, tvrdosti a pevnosti. Pro kompozity je charakteristický synergický efekt. To znamená, že výsledné vlastnosti kompozitu mají vyšší hodnoty než pouhé sečtení hodnot obou fází. Tento efekt je znázorněn na obrázku č.4. [11]

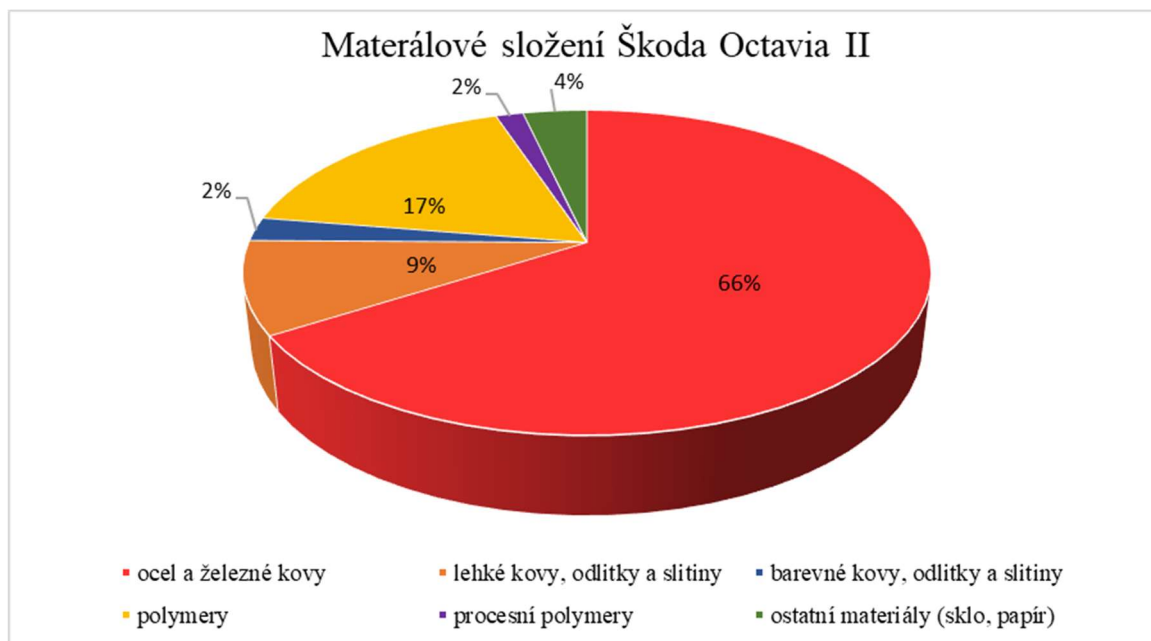


Obrázek 4 - synergický efekt [11]

Současné letouny mají čím dál více komponentů z kompozitních materiálů. Je to z důvodu úspory hmotnosti a také díky dobrým mechanickým vlastnostem. Zástupcem kompozitu, používaných v leteckém průmyslu, je GLARE. Zkratka GLARE znamená GLass Aluminium REinforced laminate. Jedná se o kompozit, který se skládá z vrstvených plechů z hliníkové slitiny, vyztužený skleněnými vlákny. Vlákna jsou v epoxidové pryskyřici, která je zároveň spojuje s hliníkovými plechy. Výhodou kompozitu GLARE jsou odolnost vůči šíření únavovým trhlinám, vysoká odolnost proti korozi a prohoření a v neposlední řadě nízká měrná hmotnost. Nevýhodou tohoto kompozitu je vysoká cena, zejména díky náročné výrobě. První použití materiálu GLARE bylo na letounu Airbus A380 Jumbo Jet, který byl uveden do provozu v roce 2007. [11]

1.5 Používané materiály v automobilovém průmyslu

Výroba aut je důležitou složkou ekonomiky v mnoha státech po celém světě. Mezi tyto státy patří i Česká republika, kde sídlí automobilka Škoda Auto. Současným trendem automobilů je nárůst jejich rozměrů. Důvodem tohoto trendu je zejména požadavek zákazníků na co největší vnitřní prostor a pohodlí během řízení. Větší rozměry automobilů zákonitě znamenají i vyšší hmotnost a tím pádem i větší spotřebu paliva, či horší akceleraci a manévrovatelnost. Aby zůstaly automobily konkurenceschopnými, musí automobilky investovat do vývoje nových a lehčích materiálů. Zároveň musí zachovat jejich mechanické vlastnosti, neboť je v dnešní době kladen velký důraz na bezpečnost v provozu a ekologii provozu automobilů. Tento aspekt je převážně vyjádřen emisemi. Cílem automobilek je splnit požadované emisní normy a proto se vyvíjí nové technologie a materiály. Procentuální zastoupení jednotlivých skupin materiálů je zobrazeno na obrázku č.5. [14]



Obrázek 5 - materiálové složení Škoda Octavia II [13]

1.5.1 Oceli

Oceli jsou nejpoužívanějšími materiály pro výrobu automobilů. Současné oceli se výrazně liší od těch, které byly používány v minulém století. Díky těmto inovacím a vývoji mají oceli jisté místo v konstrukci automobilů.

Běžné uhlíkové oceli se dříve používaly pro stavbu automobilů. Oproti současně používaným ocelím mají velice nízkou hodnotu meze kluzu, na druhou stranu mají vyšší tažnost. V dnešní době se již téměř v automobilovém průmyslu nepoužívají. Zástupcem těchto ocelí je například ocel ČSN 11 320. [14]

Současné automobily jsou z velké části vyrobeny z BH oceli. Zkratka BH znamená bake hardenable. Před zpracováním materiálu má ocel nízkou hodnotu meze kluzu a dobré plastické vlastnosti. Své finální vlastnosti dodá oceli až vypalování laku na daném materiálu. Během vypalování dochází k deformačně-tepelnému stárnutí a zvýšení meze kluzu. Výsledný materiál je schopen snést vyšší zatížení než před vypalováním. Zároveň je odolný vůči mechanickému poškození povrchu. Díky těmto vlastnostem se BH oceli používají na výrobu kapot, střešů či dveří. [14]

Další významnou skupinou jsou HSLA oceli. Písmena HSLA jsou zkratkou pro high-strength low-alloy. Do češtiny by se dalo přeložit jako vysokopevnostní nízkolegované oceli. Tyto oceli jsou legovány zejména manganem, v menší míře pak chromem, niobem, molybdenem, vanadem či titanem. Díky své dobré tažnosti jsou vhodné na použití dynamicky namáhané součásti. V automobilu bychom součásti z HSLA ocelí našli na podvozkových dílech. [14]

Zástupcem pokročilých vysokopevnostních ocelí je skupina TRIP ocelí. Zkratka TRIP je anglické označení transformation-induced plasticity, do češtiny by se dalo přeložit jako oceli s transformačně indukovanou plasticitou. Tyto oceli vynikají skvělou kombinací pevnosti a tažnosti. Vysoká mez kluzu, velké deformační zpevnění a vysoká schopnost absorpce energie jsou hlavními přednostmi těchto ocelí. Díky těmto vlastnostem se používají na bezpečnostní prvky karoserie, zejména na výztuhy B-sloupků, prahy dveří či podélné nosníky. [14]

Výše zmíněné skupiny ocelí jsou vyobrazeny na obrázku č.6, kde je zároveň vidět jejich oblast použití na karoserii vozidla.



Obrázek 6 - oceli použité na výrobu karoserie [15]

1.5.2 Slitiny

Slitiny na rozdíl od ocelí se nepoužívají v takové míře na konstrukci části karoserií, používají se spíše na motorové části či disky kol. Slévárenské hliníkové slitiny představují dobrou kombinaci pevnosti a ekonomickou výhodnost. Z hliníkových slitin se odlévají bloky motorů. Nespornou výhodou hliníkových bloků, oproti starším blokům z šedé litiny, je výrazná nižší hmotnost. Na výrobu vík hlav motoru se používají slitiny hořčíku. Na tyto komponenty se používá slitina pod obchodním názvem elektron. Tento materiál obsahuje převážně hořčík, který je doplněn hliníkem, zinkem a manganem. Dražší a zároveň lehčí hořčíková slitina je v kombinaci s lithiem. Díky své vyšší ceně se používá na výrobu disků kol u sportovních aut, kde každý gram hraje roli, ale cena nerozhoduje. V praxi je velice často používanou litinou CGI litina, známá jako vermikulární litina. Jedná se o grafitickou litinu s červíkovitým grafitem a používá se nejčastěji na odlévání bloků motorů. Oproti hliníkovým slitinám je levnější, ale má větší měrnou hustotu. Znamená to, že tyto bloky jsou značně těžší. [16]

1.5.3 Kompozitní materiály

Kompozitní materiály jsou díky rozsáhlým výzkumům stále více používanou skupinou materiálů v automobilovém průmyslu. Mezi přednosti kompozitů patří zejména nízká hmotnost a odolnost vůči opotřebení. Další výhodou oproti konvenčním kovovým materiálům je, že lze z kompozitu vyrobit tvarově složité součásti. Nejběžnějším kompozitem je kombinace epoxidové pryskyřice vyztužené uhlíkovými vlákny. Tyto materiály sice mají skvělou kombinaci mechanických vlastností a nízké hmotnosti, ale na druhou stranu jsou drahé. Praktické použití mají v motorsportu či u drahých supersportovních automobilů, kde jsou z kompozitů vyrobeny monokoky a díly karoserie jako spoilery či difuzory. Jednou z automobilek, která hojně využívá kompozitní materiály, je Lamborghini. Její supersportovní model Aventador má karbonový monokok (obrázek č.7), konkrétně se jedná o materiál CFRP (Carbon Fibre Reinforced Plastic). [17] [18]



Obrázek 7 - karbonový monokok Lamborghini Aventador [18]

1.5.4 Plastové materiály

Další skupinou materiálů, která se začíná používat ve větší míře, jsou plasty. Plastové materiály se používají téměř ve všech částech automobilů, ať už se jedná o díly v interiéru či motorovém prostoru. Mezi výhody plastů patří únavová odolnost, odolnost vůči korozi, vysoká vrubová houževnatost, dobré tlumení rázů, či odolnost vůči šíření trhlin. Plasty pod označením PP (polypropylen) jsou velice častou konstrukční volbou. Jsou vhodné zejména díky odolnosti vůči chemickým rozpouštědlům, zásadám a kyselinám. Zároveň jsou dobře snášenlivé pro pokožku a fyziologicky neškodné. V exteriéru se používají na nárazníky, boční příčky či podběhy. V interiéru se používají na přístrojovou desku, obložení sloupků či dveřní panely.

