



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

## HODNOCENÍ KVALITY VENTILU TERMOSTATU

QUALITY ASSESSMENT OF A THERMOSTAT VALVE

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Ondřej Kropáč

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Róbert Jankových, CSc.

BRNO 2019



# Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student:	<b>Bc. Ondřej Kropáč</b>
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Kvalita, spolehlivost a bezpečnost
Vedoucí práce:	<b>doc. Ing. Róbert Jankových, CSc.</b>
Akademický rok:	2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

## Hodnocení kvality ventilu termostatu

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Ventil termostatu automobilu plní důležitou úlohu při zajišťování požadovaného systému chlazení motoru a dalších agregátů. Úkolem studenta je navrhnout vhodné postupy pro snižování zmetkovitosti při výrobě ventilů a zvyšování jejich spolehlivosti v praxi.

### Cíle diplomové práce:

Definování kvality ventilu pro automobilový průmysl.

Analýza procesu výroby zvoleného typu ventilu.

Proces zkoušení ventilu ve výrobě.

Analýza vybraných parametrů ventilu s důrazem na texturu funkčních povrchů.

Doporučení pro praxi.

### Seznam doporučené literatury:

JURAN, J. M. a GODFREY, A. B., Juran's Quality Handbook – Fifth Edition. New York: McGraw-Hill, 1999. ISBN 0-07-034003-X.

ZEMAN, Lubomír. Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů. Praha: BEN - technická literatura, 2009. ISBN 978-80-7300-250-3.

LEACH, Richard, ed. Optical measurement of surface topography. Berlin: Springer, 2011. ISBN 978-364-2120-114.

LEACH, Richard. Characterisation of areal surface texture. Heidelberg: Springer, 2013. ISBN 978--642-36458-7.

WHITEHOUSE, D. J. Handbook of surface and nanometrology. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2010. ISBN 978-1-4200-8201-2.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

---

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

Automobilový termostat v dnešní době výrazně přispívá k možnosti snížit produkované emise výfukových plynů. Srdcem novodobého termostatu je sestava kulového ventilu, kterou se také zabývá tato diplomová práce. Nejprve je rozebrána podstata kvality ventilu automobilového termostatu s volbou následně hlouběji zkoumaných vlastností. Dále je popsán výrobní proces kulového elementu a teflonového těsnění. Následně je zkoumán problém zvýšené tvorby neshodných výrobků v produkci se zaměřením na analýzu tvaru kulového elementu a texturu povrchu teflonového těsnění ventilu. V závěru jsou formulována doporučení pro praxi s ohledem na snížení vícenákladů spojených s nekvalitou produkovaných dílů a doporučen další postup v řešené problematice.

## **ABSTRACT**

The automotive thermostat currently contributes significantly to the potential to reduce the output of the exhaust gases. The heart of the modern thermostat is the ball valve assembly which also deals with this master's thesis. First of all the principles of the quality of the automotive thermostat are described with the choice of further deeper examined properties. The manufacturing process of a ball element and PTFE sealing ring is described. Subsequently the problem of increased production of nonconforming products in production is studied focusing on the surface texture of teflon ring and shape analysis of the ball element. Finally a recommendation for practice with regard to the reduction of additional costs associated with poorly manufactured part is created and further action on this issue is recommended.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

kvalita ventilu, ventil termostatu, textura povrchu, vstřikování plastů

## **KEYWORDS**

valve quality, thermostatic valve, surface texture, injection molding



## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

KROPÁČ, Ondřej. *Hodnocení kvality ventilu termostatu* [online]. Brno, 2019 [cit. 2019-05-23]. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/116914>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Róbert Jankových.



## **PODĚKOVÁNÍ**

V tomto krátkém odstavci chci poděkovat všem lidem, kteří mě při psaní této práce podporovali. Panu docentu Róbertu Jankových za pomoc s volbou tématu, jeho upřesněním a finálním laděním celé práce. Panu inženýru Matěji Harčaríkovi za pomoc a cenné připomínky v době, kdy byl pan docent nemocen. Dále pak kolegům Martinu Jankovi a Tomáši Janičkovi, kteří mi radili při tvorbě programu pro měření dílu a naučili mě souřadnicový přístroj obsluhovat. Nejvíce bych chtěl poděkovat své rodině a kamarádům, že mě psychicky podporovali i v časech, kdy jsem ztrácel sílu pokračovat v této práci.