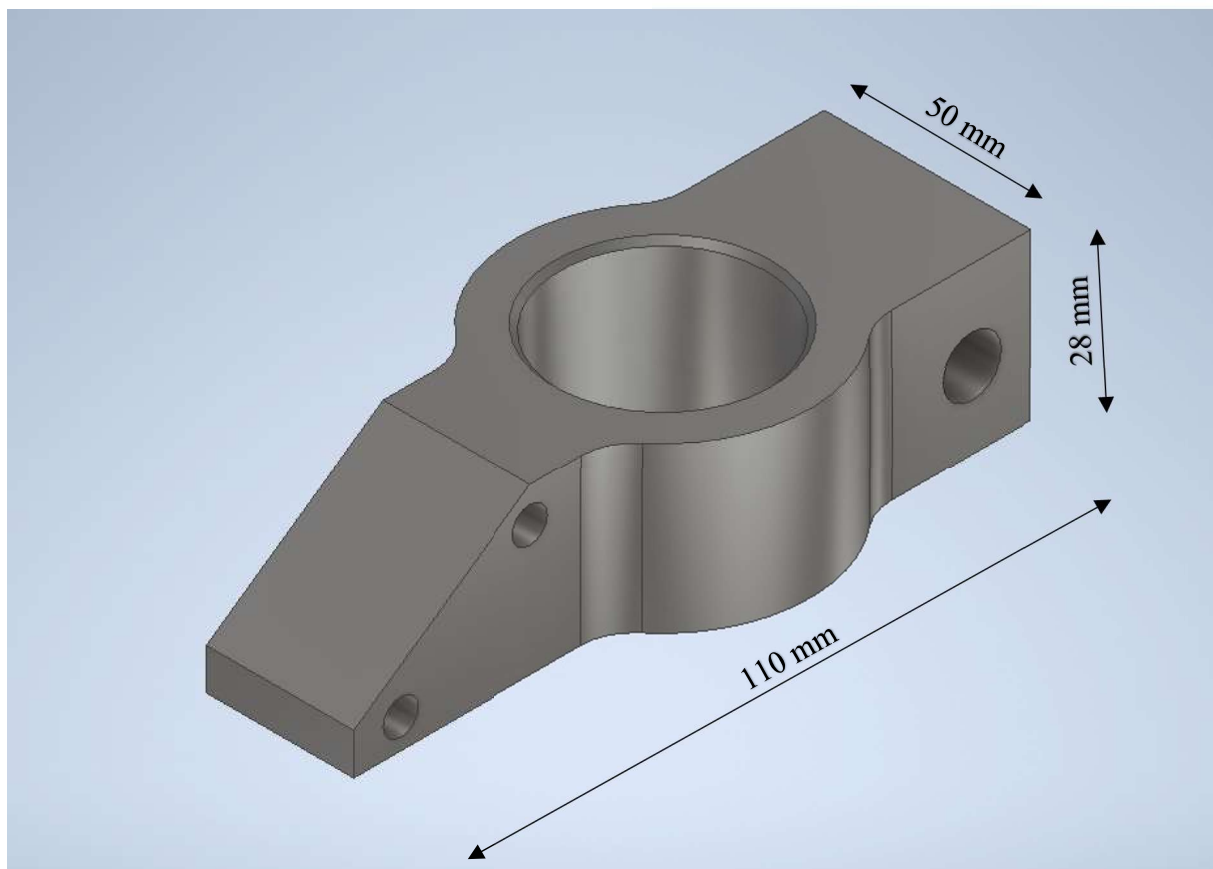
Další často používaná skupina plastů nese označení ABS (akryl-butadien-styren). Typickými vlastnostmi tohoto materiálu jsou malý elektrostatický náboj, odolnost vůči chemikáliím a poškrábání. Další předností je atraktivní, tvrdý a lesklý povrch. Tento materiál je také často používán ve formě filamentu v 3D tiskárnách. V automobilech se používá na výdechy klimatizace, středové konzole a podběhy kol. [16] [19] [20]

2 Návrh experimentu

Hlavním cílem navrhovaného experimentu bylo, aby co nejvíce simuloval příklady z praxe. Experiment vycházel zejména ze zkušeností při zpracování zakázek metrologické laboratoře, která se nachází v Regionálním technickém institutu při Západočeské univerzitě. Experiment je blíže představen v následujících kapitolách, kde je podrobněji popsán zkušební díl, zvolené materiály, popis používaných měřicích přístrojů a podmínky, při kterých měření probíhalo.

2.1 Popis testovaného dílu

V metrologické laboratoři Regionálního technického institutu se nejčastěji zpracovávají zakázky, jejichž úkolem je měření dílů z automobilového či leteckého průmyslu. Z tohoto důvodu byla jako předloha použita komponenta, která může být součástí jak automobilu, tak i letadla. Konkrétně se jednalo o podvozkový díl, který se nachází v přední nápravě automobilu a slouží k uložení řídicího mechanismu. Rozměry dílu použitého pro experiment byly přizpůsobeny tak, aby mohl být jednoduše vyroben. Finální podoba dílu pro experiment je velice podobná předloze z praxe, avšak v některých rozměrech se může nepatrně lišit. Tento díl byl vybrán pro tento experiment zejména kvůli své tvarové složitosti. Na komponentu se nachází jak válcové plochy, tak i plochy mající svislý a vodorovný tvar. Díl obsahuje také díry o různých průměrech a také sešikmenou plochu. Výrobní výkres komponenty je součástí přílohy č.I této práce. Na obrázku č.8 je vyobrazen díl s jeho základními rozměry, tedy délkou, šířkou a výškou. [21]



Obrázek 8 - součást pro experiment zobrazená v CAD programu

2.2 Popis materiálů dílů vybraných pro experiment

Při volbě tvaru dílu a materiálu byl kladen důraz na to, aby odpovídaly realitě. Tyto materiály se běžně používají v praxi v automobilovém a leteckém průmyslu. Na základě předešlé rešerše byly vybrány tři typy materiálů – uhlíková ocel, hliníková slitina a plast. Konkrétnější popis jednotlivých materiálů je součástí následujících kapitol. Oproti rešerši se vyloučily kompozitní materiály a titanové slitiny. Tyto materiály nebyly vybrány díky složité výrobě dílu z tohoto materiálu, dostupnosti a vysoké ceně. I přes eliminaci těchto materiálů se experiment zakládá na reálných příkladech z praxe.

2.2.1 Uhlíková ocel

Jako zástupce uhlíkových ocelí byla vybrána ocel pod označením ČSN 12 050.1. Tato ocel zároveň nese označení C45 podle značení EN ISO, označení 1.0503 podle W.Nr. či označení 1043 podle americké normy AISI. Jedná se o jeden z nejvíce používaných materiálů ve strojírenství vůbec, a to z důvodu dobrého poměru pevnosti a ceny. Ocel ČSN 12 050 patří mezi uhlíkové konstrukční oceli a je vhodná k zušlechťování či povrchovému kalení. Chemické složení oceli je zobrazeno v tabulce č.1. [22] [23]

Tabulka 1 - chemické složení oceli ČSN 12 050.1 [23]

CHEMICKÉ SLOŽENÍ - OCEL ČSN 12 050.1 [hm. %]							
C	Mn	Si	Cr	Ni	Cu	P	S
0,42-0,50	0,50-0,80	0,17-0,37	max 0,25	max 0,30	max 0,30	max 0,04	max 0,04

V praxi se tento materiál používá na hřídele, ozubená kola, ojnice, pístnice, vřetena, čepy, šrouby, páky, kolíky a další strojní součásti. [23]

2.2.2 Hliníková slitina

Z nabídky materiálů z hliníkových slitin byla vybrána slitina s označením EN AW-6061. Tato slitina se dá najít také pod označením AlMg1SiCu. Jedná se o slitinu, která se dá zařadit ke konstrukčním duralům. Oproti čistému hliníku je tento materiál mnohem pevnější a tvrdší, ale zároveň si zachovává svojí nízkou hustotu. Obecně se tato slitina používá u výrobků, kde se klade důraz na pevnost a odolnost a zároveň je potřeba zachovat nízkou hmotnost součásti. Dalšími vlastnostmi materiálu jsou velice dobrá odolnost vůči korozi, dobrá svařitelnost a obrobitelnost. Tabulka č.2 zobrazuje chemické složení slitiny EN AW-6061. [24] [25]

Tabulka 2 - chemické složení slitiny EN AW-6061 [25]

CHEMICKÉ SLOŽENÍ - SLITINA EN AW-6061 [hm. %]								
Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
0,4-0,8	0,7	0,15-0,40	0,15	0,8-1,2	0,04-0,35	0,25	0,15	zbytek

Tato hliníková slitina má široké uplatnění zejména v leteckém průmyslu. Dále se používá na výrobu komponent dopravních prostředků, na výrobu kotlů či nýtů. V neposlední řadě se používá i na stavbu mostů. [24]

2.2.3 Plast

Při volbě plastového materiálu byl kladen důraz zejména na způsob výroby. Plastové díly lze obrábět podobně jako kovové díly, avšak v dnešní době se hojně využívá technologie 3D tisku. Podmínkami pro výběr plastového materiálu byly schopnost tisku na 3D tiskárně a použití tohoto materiálu v automobilovém či leteckém průmyslu. Oba tyto parametry zcela splňuje plast ABS (Akrylonitril Butadien Styren). Jedná se o termoplastický polymer, vyznačující se vysokou pevností a houževnatostí. Mezi jeho další přednosti patří odolnost vůči nárazům a chemická stálost při působení atmosférických vlivů. Avšak nevýhodou je nulová odolnost vůči kyselinám a organickým rozpouštědlům. V automobilovém průmyslu se používá zejména na díly v interiéru. Díky možnosti 3D tisku tohoto materiálu se často používá při vývoji prototypů. Využívá se toho, že je možné rychle a levně prototypovou součást vytisknout a odzkoušet.[26]

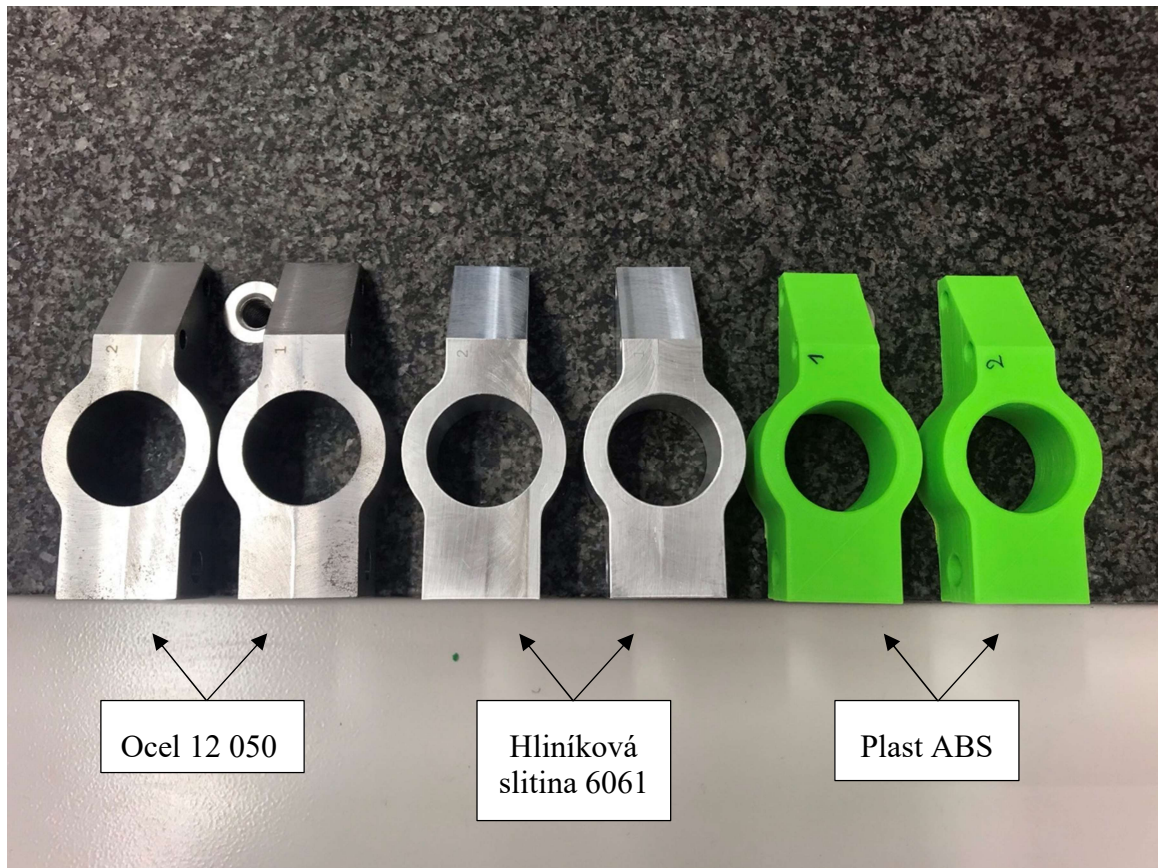
Závěrem této sekce je v tabulce č.3 porovnání vlastností všech tří vybraných materiálů pro tento experiment. V této tabulce je uvedeno porovnání fyzikálních atributů a mechanické vlastnosti daných materiálů.

Tabulka 3 - srovnání parametrů vybraných materiálů [23] [25] [27]

	ocel 12 050.1	hliníková slitina 6061	plast ABS
hustota [kg/m ³]	7870	2700	1040
tažnost [%]	46	10	7
mez pevnosti v tahu[MPa]	min 530	260	33
vrubová houževnatost[J/cm ²]	49	-	3,7
teplotní součinitel roztažnosti [1/K]	$11,6 \times 10^{-6}$	$23,2 \times 10^{-6}$	80×10^{-6}
modul pružnosti [GPa]	221	69	2,21

2.2.4 Výroba testovacích dílů

Výroba testovaných dílů proběhla kompletně v laboratořích Regionálního technického institutu. Z každého materiálu byly vyrobeny dva kusy. Důvodem výroby dvou dílů ze stejného materiálu bylo ověření zjištěných naměřených hodnot a eliminování případné chyby při měření. Aby nedošlo k záměně dílů, byl každý díl číselně označen. Do kovových dílů se označení vypálilo laserem, plastový díl byl označen popisovačem. Všechny díly jsou pak zobrazeny na obrázku č.9. Vlevo jsou díly z uhlíkové oceli, uprostřed se nachází díly z hliníkové slitiny a vpravo jsou díly z plastového materiálu ABS.



Obrázek 9 - vyrobené díly pro experiment

Kovové díly byly vyrobeny na moderních obráběcích strojích pomocí různých nástrojů. Díky špičkovému vybavení Regionálního technického institutu bylo bez problémů dosaženo požadované kvality dílů. Všechny díly tedy splňují veškeré tolerance předepsané v razítku výrobního výkresu. Bez kvalitně vyrobených dílů by byl tento experiment neproveditelný.

Plastový díl byl vytisknut na 3D tiskárně z ABS filamentu. Jednalo se konkrétně o tiskárnu Prusa i3 MK3S+ (obrázek č.10). Při tisku byl kladen důraz na plné vyplnění součásti tištěného dílu. U 3D tisku lze tento parametr nastavovat a to tak, že tištěný díl bude plně vyplněn nebo vyplněn jen z části. Pokud je díl plně vyplněn, je díl pevnější a těžší, avšak se při tisku spotřebuje větší množství filamentu. V druhém případě, tedy když je vyplněn jen z části, je díl méně pevný, lehčí a ušetří se množství filamentu potřebného pro tisk. Pro tento experiment se díl zcela vyplnil a to z důvodu, aby se co nejvíce podobal kovovým dílům. [28]



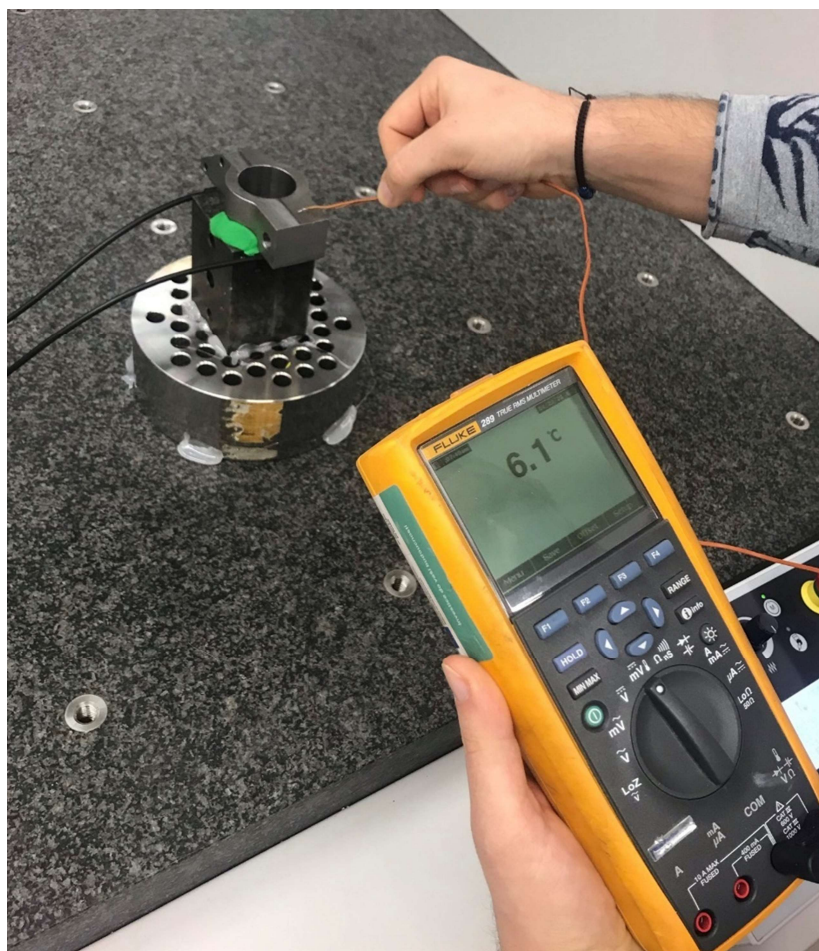
Obrázek 10 - 3D tiskárna Prusa i3 MK3S+ [28]

2.3 Popis použité měřicí techniky

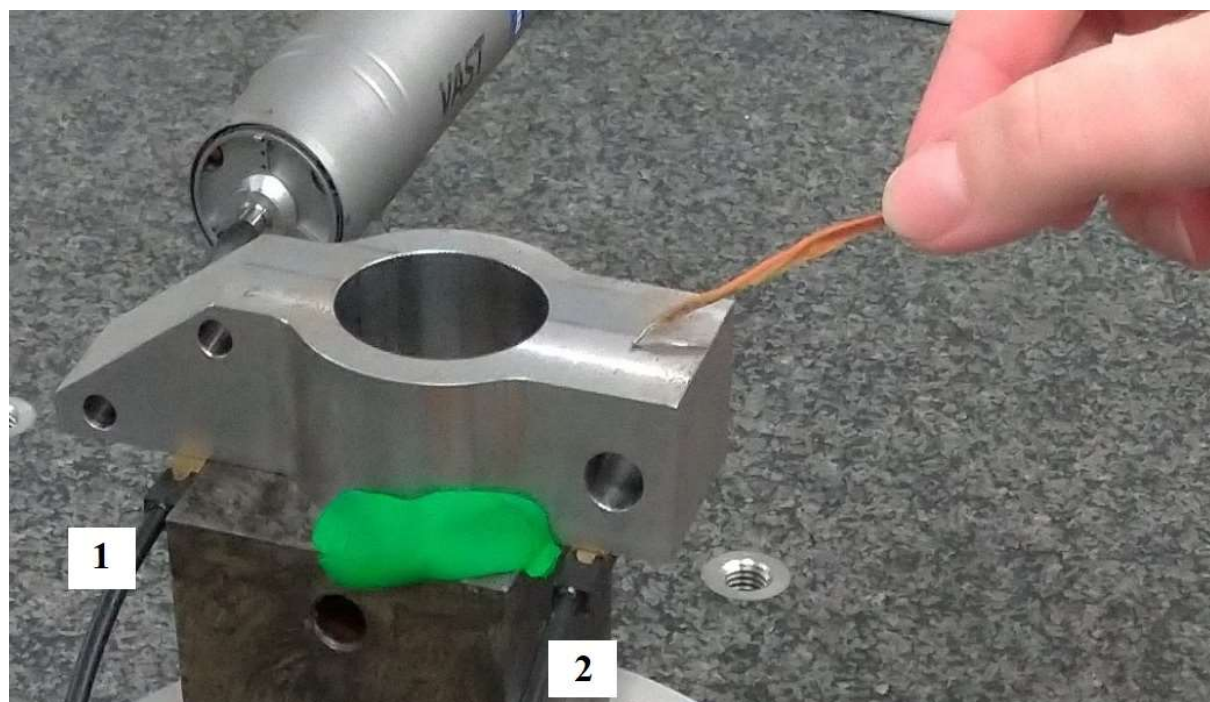
Veškerá použitá měřicí technika je součástí vybavení metrologické laboratoře Regionálního technického institutu v Plzni. Tato laboratoř patří mezi špičku ve svém oboru a k měření se používají nejmodernější přístroje.