## **ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením doc. Ing. Róberta Jankových, CSc. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 23.5.2019

.....

Ondřej Kropáč



# OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD</b> .....	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>DEFINOVÁNÍ KVALITY VENTILU TERMOSTATU</b> .....	<b>17</b>
2.1	Kvalita obecně .....	17
2.2	Kvalita v automobilovém průmyslu .....	18
2.3	Kvalita ventilu termostatu .....	20
2.3.1	Zákaznické požadavky na kulový ventil .....	21
2.3.2	Životnostní požadavky na kulový ventil .....	21
2.3.3	Rozměrové požadavky na kulový ventil .....	22
2.3.4	Odolnost ventilu vůči chladicí kapalině .....	23
<b>3</b>	<b>ANALÝZA PROCESU VÝROBY ZVOLENÉHO VENTILU</b> .....	<b>24</b>
3.1	Historický úvod do technologie vstřikování plastů .....	24
3.2	Vizualizace výrobního procesu ventilu termostatu .....	25
3.3	Analýza jednotlivých kroků procesu výroby kulového elementu .....	26
3.3.1	Dovoz surového materiálu a jeho kontrola .....	26
3.3.2	Sušení surového materiálu .....	27
3.3.3	Lisování kulového elementu .....	29
3.3.4	Montáž kulového ventilu .....	32
3.4	Teflonové těsnění .....	32
3.4.1	PTFE formovací prášek .....	33
3.4.2	Vybrané vlastnosti PTFE .....	33
3.4.3	Technologie výroby teflonového těsnění .....	34
<b>4</b>	<b>PROCES ZKOUŠENÍ VENTILU VE VÝROBĚ</b> .....	<b>35</b>
4.1	Zkoušení kulového elementu .....	35
4.2	Zkoušení teflonového těsnění .....	36
4.3	Reflexe k procesu zkoušení komponent ve výrobě .....	37
<b>5</b>	<b>ANALÝZA VYBRANÝCH PARAMETRŮ VENTILU S DŮRAZEM NA TEXTURU FUNKČNÍCH POVRCHŮ</b> .....	<b>38</b>
5.1	Návrh nového způsobu kontroly kulového elementu .....	38
5.1.1	Sběr vzorků pro měření .....	39
5.1.2	Tvorba programu pro měření .....	40
5.1.3	Měření dílů .....	42
5.1.4	Vyhodnocení naměřených hodnot .....	44
5.2	Analýza textury povrchu teflonového těsnění .....	46
5.2.1	Teoretický úvod do měření drsnosti povrchu .....	46
5.2.2	Volba oblastí měření .....	52
5.2.3	Přípravek pro měření .....	52
5.2.4	Měření dílů .....	53
5.2.5	Vyhodnocení měření .....	54
<b>6</b>	<b>DOPORUČENÍ PRO PRAXI</b> .....	<b>59</b>
6.1	Kulový element .....	59
6.2	PTFE Těsnění .....	59
<b>7</b>	<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>61</b>
<b>8</b>	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ</b> .....	<b>62</b>
<b>9</b>	<b>SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK</b> .....	<b>65</b>

9.1	Seznam zkratk a symbolů .....	65
9.2	Seznam tabulek.....	66
9.3	Seznam obrázků.....	66
<b>10</b>	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>68</b>

# 1 ÚVOD

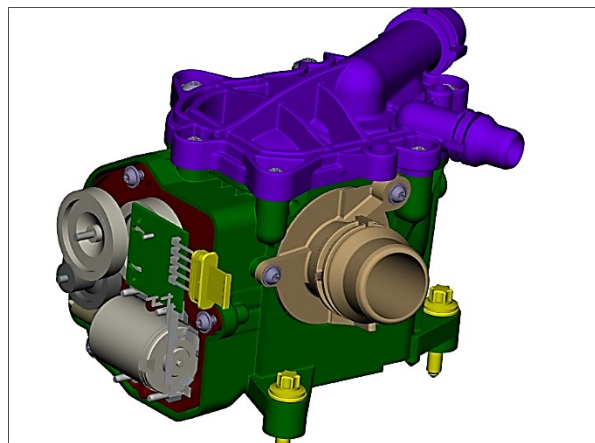
V automobilovém průmyslu je oblast kvality velmi přísně sledována a hodnocena. Výrobci s nekvalitními a nespolehlivými výrobky bývají velmi rychle nahrazeni těmi, kteří dokáží dodat díly splňující a mnohdy i převyšující očekávání zákazníka. Důvod, proč tomu tak je, jsou jak velmi vysoká očekávání koncového zákazníka, tak různé legislativní požadavky na bezpečnost a ochranu životního prostředí. V oblasti bezpečnosti se jedná hlavně o prvky aktivní a pasivní bezpečnosti. Tedy různé moderní systémy umožňující řidiči rychleji reagovat na nebezpečné situace a také prvky, které jsou k tomuto potřeba, tedy například brzdové systémy, airbagy, kamery a další.

V oblasti životního prostředí je kladen důraz zejména na to, aby automobil produkoval co nejnižší emise a také, aby veškeré komponenty vozu byly, pokud možno recyklovatelné a byly vyráběny z materiálů zohledňující životní prostředí. Evropská unie si klade za cíl neustále snižovat emise, které motory automobilů produkují, a to se také odráží v emisních normách<sup>1</sup>. Nutno podotknout, že v případě této práce se jedná o normy pro osobní automobily.

Jednou z možností, jak efektivně kontrolovat množství produkovaných emisí, je důkladný a propracovaný systém řízení teploty motoru. Tuto funkci zajišťuje automobilový termostat, který za poslední tři dekády prošel významnou proměnou od primitivní ventilové verze, poháněné voskovým členem na obrázku 1a, po kulové termostaty, poháněné elektrickým pohonem, umožňující řídicí jednotce automobilu přesně a včasné regulovat teplotu různých částí motoru obrázek 1b.



(a)



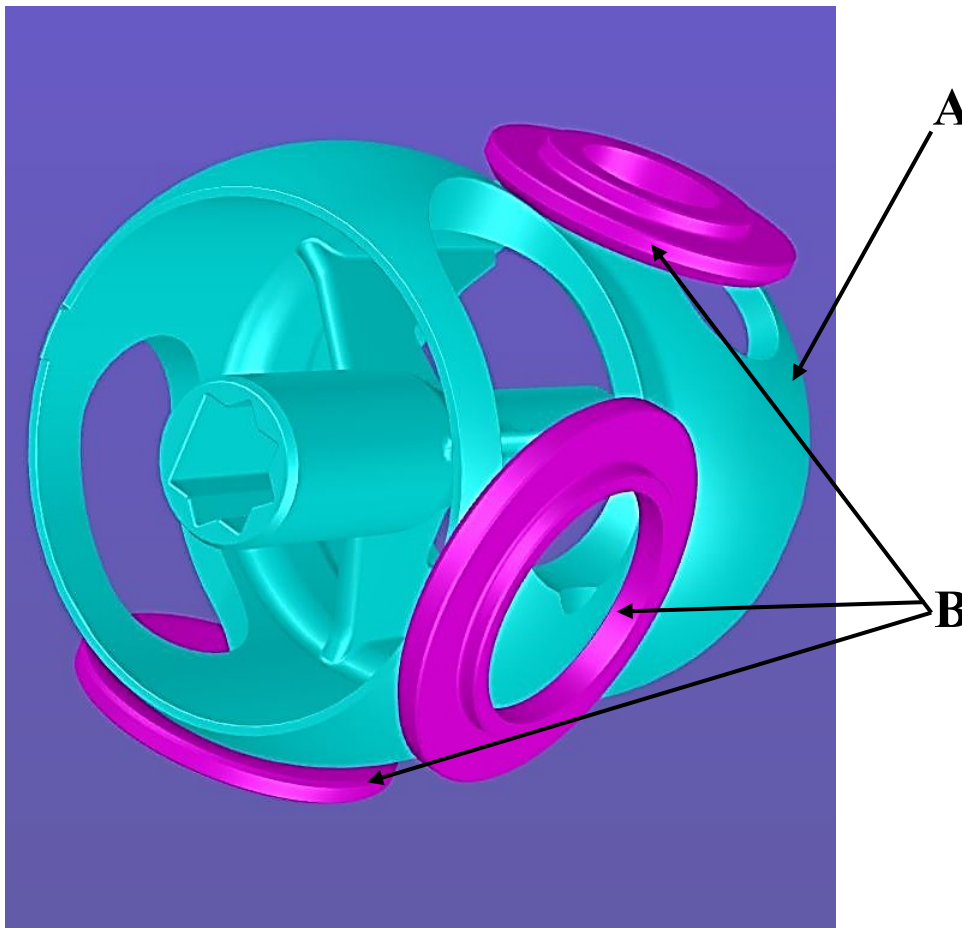
(b)