2.3.1 Měření teploty dílů

K měření teploty dílů byl použit multimetr Fluke 289. Teplota se odečítá z digitálního displeje. Toto měření je vyobrazeno na obrázku č.11. U dílu z uhlíkové oceli ČSN 12 050.1 byly dodatečně použity teplotní senzory, které předávají informace o teplotě dílu přímo do programu. Ten vyhodnocuje naměřené hodnoty. Tyto senzory mohly být použity pouze na ocelový díl, jelikož je tento materiál feromagnetický a uchycení a měření hodnot senzoru funguje na základě magnetismu. Měření teploty pomocí senzorů bylo doplněno měřením pomocí multimetru, aby všechny naměřené hodnoty teploty dílu pocházely ze stejného měřidla a nemohlo dojít k případnému zkreslení výsledků. Měření pomocí senzorů zároveň s multimetrem je vidět na obrázku č.12, kde jsou senzory označeny číslicemi 1 a 2.



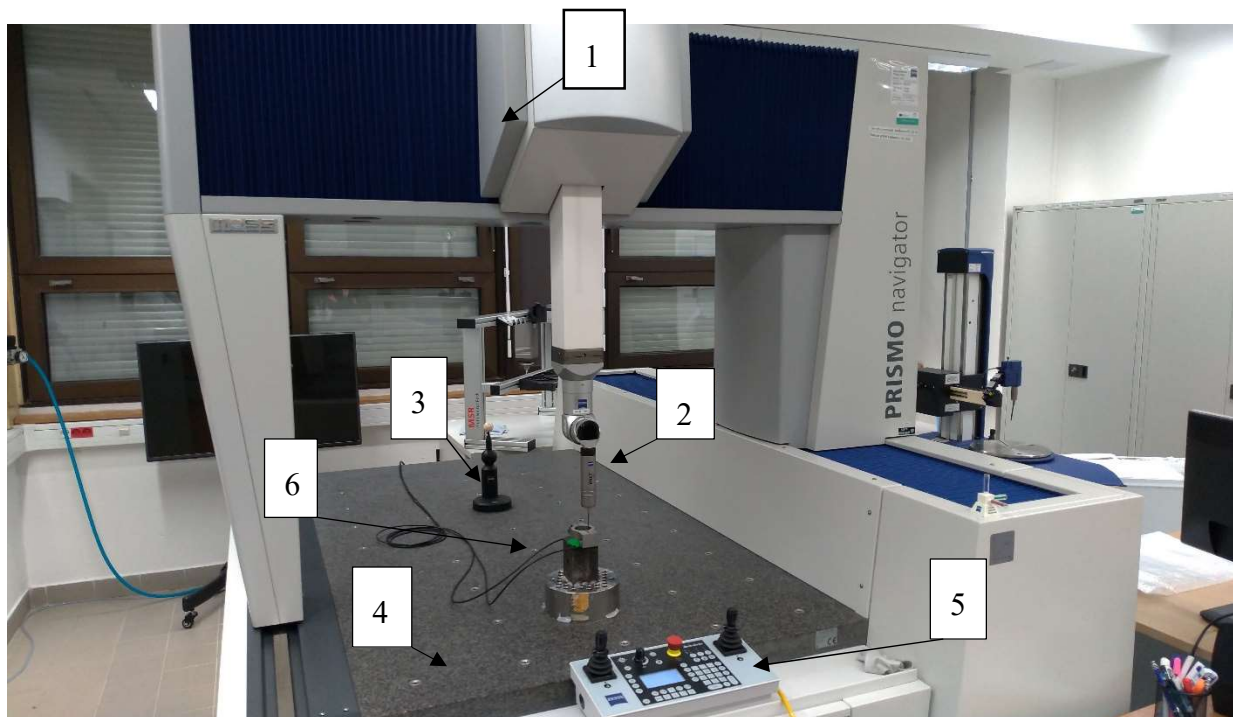
Obrázek 11 - měření teploty pomocí multimetru



Obrázek 12 - měření teploty pomocí senzorů a multimetru

2.3.2 Měření rozměrů dílů

K měření všech délkových či geometrických rozměrů byl použit trísouřadnicový měřicí přístroj CMM Carl Zeiss Prismo 7 Navigator. Firma Carl Zeiss AG pochází z Německa a patří mezi špičku ve svém oboru. Tyto měřicí přístroje mají široké spektrum uplatnění při měření v praxi. Příkladem může být měření bloků motorů či ozubených kol. Na obrázku č.13 je vyfocené zařízení, které se používá v metrologické laboratoři. V tabulce č.4 jsou popsány jeho části a v tabulce č.5 jsou technické parametry tohoto zařízení.



Obrázek 13 - měřicí přístroj CMM Carl Zeiss Prismo 7 Navigator

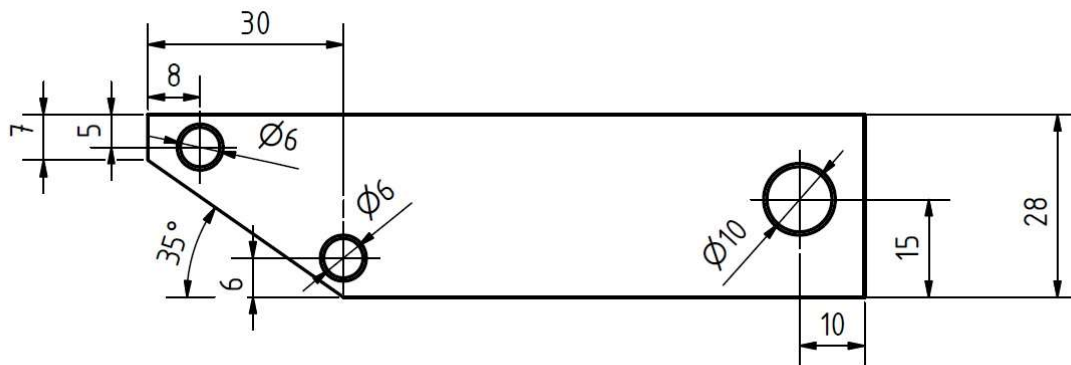
Tabulka 4 - názvy součástí zařízení

číslo součásti	název
1	portál
2	snímací hlava s dotekem
3	kalibrační koule pro validaci doteků
4	granitová deska
5	ovládací pultík pro pohyb stroje
6	teplotní senzory

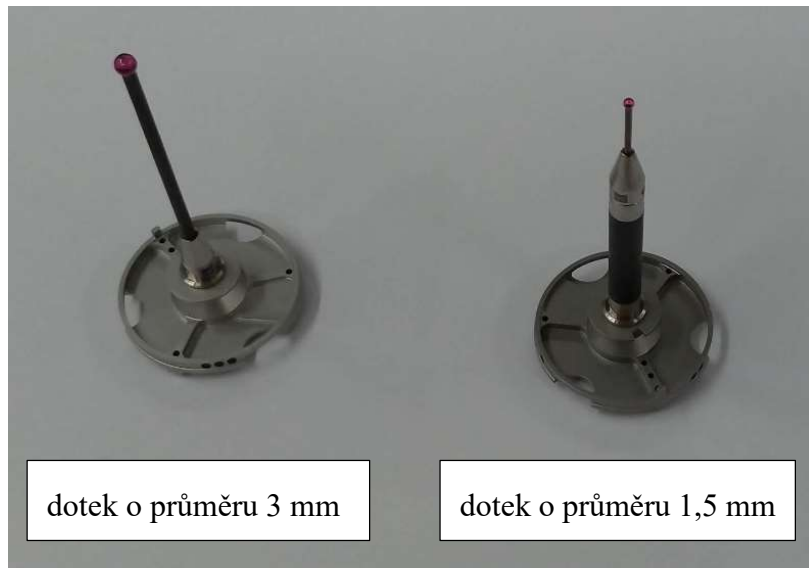
Tabulka 5 - technické parametry CMM Carl Zeiss Prismo 7 Navigator [29]

Technické parametry CMM Carl Zeiss Prismo 7 Navigator	
rozměr [mm]	1750 × 900 × 750
rozměr desky [mm]	1750×900
rychlost pohybu os [mm/s]	100
přesnost poloh os [mm]	0.001
maximální dovolená chyba při měření délky [μm] (kde L je velikost měřené délky)	$(1,6 + L) / 350$

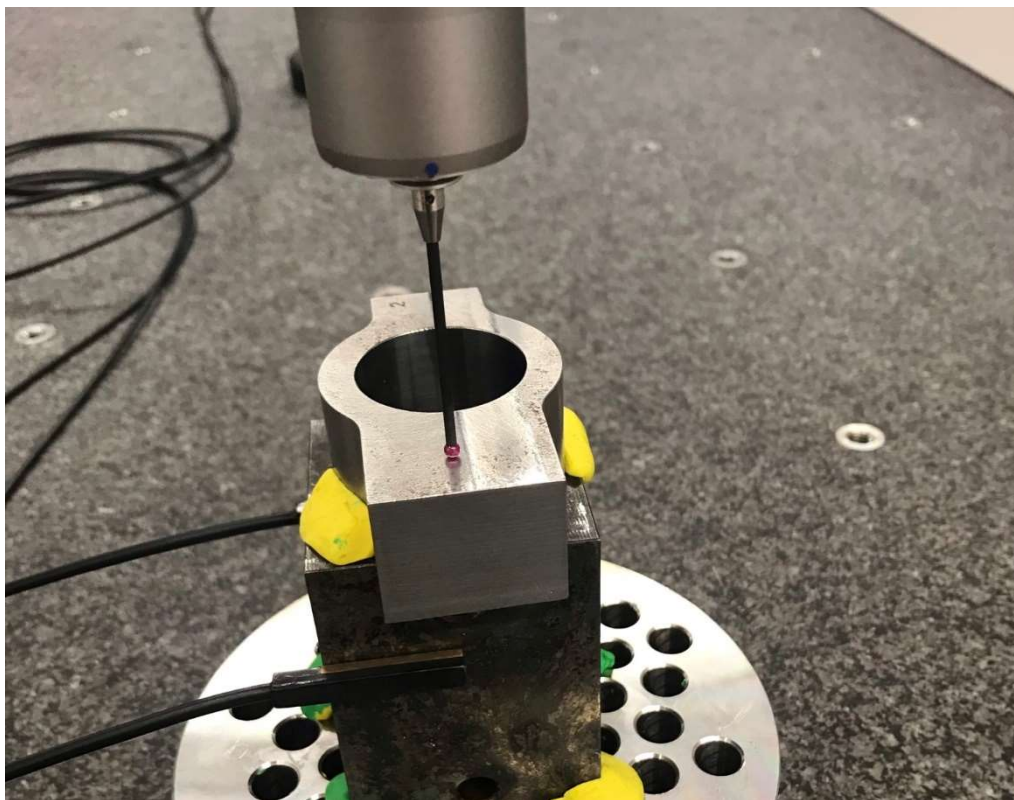
Důležitou součástí měřicího přístroje Carl Zeiss je otočná hlava. Během tohoto experimentu se konkrétně použil model VAST XXT. Na tuto hlavu jsou umístěny doteky. Pro experiment byly použity dva doteky. Oba jsou ve tvaru koule a jsou vyrobené z rubínu. Liší se pouze průměrem, z nichž první dotek měl průměr 3 mm a druhý dotek 1,5 mm. Na obrázku č.15 jsou vidět oba používané doteky. Větším dotekem byla naměřena většina hodnot, menší dotek se používal pouze na měření děr o průměru 6 mm. Větší dotek nebylo možné použít na měření děr o průměru 6 mm, protože tyto díry byly pro tento dotek příliš malé a mohlo by docházet ke zkreslování výsledků. Měření oběma doteky je vidět na obrázcích č. 16 a č.17. Rozměry a poloha děr na testovaném díle je znázorněna na obrázku č. 14.