Obr. 1 (a) Termostat s voskovým členem a (b) termostat s elektrickým pohonem

Stěžejním prvkem těchto jednotek řízení teploty je sestava kulového elementu a těsnění, která se nazývá kulový ventil, jak je znázorněno na obrázku 2. Kvalita provedení obou komponentů je kritická pro správnou funkci celého zařízení. Je nutné také zajistit správnou funkčnost všech komponent po celou dobu jejich funkčního života daného jak zárukou, tak předpoklady koncového zákazníka.

<sup>1</sup> V době vydání této diplomové práce se jedná o normu Euro VI platnou od září 2014

Z důvodu tvorby zvýšeného množství neshodných výrobků vedení firmy rozhodlo o vypracování důkladné analýzy jednotlivých komponent kulového ventilu. Po analýze těchto prvků je třeba vytvořit návrh opatření pro odstranění problémů a zajištění jejich správné funkce, případně snížení vícenákladů ve výrobě. V této diplomové práci je řešen návrh nového způsobu kontroly kulových elementů a po analýze textury povrchu PTFE těsnění je navržen nový předpis pro ve výkresovou dokumentaci. Tyto změny mají za cíl přinést benefity v podobě snížených nákladů na výrobu neshodných dílů a jejich následnou demontáž. Také mají přinést snížený počet reklamací od zákazníka.



Obr. 2 Sestava kulového ventilu (A) kulový element (B) PTFE těsnění

Diplomová práce je v souladu se zadáním rozdělena do šesti kapitol a závěru. Druhá kapitola shrnuje historii vývoje kvality ve světě s další specifikací pro automobilový průmysl a následně popisuje kvalitu sestavy kulového ventilu. Třetí kapitola se zabývá analýzou výroby jednotlivých komponent ventilu termostatu, je zde stručně popsána technologie vstřikování plastů, možné problémy spojené s touto technologií a na závěr technologie výroby PTFE těsnění. Ve čtvrté kapitole je popsáno, jakým způsobem se nyní kontrolují jednotlivé komponenty ventilu před montáží termostatu a reflexe k tomuto procesu. První část (kapitola 5.1) páté kapitoly obsahuje návrh nového způsobu měření kulového elementu a druhá část (kapitola 5.2) se zabývá analýzou PTFE těsnění. V poslední kapitole je formulováno doporučení pro praxi. V závěru jsou shrnuty poznatky získané během tvorby této diplomové práce a doloženo splnění všech stanovených cílů.

## 2 DEFINOVÁNÍ KVALITY VENTILU TERMOSTATU

Tato kapitola shrnuje historii vývoje kvality v obecné rovině a dále se zabývá vnímáním pojmu kvalita v souvislosti s automobilovým průmyslem. Následně je za využití těchto teoretických poznatků definována kvalita ventilu automobilového termostatu. Na závěr této kapitoly jsou rozepsány jednotlivé důležité prvky kvality ventilu.

### 2.1 Kvalita obecně

Aby bylo možné definovat kvalitu specifického výrobku, je nejdříve nutné si připomenout, co vlastně pojem kvalita představuje a jakým způsobem se v průběhu historie vyvíjel.

Již u primitivních společností na počátku obchodování lze pozorovat známky snahy zajistit ochranu zákazníka v podobě nejprve ústních a později také psaných dohod s výrobcem zboží. J. Juran ve své knize [1] uvádí, že výrobce zlatého prstenu se smaragdem ručí, že kámen z prstenu neodpadne minimálně po dobu 20 let. Pokud ano, musí šperkař zaplatit vysokou částku jako kompenzaci za poškození. Smlouvy zajišťovaly, aby výrobci zboží byli více pečliví a jejich zboží během používání neselhalo. [1]

Zmiňované praktiky byly postupně zavedeny ve větší míře a v dnešní době jsou přímo zakotveny ve většině států v podobě různých zákonů. V České republice například občanským zákoníkem. Tyto snahy mají za úkol ochránit občany před podvodným jednáním. [1]

Pojetí kvality v dnešním smyslu má svůj původ z období první průmyslové revoluce. S postupným nástupem továren byli postupně vytlačeni malí výrobci. Cílem výrobních závodů bylo od počátku co nejvíce zvýšit produktivitu výroby a snížit náklady. Aby bylo těchto cílů dosaženo, bylo nutné přetvořit výrobní procesy ze systému, kdy každý dělník vyráběl celý produkt na systém, kde se jednotliví pracovníci podíleli pouze na části výrobního procesu a také byly vytvořeny specifické nástroje pro usnadnění jejich práce a zkrácení výrobního taktu. Jelikož již nebyl každý dělník zodpovědný za celý výrobek bylo nutné vytvořit speciální oddělení pracovníků zajišťujících kontrolu výrobků. [1]

Nejprve se jednalo o kontrolu vedoucího oddělení, kterému mohli pomáhat podřízení inspektoři zaměstnaní pouze pro tento účel. Na počátku 20. století si manažeři velkých podniků uvědomili, že pouhá inspekce má svá omezení a založili specifické oddělení kvality. Pravděpodobně největším protagonistou byl H. Ford (1863-1947), který se zaměřil na standardizaci návrhu procesu a součástí k zajištění výroby standardizovaného výrobku. [1,2]

Se zvyšujícím se objemem výroby v meziválečném období se rozvíjí statistické nástroje využitelné v praxi. V roce 1924 americký profesor a zaměstnanec Bellových laboratoří, Walter A. Shewhart (1891-1967), vytváří kontrolní diagramy, které jsou považovány za základ statistického řízení procesu (SPC). Dalšími významnými inovátory v této oblasti byli statistikové W. E. Deming (1900-1993) se svým PDCA cyklem<sup>2</sup> a G.E.P.Box (1919-2013). [1,3]

Konkurenční výhodu využití těchto metod si nejrychleji uvědomili japoňští manažeři a dokázali ze svých podniků na jejich základě vybudovat nejvíce konkurence schopné a úspěšné firmy na světě. Na základě pojetí těchto metod byla následně vyvinuta koncepce „total quality

<sup>2</sup> PDCA cyklus se sestává ze čtyř kroků – plan, do, check, act. Tedy plánuj, dělej, zkontroluj, jednej. Na základě tohoto cyklického konceptu je možné neustálé zlepšování procesu. [1]

control“ (TQC) v Japonsku a „total quality management“ (TQM) v Evropě, zakládající se na neustálém zlepšování a zapojení všech zaměstnanců podniku do komplexního řízení kvality všech produktů. [1,4]

Do 80. let 20. století nebyly přístupy ke kvalitě po světě harmonizovány, a to mělo za následek různé přístupy ke kvalitě v jednotlivých zemích. Mezinárodní organizace pro normalizaci ISO si dala za cíl vytvořit celosvětovou normu, podle které by se mohly jednotlivé podniky řídit a zajistit tak uživatelům výrobků požadovanou kvalitu. Z tohoto důvodu byla vytvořena norma ISO 9000 z roku 1987, jejímž hlavním cílem bylo zdokumentovat systém řízení kvality a poskytnout firmám jednotný systém v této oblasti. Pokud se organizace k této normě zavázala, musela ji dodržovat. Následně se zjistilo, že závazek k této normě poskytuje konkurenční výhodu před výrobci, kteří normu nevyužívají. [1,5]

Označení produktu jako „kvalitní“, vyjadřuje všeobecná očekávání pro daný produkt, která si společnost vytvořila. Vnímaná kvalita je ovšem velmi individuální záležitost, každý jedinec může od daného produktu očekávat jiné specifické vlastnosti. Někdy například nemusí záležet na technických vlastnostech, ale na vzhledu.