Obrázek 14 - bokorys testované součásti



Obrázek 15 – používané doteky



Obrázek 16 - měření dotekem o průměru 3 mm



Obrázek 17 - měření dotekem o průměru 1.5 mm

2.4 Specifikace zvolených podmínek pro experiment

Kompletní provedení experimentu proběhlo v metrologické laboratoři v Regionálním technickém institutu v Plzni. V této laboratoři se provádí měření za zaručených laboratorních podmínek. Splněny jsou požadavky na vlhkost prostředí, hluk, intenzitu osvětlení, odbornost personálu a na další faktory. Mnohdy se v praxi ale stává, že zákazník spěchá na dokončení zakázky a nerespektuje tak laboratorní podmínky. Nenechá například měřený díl zchladnout nebo ohřát na požadovanou teplotu. Tato teplota dílu se musí vyrovnat teplotě, která je definovaná pro metrologickou laboratoř, tedy 20°C. Naměřené hodnoty jsou brány za relevantní a pravdivé pouze za laboratorních podmínek.

Podmínky experimentu odpovídaly laboratorním, pouze teplota dílu se při měření lišila. Měření bylo prováděno za různých teplot dílu.

První měření proběhlo za laboratorních podmínek a to tehdy, kdy díl měl 20°C.

Druhé měření proběhlo, když díl měl teplotu 6°C. To simulovalo podmínky, kdy zákazník přiveze díl v zimním období a bude trvat na okamžitém měření.

Třetí a zároveň poslední měření se provedlo tehdy, kdy díl měl teplotu 30°C. Tyto podmínky simulovaly dovezení dílu k měření za letních teplot a opět se bude předpokládat, že zákazník nechce čekat na vyrovnání teploty dílu s teplotou v laboratoři.

Soupis zvolených podmínek pro experiment je pak přehledně znázorněn v tabulce č.6.

Tabulka 6 - zvolené podmínky

podmínky měření	teplota dílu [°C]	popis
laboratorní prostředí	20	simulace laboratorních podmínek
chladné	6	simulace měření chladného dílu
teplé	30	simulace měření teplého dílu

K ochlazení testovacích dílů se použila chladnička, na ohřátí dílů se použila přenosná pec.

Cílem experimentu bylo poukázat na změny naměřených hodnot při různých teplotách testovaného dílu a poukázat tak na důležitost splnění laboratorních podmínek pro správné a přesné výsledky měření.

3 Realizace a následné vyhodnocení

K vyhodnocení experimentu bylo použito co nejvíce dat získaných během měření. V následujících kapitolách je v tabulkách vyjádřeno porovnání jak délkových hodnot, tak i hodnot týkajících se geometrických tolerancí. Pole s největší odchylkou je v každé tabulce zvýrazněné, hnědou barvou je zvýrazněna největší odchylka při chladných podmínkách a modrou barvou je zvýrazněna největší odchylka při teplých podmínkách.

Všechny díly mají podle výrobního výkresu stejné rozměry a zároveň byly měřeny při stejných, třech zvolených podmínkách. Jediný parametr, který je odlišný v rovnici délkové roztažnosti, je teplotní součinitel α . Pokud se podíváme do tabulky číslo 3 (srovnání parametrů vybraných materiálů), největší odchylky při měření by se měly vyskytovat u plastového materiálu, a to z důvodu největší hodnoty teplotního součinitele roztažnosti α . Naopak nejmenší rozdíly by měly být u uhlíkové oceli, a to z důvodu nejmenší hodnoty α . Podle tohoto parametru jsou následně řazeny jednotlivé kapitoly, které se týkají porovnání naměřených hodnot.

3.1 Plastové díly

Tabulka 7 – PLAST ABS - DÍL Č.1 srovnání délek

PLAST ABS - DÍL Č.1						
parametr	rozměr podle výkresu [mm]	naměřená hodnota [mm]			odchylka [mm]	
		teplota dílu 20°C	chladný díl 6°C	teplý díl 30°C	chladný díl 6°C	teplý díl 30°C
celková délka	110.000	108.926	108.841	109.065	-0.085	0.139
celková šířka	35.000	34.649	34.616	34.737	-0.033	0.088
celková výška	28.000	28.125	27.914	28.667	-0.211	0.542
díra Ø35 mm	35.000	34.497	34.444	34.559	-0.053	0.062
vnější oblouk Ø50 mm	50.000	49.648	49.606	49.698	-0.042	0.050
díra Ø10 mm	10.000	10.024	10.017	10.036	-0.007	0.012
válcovitost díra Ø35mm	0.000	0.381	0.394	0.373	0.013	-0.008
kruhovitost díra Ø35mm	0.000	0.092	0.098	0.087	0.006	-0.005
kruhovitost vnější oblouk Ø50mm	0.000	0.025	0.023	0.026	-0.002	0.001
kruhovitost díra Ø10mm	0.000	0.059	0.071	0.056	0.012	-0.003

Tabulka 8 - PLAST ABS - DÍL Č.1 srovnání úhlů

PLAST ABS - DÍL Č.1						
parametr	rozměr podle výkresu [°]	naměřená hodnota [°]			odchylka [°]	
		teplota dílu 20°C	chladný díl 6°C	teplý díl 30°C	chladný díl 6°C	teplý díl 30°C
zkosení	35.000	34.222	34.150	34.257	-0.072	0.035

Tabulka 9 - PLAST ABS - DÍL Č.2 srovnání délek

PLAST ABS - DÍL Č.2						
parametr	rozměr podle výkresu [mm]	naměřená hodnota [mm]			odchylka [mm]	
		teplota dílu 20°C	chladný díl 6°C	teplý díl 30°C	chladný díl 6°C	teplý díl 30°C
celková délka	110.000	108.942	108.830	109.056	-0.112	0.114
celková šířka	35.000	34.657	34.611	34.704	-0.046	0.047
celková výška	28.000	28.093	27.990	28.167	-0.103	0.074
díra Ø35 mm	35.000	34.530	34.472	34.577	-0.058	0.047
vnější oblouk Ø50 mm	50.000	49.679	49.654	49.681	-0.025	0.002
díra Ø10 mm	10.000	10.019	10.008	10.031	-0.011	0.012
válcovitost díra Ø35mm	0.000	0.355	0.363	0.342	0.008	-0.013
kruhovitost díra Ø35mm	0.000	0.097	0.107	0.103	0.010	0.006
kruhovitost vnější oblouk Ø50mm	0.000	0.026	0.032	0.029	0.006	0.003
kruhovitost díra Ø10mm	0.000	0.087	0.097	0.113	0.010	0.026

Tabulka 10 - PLAST ABS - DÍL Č.2 srovnání úhlů

PLAST ABS - DÍL Č.2						
parametr	rozměr podle výkresu [°]	naměřená hodnota [°]			odchylka [°]	
		teplota dílu 20°C	chladný díl 6°C	teplý díl 30°C	chladný díl 6°C	teplý díl 30°C
zkosení	35.000	34.350	34.259	34.405	-0.091	0.055

Podle předpokladů měly plastové díly největší odchylky oproti ostatním materiálům. U prvního plastového dílu byla největší délková odchylka 0,542 mm, u druhého dílu odchylka činila 0,114 mm. Odchylka větší jak 0,5 mm je značná, na druhou stranu se jedná o ojedinělou takto velkou odchylku. S největší pravděpodobností se jednalo o chybu měření. Ostatní odchylky se pohybovaly okolo jedné desetiny milimetru, což je také velmi znatelný rozdíl v naměřené délce. Naměřené hodnoty průměru děr se lišily méně než délkové hodnoty, avšak tyto odchylky byly velice znatelné.

Geometrické parametry jako válcovitost či kruhovitost vykazovaly výrazné změny parametru. Stejně jako u délek byly tyto odchylky největší ze všech tří materiálů. Jednotlivé odchylky byly často větší než jedna setina milimetru.

Značné rozdíly byly i u naměřených hodnot vyjadřujících zkosení. Největší odchylka z obou dílů byla téměř jedna desetina stupně, konkrétně 0,091°. Stejně jako u předchozích parametrů byly hodnoty odchylek největší ze všech tří materiálů.

Všechny hodnoty jsou zpracované v tabulkách č.7,8,9 a 10.

3.2 Díly z hliníkové slitiny

U dílů z hliníkové slitiny byly naměřené odchylky výrazně menší oproti plastovým dílům. Největší délkovou odchylkou byla hodnota 0,033 mm (u druhého dílu), u prvního dílu činila největší odchylka hodnotu 0,023 mm. Stejně jako u plastových dílů byly odchylky průměrů děr menší oproti odchylkám délkovým. V průměru byly tyto odchylky menší než jedna setina milimetru.

Odchylky geometrických parametrů u dílů z hliníkových slitin byly výrazně menší oproti plastovým dílům. Jejich hodnoty se pohybovaly v řádech tisícín milimetrů.

Úhlové odchylky byly výrazně menší oproti plastovým dílům, na druhou stranu byly nepatrně vyšší v porovnání s ocelovými díly. Největší odchylka z obou dílů činila 0,014°.

Veškeré výše zmíněné hodnoty jsou použity z tabulek č.16,17,18 a 19, které jsou součástí přílohy č.II.

3.3 Ocelové díly

Podle předpokladů by mělo u ocelových dílů docházet k nejmenším odchyilkám. Výsledky měření však tuto premisu nepotvrdily. Délkové odchyilky ocelových dílů byly větší než ty u dílů z hliníkové slitiny, avšak oproti plastovým dílům byly podstatně menší. Největší odchyilka měla hodnotu 0,067 mm (druhý díl), u prvního dílu byla největší odchyilka 0,039 mm. Zajímavé je, že hodnoty odchylek u průměru děr jsou téměř shodné jako u dílů z hliníkových slitin. Zde se odchyilky příliš nelišily a byly v průměru nižší než jedna setina milimetru.

Hodnoty geometrických odchylek byly u ocelových dílů lehce vyšší než u dílů z hliníkové slitiny. Výjimku tvořila pouze hodnota odchyilky u válcovitosti (druhý díl), kdy byla naměřena odchyilka o velikosti 0,08 mm.

Úhlové odchyilky dosáhly u ocelových dílů nejmenších hodnot ze všech tří materiálů. U prvního dílu byla maximální odchyilka pouze 0,001°, u druhého dílu byla odchyilka o něco větší, konkrétně 0,006°.