„Kvalitu“ tedy lze rozdělit dle dvou kritérií [1,6].:

- Znaky produktu, které se zaměřují na splnění zákaznických požadavků, a tedy vedou k jejich spokojenosti. V tomto přístupu je kladen cíl na co nejvyšší příjem, který je ze spokojenosti zákazníků očekáván. Nicméně aby bylo možné zvýšit kvalitu, je nutné ve většině případů do produktu investovat (vylepšení), a tedy zákonitě dochází ke zvýšení nákladů na produkt.
- Redukce nedostatků ve výrobním procesu a také vyvarování se selhání “v poli”<sup>3</sup>. Z tohoto pohledu je kvalita orientována na náklady a její zvýšení většinou stojí méně.

Toto zdvojené vnímání kvality může být pro nezasvěcené matoucí a nelogické, nicméně je nezbytné rozlišovat mezi zaměřením na splnění zákaznických požadavků a zaměřením na odstranění nedostatků, jak znázorňuje tabulka 1. [1,7]

Tab. 1 Význam kvality [1,7]

Znaky produktu splňují zákaznické požadavky	Redukce nedostatků produktu
Zvýšení spokojenosti zákazníka	Snížení tvorby neshodných výrobků
Vyšší prodejnost výrobků	Snížení oprav, odpadu
Vyšší konkurenceschopnost	Snížení výpadků "v poli" a záručních nákladů
Zvýšení podílu na trhu	Snížení nespokojenosti zákazníka
Vyšší příjem z prodejů	Zvýšení kapacity a výnosů
Podporuje prémiové ceny	Zvýšení výkonu dodávek
Vyšší kvalita většinou <b>stojí více</b>	Vyšší kvalita většinou <b>stojí méně</b>

## 2.2 Kvalita v automobilovém průmyslu

Jelikož tato diplomová práce pojednává o kvalitě součásti automobilu, je vhodné se seznámit se základy vnímání a řízení kvality v automobilovém průmyslu. Za několik posledních desetiletí získal pojem kvalita v této oblasti nový význam. Již se nejedná o pouhou statistiku

<sup>3</sup> Selháním v poli se rozumí selhání produktu během jeho využívání koncovým zákazníkem. Následkem bývají reklamační náklady a nespokojenost zákazníka, která může vyústit až ve změnu preferovaného výrobce produktu.

bezchybnosti ale o komplexní vnímání, které zahrnuje zákaznickovy vnitřní pocity o produktu a firmě, která ho nabízí. [1,8]

Nové pojetí kvality zahrnuje základy výkonu, komfortu, ekologie a dostupnosti. Navíc přidává jisté prvky související se schopností výrobce vyrábět stabilně lépe, tzv. „výrobní kvalita“ a „vlastnická kvalita“, která souvisí se spokojeností zákazníka. [1,8]

Také došlo ke dvěma změnám vedoucím ke zvýšení úrovně kvality a povědomí o kvalitě v automobilovém průmyslu. První z nich je přechod od odpovědi na zákaznické požadavky k jejich předvídání pomocí sofistikovaných demografických a dalších studií. Další výrazná změna je ve sblížení mezi výrobcí automobilů a jejich klíčovými dodavateli, kdy oba jednají jako partneři, a dokonce se podílí na designu, plánování a zvyšování kvality. V tabulce 2 je znázorněn chronologický vývoj kvality v automobilovém průmyslu [1].

V automobilovém průmyslu existují 3 rozměry kvality [1].:

- **Kvalita produktu.** V případě automobilu se jedná o jisté schopnosti jako je výkon, uživatelský komfort (hlučnost, kontrola prostředí, ergonomie), ohled na životní prostředí (spotřeba, čistota, bezpečnost) a cenová dostupnost.
- **Kvalita ve výrobě.** Jedná se o schopnost produkovat konzistentně a zároveň plnit požadavek na vyráběné množství a cenové cíle. Tato oblast dále zahrnuje:
  - **kvalitu produktu** – měřena například v PPM<sup>4</sup>,
  - **provozní kvalitu** – schopnost být flexibilní, zavádět nové modely,
  - **efektivitu** – možnost náhle navýšit vyrobené množství,
  - **cenu** – výroba produktu se ziskem za příznivou cenu.
- **Kvalita vlastnictví.** Jedná se o všeobecnou schopnost uspokojení zákazníků během celého života produktu. [1,8]