Stejně jako u dílů z hliníkové slitiny jsou veškeré výsledky experimentu znázorněny v tabulkách č.20,21,22 a 23 v příloze č.III.

3.4 Vzájemné srovnání

Přehledným výsledkem tohoto experimentu je vzájemné porovnání jednotlivých měření. V této kapitole jsou v tabulkách vyjádřeny odchylky při jednotlivých podmínkách a zároveň výčet největších odchylek pro každý díl.

Tabulka 11 - porovnání odchylek chladných dílů

POROVNÁNÍ ODCHYLEK CHLADNÝCH DÍLŮ (6°C)						
parametr	odchylka [mm]					
	plast ABS	plast ABS	hliníková slitina EN AW-6061	hliníková slitina EN AW-6061	ocel ČSN 12 050.1	ocel ČSN 12 050.1
	díl č.1	díl č.2	díl č.1	díl č.2	díl č.1	díl č.2
celková délka	-0,085	-0,112	-0,023	-0,023	-0,006	-0,012
celková šířka	-0,033	-0,046	-0,008	-0,008	-0,002	-0,005
celková výška	-0,211	-0,103	-0,012	-0,033	-0,035	-0,040
díra Ø35 mm	-0,053	-0,058	-0,012	-0,012	-0,003	-0,007
vnější oblouk Ø50 mm	-0,042	-0,025	-0,008	-0,008	-0,004	-0,007
díra Ø10 mm	-0,007	-0,011	-0,002	-0,002	0,001	0,001
válcovitost díra Ø35mm	-0,013	0,008	-0,001	0,000	0,002	-0,006
kruhovitost díra Ø35mm	0,006	0,010	-0,001	-0,001	0,000	0,000
kruhovitost vnější oblouk Ø50mm	-0,002	0,006	0,000	0,000	0,000	0,000

V tabulce č.11 nalezneme jednotlivé odchylky při měření chladných dílů. Jednoznačně největší odchylky se vyskytly u plastových dílů. Naopak nejmenší byly v průměru u ocelových dílů. Zajímavé jsou pak hodnoty u ocelových dílů, konkrétně u parametru díra Ø10 mm. Zde vyšly stejné hodnoty odchylek u obou dílů a zároveň byly obě tyto hodnoty kladné. Jelikož se jedná o chladný díl, měly by být odchylky záporné, tedy rozměry dílů by se měly zmenšovat. Tyto hodnoty se proto předpokládají jako chyby při měření.

Tabulka 12 - porovnání odchylek teplých dílů

POROVNÁNÍ ODCHYLEK TEPLÝCH DÍLŮ (30°C)						
parametr	odchylka [mm]					
	plast ABS	plast ABS	hliníková slitina EN AW-6061	hliníková slitina EN AW-6061	ocel ČSN 12 050.1	ocel ČSN 12 050.1
	díl č.1	díl č.2	díl č.1	díl č.2	díl č.1	díl č.2
celková délka	0,139	0,114	0,016	0,022	0,015	0,014
celková šířka	0,088	0,047	0,005	0,002	0,001	-0,002
celková výška	0,542	0,074	-0,009	-0,019	-0,039	-0,067
díra Ø35 mm	0,062	0,047	0,008	0,009	0,008	0,012
vnější oblouk Ø50 mm	0,050	0,002	0,007	0,008	0,003	0,006
díra Ø10 mm	0,012	0,012	0,001	0,002	0,004	0,005
válcovitost díra Ø35mm	-0,008	-0,013	-0,002	0,006	0,012	0,080
kruhovitost díra Ø35mm	-0,005	0,006	-0,001	-0,001	0,002	0,003
kruhovitost vnější oblouk Ø50mm	0,001	0,003	0,000	0,000	0,000	0,001

V tabulce č.12 nalezneme jednotlivé odchylky při měření teplých dílů. Stejně jako u tabulky chladných dílů (tabulka č.11) jsou největší odchylky u plastových dílů. Kovové materiály se chovaly podobně. Díly z hliníkové slitiny měly v průměru větší odchylky, na druhou stranu ocelové díly měly vyšší maximální odchylku. Zajímavé hodnoty se vyskytly u kovových dílů a to konkrétně u parametru celkové výšky. Zde byly naměřeny záporné odchylky. To znamená, že díl se zmenšil oproti rozměrům při měření za laboratorních podmínek. Tyto hodnoty odpovídají chybám při měření.

Vzájemné porovnání největších délkových a úhlových odchylek je přehledně vyjádřeno v tabulkách č.13 a 14.

Tabulka 13 – porovnání největších délkových odchylek

	největší odchylka [mm]
plast ABS - díl č.1	0,542
plast ABS - díl č.2	0,114
hliníková slitina EN AW-6061 - díl č.1	-0,023
hliníková slitina EN AW-6061 - díl č.2	-0,033
ocel ČSN 12 050.1 - díl č.1	-0,039
ocel ČSN 12 050.1 - díl č.2	-0,067

Tabulka 14 - porovnání největších úhlových odchylek

	největší odchylka [°]
plast ABS - díl č.1	-0,072
plast ABS - díl č.2	-0,091
hliníková slitina EN AW-6061 - díl č.1	-0,014
hliníková slitina EN AW-6061 - díl č.2	-0,006
ocel ČSN 12 050.1 - díl č.1	0,001
ocel ČSN 12 050.1 - díl č.2	-0,006

Tabulka č.15 obsahuje zprůměrované hodnoty odchylek pro každý materiál za chladných i teplých podmínek. Tato tabulka tak nejvýstižněji ukazuje výsledky z experimentu.

Tabulka 15 - porovnání průměrných odchylek

POROVNÁNÍ PRŮMĚRNÝCH ODCHYLEK						
parametr	odchylka [mm]					
	plast ABS	plast ABS	hliníková slitina EN AW-6061	hliníková slitina EN AW-6061	ocel ČSN 12050.1	ocel ČSN 12050.1
	chladný díl	teplý díl	chladný díl	teplý díl	chladný díl	teplý díl
celková délka	-0,099	0,127	-0,023	0,019	-0,009	0,015
celková šířka	-0,040	0,068	-0,008	0,004	-0,004	-0,001
celková výška	-0,157	0,308	-0,023	-0,014	-0,038	-0,053
díra Ø35 mm	-0,056	0,055	-0,012	0,009	-0,005	0,010
vnější oblouk Ø50 mm	-0,034	0,026	-0,008	0,008	-0,006	0,005
díra Ø10 mm	-0,009	0,012	-0,002	0,002	0,001	0,005
válcovitost díra Ø35mm	-0,003	-0,011	-0,001	0,002	-0,002	0,046
kruhovitost díra Ø35mm	0,008	0,001	-0,001	-0,001	0,000	0,003
kruhovitost vnější oblouk Ø50mm	0,002	0,002	0,000	0,000	0,000	0,001

4 Závěrečné shrnutí výsledků měření

Cílem této práce bylo zjistit, jaký vliv na měření má rozdílná teplota měřeného dílu. Hlavním požadavkem experimentu bylo co nejlépe simulovat reálné příklady z praxe. Měření proběhlo na moderním tříosřadnicovém měřicím zařízení za třech různých podmínek. Použité materiály byly zvoleny na základě jejich častého použití v automobilovém či leteckém průmyslu.

Pro experiment byl nejprve navržena konstrukčně optimální součást. Důraz byl kladen zejména na tvarovou složitost a na možné použití v reálném automobilu či letadle. Vybraný díl byl téměř shodný s tím, který se používá k uložení řídicího mechanismu v osobním automobilu.

Pro daný díl byly vybrány tři materiály. Hlavním kritériem pro výběr materiálu bylo jejich reálné použití v automobilovém či leteckém průmyslu. První vybraný materiál byl plast ABS, dalším byla hliníková slitina EN AW-6061 a posledním materiálem byla uhlíková ocel ČSN 12 050.1. Výhodou této volby byla i vzájemná různorodost jednotlivých materiálů, zejména pak ve fyzikálních vlastnostech.

Pro experiment byly vyrobeny od každého materiálu dva kusy, aby se mohly výsledky měření mezi sebou porovnávat a případně eliminovat chyby při měření. Při samotném experimentu bylo velice důležité měřit teplotu dílu.

Všechny teploty dílů byly měřeny pomocí multimetru, kdy byla hodnota odečítána z digitálního displeje. Pro ocelové díly byly zároveň použity magnetické teplotní senzory, které předávaly informace o teplotě rovnou do programu měřicího přístroje. Jelikož nebylo možné použít tyto magnetické senzory pro všechny materiály, sloužily pouze k ověření správného měření teploty pomocí multimetru. K měření délek a geometrických tolerancí bylo použito tříosřadnicové měřicí zařízení CMM Carl Zeiss Prismo 7 Navigator. K měření se použila otočná hlava, do které byly vloženy dva různé doteky s rubínovou kuličkou. Jednotlivá měření byla provedena za třech různých podmínek. První měření proběhlo za laboratorních podmínek, kdy díl měl teplotu 20°C. Druhé měření proběhlo, když byl díl ochlazen na 6°C. Poslední měření simulovalo ohřátý díl a to konkrétně na teplotu dílu 30°C.

Výsledky experimentu ukázaly značné rozdíly v naměřených hodnotách. Potvrdilo se, že různé podmínky mají značný vliv na měřený díl. Experiment zcela jasně ukázal, že nižší či vyšší teplota dílů má za následek rozdílné naměřené hodnoty.

Příkladem můžou být změny rozměrů u celkové výšky dílů, která je za laboratorních podmínek 28 mm. Za chladných podmínek se plastové díly zmenšily v průměru o 0,157 mm, hliníkové díly se zmenšily v průměru o 0,023 mm a ocelové díly se zmenšily v průměru o 0,038 mm. Naopak za teplých podmínek se plastové díly zmenšily v průměru o 0,308 mm, hliníkové díly se zmenšily v průměru o 0,014 mm a ocelové díly se zmenšily v průměru o 0,053 mm.

Poznatky z tohoto experimentu mají přesah i pro praxi. Jak již bylo uvedeno, metrologická laboratoř Regionálního technického institutu zpracovává zakázky zejména pro automobilový či letecký průmysl. Použité měřicí zařízení pro tento experiment má uplatnění například při kontrole rozměrů u bloku motoru. U bloku motoru je velice důležitá geometrie jednotlivých válců, a to z důvodu bezproblémového chodu pístů v těchto válcích. Nejlépe tento parametr popisuje geometrická tolerance válcovitost. V praxi bývají často bloky z hliníkové slitiny, která byla zároveň použita i pro tento experiment. Pokud bychom se podívali na odchylku válcovitosti u hliníkové slitiny, zjistili bychom, že její průměrná odchylka byla 0,001 mm za chladných podmínek a 0,002 mm za teplých podmínek. Maximální odchylka válcovitosti u hliníkových dílů byla 0,006 mm. Pokud by finální kontrola naměřila tyto odchylky u výrobku, je možné, že by tento kus mohla mylně považovat za zmetkový.

Závěrem práce je doporučení týkající se dodržení laboratorních podmínek, zejména pak na správnou teplotu dílu. Dodržení těchto podmínek je především v zájmu zákazníka, který chce provést měření. Zákazník má díky tomu důkaz o kvalitě či nekvalitě svého výrobku. Nemůže tedy dojít k mylnému označení dílů za zmetkové. Tyto mylně označené zmetkové kusy se mohou negativně podepsat na nákladech zákazníka vynaložených na výrobu.

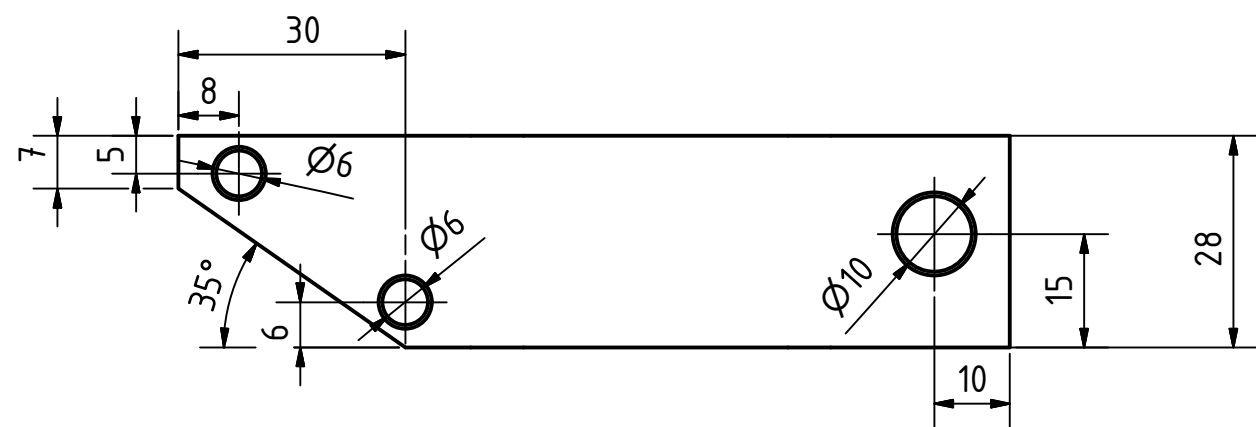
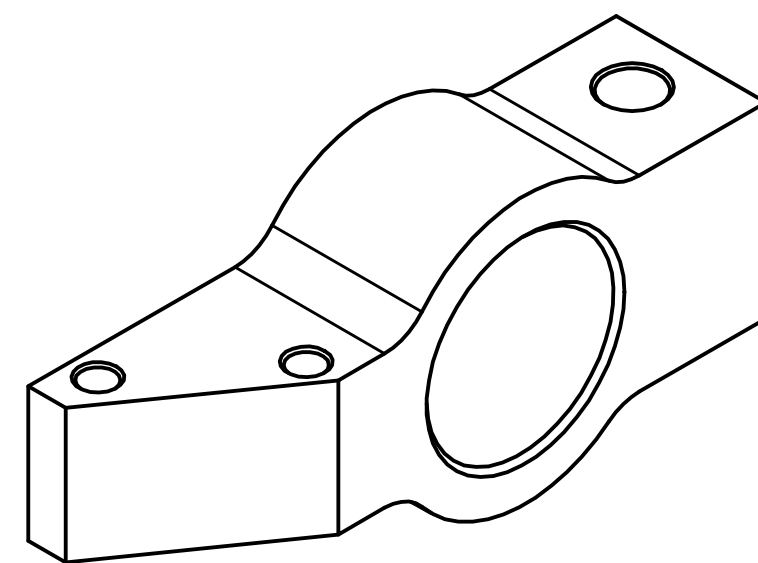
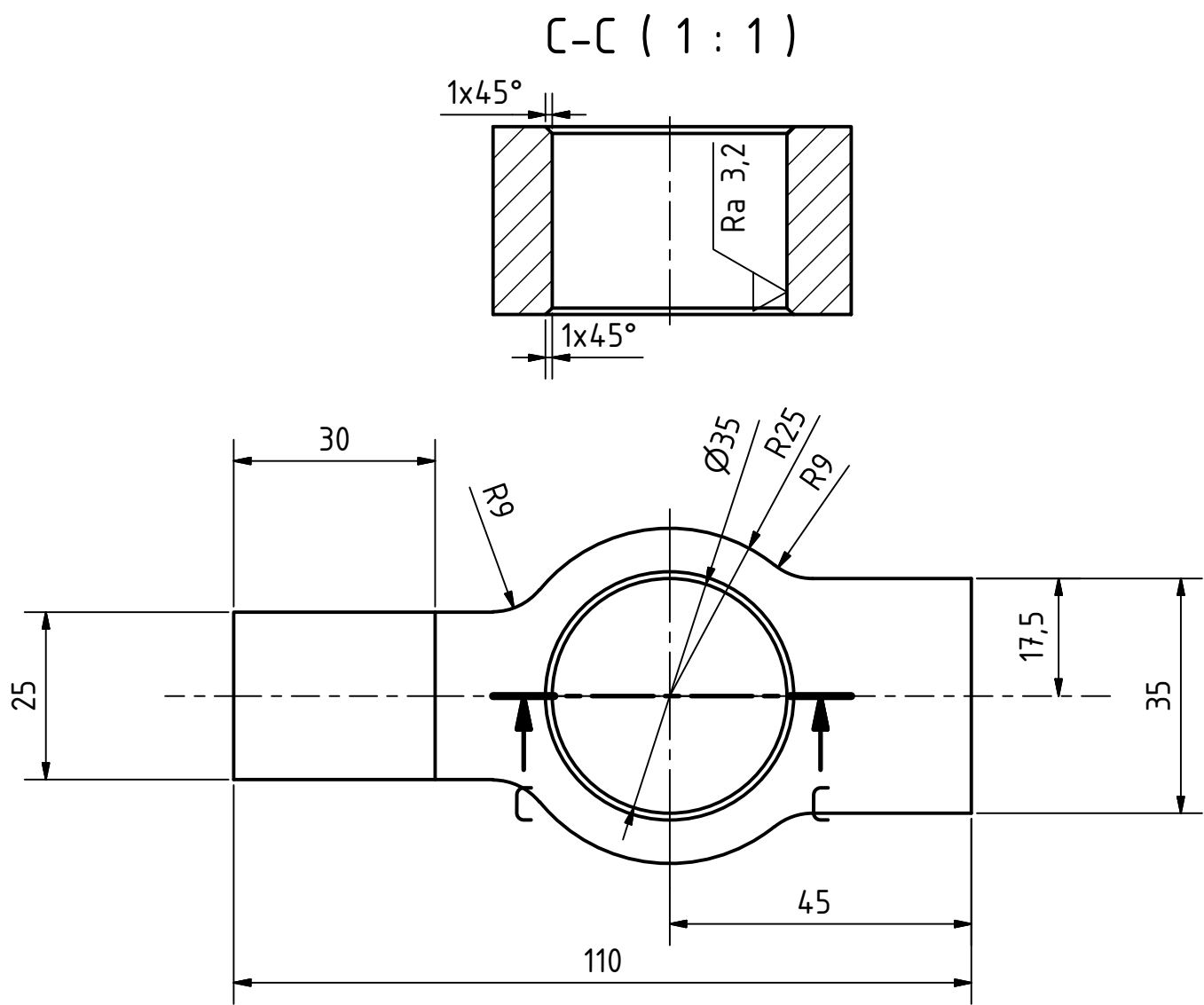
5 Seznam použitých zdrojů

- [1] Metrologie a její význam. AUTOMA [online]. 2005, 2017(1), 26 [cit. 2021-03-03]. Dostupné z: https://automa.cz/cz/casopis-clanky/metrologie-a-jeji-vyznam-2017_01_0_9478/
- [2] FRANC, Štěpán. Evaluace měřicích metod ve společnosti Wikov Gear s.r.o. Plzeň, 2018. Bakalářská práce. Západočeská univerzita. Vedoucí práce Ing. Martin MELICHAR, Ph.D.
- [3] Metrologie. Wikipedia. 2020. Dostupné také z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Metrologie>
- [4] POSPĚCH, Zdeněk. Metrologie-úvod [online]. Plzeň, 2019 [cit. 2020-12-08]. Dostupné z: <https://portal.zcu.cz/portal/studium/courseware/kto/dm/studijni-materialy.html>
- [5] ČMI: Metrologie v kostce. 3. opravené vydání, ČMI, 2009 Dostupné z: https://www.unmz.cz/sborniky_th/sb2009/MvK_7_vidit_hypervazby_small.pdf
- [6] KUBÁTOVÁ, Dana. Softwarové filtry drsnosti povrchu. Plzeň, 2018. Disertační práce. Západočeská univerzita.
- [7] TICHÁ, Šárka. Strojírenská metrologie - část 1 [online]. Ostrava, 2004 [cit. 2020-12-14]. Dostupné z: <http://books.fs.vsb.cz/strojmetro/strojirenska-metrologie.pdf>
- [8] Teplotní roztažnost. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2021-04-05]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Teplotn%C3%AD_rozta%C5%BEnost
- [9] FIDRANSKÝ, Jiří. Nové letecké materiály [online]. Exova, 2011 [cit. 2020-12-01]. Dostupné z: https://www.opi.zcu.cz/download/nove%20letecke%20materialy_2011.pdf
- [10] BENEŠ, Libor. Letecké materiály [online]. Praha: ČVUT, 2012 [cit. 2020-12-01]. Dostupné z: <http://users.fs.cvut.cz/libor.benes/vyuka/matlet/OLR-Uvod.pdf>
- [11] KAŇOK, Miroslav. Nové kompozitní materiály pro letecký průmysl. Ostrava, 2014. Bakalářská práce. VŠB - Technická univerzita Ostrava.
- [12] VEČEŘA, Jiří. Materiály používané v leteckém průmyslu. Brno, 2011. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [13] Výroba automobilů. Život s autem [online]. [cit. 2020-12-02]. Dostupné z: <https://is.muni.cz/do/ped/kat/fyzika/autem/pages/vyroba.html>
- [14] WOJCIK, Rudolf. Porovnání ocelí a technologií při výrobě automobilové karoserie. Brno, 2011. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [15] Ultra-High Strength Steel Market worth 11.35 Bn USD by 2022. ASD Reports [online]. 2017 [cit. 2020-12-02]. Dostupné z: <https://www.asdreports.com/news-28245/ultrahigh-strength-steel-market-worth-1135-bn-usd-2022>
- [16] NAJVAR, Petr. Snižování hmotnosti osobních automobilů na základě volby materiálu. Brno, 2009. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [17] BAČOVSKÝ, Marek. Použití kompozitních materiálů v automobilovém průmyslu. Brno, 2012. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [18] BUREŠ, David. Lamborghini: Karbonový monokok pro nového býka. Auto.cz [online]. 2011 [cit. 2020-12-08]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/lamborghini-karbonovy-monokok-pro-noveho-byka-54482>

- [19] PRYMUS, David. Druhy polymerů v automobilovém průmyslu, možnosti jejich zpracování a následného využití. Ostrava, 2018. Bakalářská práce. VŠB - Technická univerzita Ostrava.
- [20] Thermoplast. Kipp [online]. 2020 [cit. 2020-12-08]. Dostupné z: <https://www.kipp.cz/cz/cs/Slu%C5%BEby/P%C5%99ehledmateri%C3%A1l%C5%AF/Thermoplast.html>
- [21] CORTECO Uložení řídicího mechanismu COR 80005075. Autokseft.cz [online]. [cit. 2021-03-07]. Dostupné z: <https://www.autokseft.cz/CORTECO-Ulozeni-ridiciho-mechanismu-COR-80005075-80005075-nd1087902>
- [22] Převodní tabulka značení ocelí. E-konstrukter [online]. 2013 [cit. 2021-03-10]. Dostupné z: <https://e-konstrukter.cz/prakticka-informace/prevodni-tabulka-znaceni-oceli>
- [23] Materiálový list ocel 12 050
- [24] Hliník 6061. Top-armyshop.cz [online]. [cit. 2021-03-11]. Dostupné z: <https://www.top-armyshop.cz/slovník-pojmu/hlinik-6061>
- [25] Materiálový list SLITINA EN AW-6061
- [26] ABS plast. Top-armyshop.cz [online]. [cit. 2021-03-11]. Dostupné z: <https://www.top-armyshop.cz/slovník-pojmu/abs-plast>
- [27] Materiálový list ABS. AK Plast [online]. [cit. 2021-03-11]. Dostupné z: http://www.akplast.cz/admin/files/ck/files/TechData/ABS_mat_list.pdf
- [28] 3D tiskárna Original Prusa i3 MK3S+. Shop.prusa3d.com [online]. [cit. 2021-03-07]. Dostupné z: <https://shop.prusa3d.com/cs/3d-tiskarny/181-3d-tiskarna-original-prusa-i3-mk3s.html>
- [29] ZEISS Prismo Coordinate Measuring Machine. IndiaMART [online]. [cit. 2021-03-14]. Dostupné z: <https://www.indiamart.com/proddetail/prismo-coordinate-measuring-machine-17993363448.html>

PŘÍLOHA č. I

Výrobní výkres součásti použité pro experiment



Textura povrchu 	Hrany ISO 13715 	Měřítka	Přesnost
		1:1	ISO 2768 - mK
Materiál - Polotovary		Hmotnost (kg)	Tolerování
ČSN 12 050, 4HR 120 - 60		0,557	ISO 8015
Formát		Promítání	
A3			
FAKULTA STROJNÍ ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY V PLZNI	Kreslil	Název	
	Vítězslav Netrval	Uložení nápravy	
KKS KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ	Datum	Číslo dokumentu	
	16.11.2020	VN_BP_01	
Schválil		Druh dokumentu	
Datum		VÝROBNÍ VÝKRES	
List 1		Listů 1	

PŘÍLOHA č. II

Naměřené délkové a úhlové hodnoty pro díly z hliníkové slitiny EN AW-6061

Tabulka 16 - HLINÍKOVÁ SLITINA EN AW-6061 - DÍL Č.1 srovnání délek

HLINÍKOVÁ SLITINA EN AW-6061 - DÍL Č.1						
parametr	rozměr podle výkresu [mm]	naměřená hodnota [mm]			odchylka [mm]	
		teplota dílu 20°C	chladný díl 6°C	teplý díl 30°C	chladný díl 6°C	teplý díl 30°C
celková délka	110.000	110.021	109.998	110.037	-0.023	0.016
celková šířka	35.000	35.023	35.015	35.028	-0.008	0.005
celková výška	28.000	28.109	28.097	28.100	-0.012	-0.009
díra Ø35 mm	35.000	34.990	34.978	34.998	-0.012	0.008
vnější oblouk Ø50 mm	50.000	50.023	50.015	50.030	-0.008	0.007
díra Ø10 mm	10.000	10.005	10.003	10.006	-0.002	0.001
válcovitost díra Ø35mm	0.000	0.020	0.019	0.018	-0.001	-0.002
kruhovitost díra Ø35mm	0.000	0.007	0.006	0.006	-0.001	-0.001
kruhovitost vnější oblouk Ø50mm	0.000	0.002	0.002	0.002	0.000	0.000
kruhovitost díra Ø10mm	0.000	0.055	0.055	0.056	0.000	0.001

Tabulka 17 - HLINÍKOVÁ SLITINA EN AW-6061 - DÍL Č.1 srovnání úhlů

HLINÍKOVÁ SLITINA EN AW-6061 - DÍL Č.1						
parametr	rozměr podle výkresu [°]	naměřená hodnota [°]			odchylka [°]	
		teplota dílu 20°C	chladný díl 6°C	teplý díl 30°C	chladný díl 6°C	teplý díl 30°C
zkosení	35.000	35.013	34.999	35.012	-0.014	-0.001

Tabulka 18 - HLINÍKOVÁ SLITINA EN AW-6061 - DÍL Č.2 srovnání délek

HLINÍKOVÁ SLITINA EN AW-6061 - DÍL Č.2						
parametr	rozměr podle výkresu [mm]	naměřená hodnota [mm]			odchylka [mm]	
		teplota dílu 20°C	chladný díl 6°C	teplý díl 30°C	chladný díl 6°C	teplý díl 30°C
celková délka	110.000	110.013	109.990	110.035	-0.023	0.022
celková šířka	35.000	35.030	35.022	35.032	-0.008	0.002
celková výška	28.000	28.108	28.075	28.089	-0.033	-0.019
díra Ø35 mm	35.000	35.002	34.990	35.011	-0.012	0.009
vnější oblouk Ø50 mm	50.000	49.999	49.991	50.007	-0.008	0.008
díra Ø10 mm	10.000	10.020	10.018	10.022	-0.002	0.002
válcovitost díra Ø35mm	0.000	0.013	0.013	0.019	0.000	0.006
kruhovitost díra Ø35mm	0.000	0.004	0.003	0.003	-0.001	-0.001
kruhovitost vnější oblouk Ø50mm	0.000	0.002	0.002	0.002	0.000	0.000
kruhovitost díra Ø10mm	0.000	0.007	0.006	0.006	-0.001	-0.001

Tabulka 19 - HLINÍKOVÁ SLITINA EN AW-6061 - DÍL Č.2 srovnání úhlů

HLINÍKOVÁ SLITINA EN AW-6061 - DÍL Č.2						
parametr	rozměr podle výkresu [°]	naměřená hodnota [°]			odchylka [°]	
		teplota dílu 20°C	chladný díl 6°C	teplý díl 30°C	chladný díl 6°C	teplý díl 30°C
zkosení	35.000	35.012	35.006	35.011	-0.006	-0.001

PŘÍLOHA č. III

Naměřené délkové a úhlové hodnoty pro díly z oceli ČSN 12 050.1

Tabulka 20 - OCEL ČSN 12 050 - DÍL Č.1 srovnání délek

OCEL ČSN 12050.1 - DÍL Č.1						
parametr	rozměr podle výkresu [mm]	naměřená hodnota [mm]			odchylka [mm]	
		teplota dílu 20°C	chladný díl 6°C	teplý díl 30°C	chladný díl 6°C	teplý díl 30°C
celková délka	110.000	109.980	109.974	109.995	-0.006	0.015
celková šířka	35.000	35.016	35.014	35.017	-0.002	0.001
celková výška	28.000	28.056	28.021	28.017	-0.035	-0.039
díra Ø35 mm	35.000	34.993	34.990	35.001	-0.003	0.008
vnější oblouk Ø50 mm	50.000	49.997	49.993	50.000	-0.004	0.003
díra Ø10 mm	10.000	10.023	10.024	10.027	0.001	0.004
válcovitost díra Ø35mm	0.000	0.011	0.013	0.023	0.002	0.012
kruhovitost díra Ø35mm	0.000	0.005	0.005	0.007	0.000	0.002
kruhovitost vnější oblouk Ø50mm	0.000	0.003	0.003	0.003	0.000	0.000
kruhovitost díra Ø10mm	0.000	0.019	0.019	0.017	0.000	-0.002

Tabulka 21 - OCEL ČSN 12 050 - DÍL Č.1 srovnání úhlů

OCEL ČSN 12050.1 - DÍL Č.1						
parametr	rozměr podle výkresu [°]	naměřená hodnota [°]			odchylka [°]	
		teplota dílu 20°C	chladný díl 6°C	teplý díl 30°C	chladný díl 6°C	teplý díl 30°C
zkosení	35.000	35.005	35.005	35.006	0.000	0.001

Tabulka 22 - OCEL ČSN 12 050 - DÍL Č.2 srovnání délek

OCEL ČSN 12050.1 - DÍL Č.2						
parametr	rozměr podle výkresu [mm]	naměřená hodnota [mm]			odchylka [mm]	
		teplota dílu 20°C	chladný díl 6°C	teplý díl 30°C	chladný díl 6°C	teplý díl 30°C
celková délka	110.000	109.989	109.977	110.003	-0.012	0.014
celková šířka	35.000	35.017	35.012	35.015	-0.005	-0.002
celková výška	28.000	28.090	28.050	28.023	-0.040	-0.067
díra Ø35 mm	35.000	34.995	34.988	35.007	-0.007	0.012
vnější oblouk Ø50 mm	50.000	50.001	49.994	50.007	-0.007	0.006
díra Ø10 mm	10.000	10.024	10.025	10.029	0.001	0.005
válcovitost díra Ø35mm	0.000	0.017	0.011	0.077	-0.006	0.060
kruhovitost díra Ø35mm	0.000	0.004	0.004	0.007	0.000	0.003
kruhovitost vnější oblouk Ø50mm	0.000	0.001	0.001	0.002	0.000	0.001
kruhovitost díra Ø10mm	0.000	0.013	0.003	0.004	-0.010	-0.009

Tabulka 23 - OCEL ČSN 12 050 - DÍL Č.2 srovnání úhlů

OCEL ČSN 12050.1 - DÍL Č.2						
parametr	rozměr podle výkresu [°]	naměřená hodnota [°]			odchylka [°]	
		teplota dílu 20°C	chladný díl 6°C	teplý díl 30°C	chladný díl 6°C	teplý díl 30°C
zkosení	35.000	34.995	34.991	34.989	-0.004	-0.006