Tab. 2 Pět období kvality v automobilovém průmyslu [1]

Éra automobilového průmyslu	Přidaná hodnota kvality
Tradiční kvalita	Řemeslník
Velkovýrobní kvalita	Model Henryho Forda
Zákaznická spokojenost	Koncept Alfreda Sloana
Růst spotřebitelství	Bezpečnost
Zelené hnutí	Zachování přírody a čistý vzduch

Samotní výrobci automobilů jsou velmi silnými hráči ve světové ekonomice. Proto byla pro automobilový průmysl vytvořena nadstavba normy ISO 9000 v podobě ISO/TS 16949, která byla v roce 2015 převedena na IATF 16949. Tato specifikace je závazná pro všechny přímé dodavatele a dále je požadováno její rozšíření do celého dodavatelského řetězce. Německé automobilky dále využívají pro řízení kvality automobilových produktů speciálně vyvinuté standardy VDA.

V tabulce 3 jsou shrnuty vybrané kvalitativní normy a předpisy v automobilovém průmyslu.

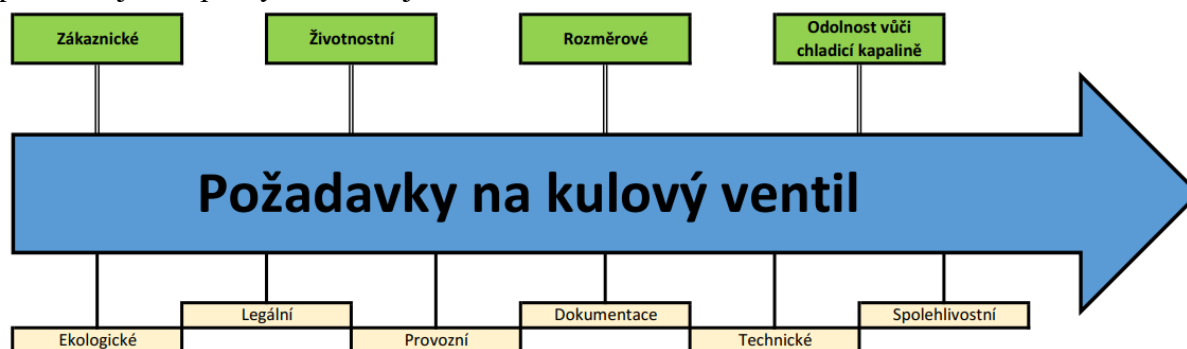
<sup>4</sup> Parts per milion – počet neshodných výrobků v milionu vyrobených

Tab. 3 Souhrn kvalitativních norem a předpisů v automobilovém průmyslu

Označení	Rok poslední aktualizace	Název
ISO 9001	2015	Systém managementu kvality-požadavky
IATF 16949	2016	Zvláštní požadavky na uplatňování ISO 9001: 2008 pro automobilovou výrobu
APQP	2008	Pokročilé plánování kvality
PPAP	2006	Schvalování dílu k výrobě
FMEA	2017	Analýza možných způsobů a důsledků poruch
MSA	2010	Analýza systémů měření
VDA 1	2018	Dokumentování a archivace
VDA 2	2012	Zajišťování kvality před sériovou výrobou
VDA 4	2011	Zajištění kvality v oblasti procesů
VDA 5	2010	Vhodnost kontrolních procesů
VDA 6	2016	Požadavky na certifikaci dle jednotlivých svazků VDA 6
VDA 7	2017	Sdílení informací ve světě kvality
VDA 13	2004	Vývoj systémů řízených softwarem
VDA 14	2008	Preventivní metody managementu kvality v oblasti procesů
VDA 16	2016	Dekoraturní povrchy zástavbových a funkčních dílů v oblasti exteriéru a interiéru automobilů
VDA 19.1/19.2	2015/2010	Technická čistota

### 2.3 Kvalita ventilu termostatu

Kvalita sestavy ventilu v automobilovém termostatu je definována všemi vstupy, které umožňují splnit předpokládanou funkci definovanou zákazníkem. Existuje více možností rozdělení požadavků, jedno z nich je vizualizováno na obrázku 3 – zelené vlastnosti jsou podrobněji rozepsány v následujícím textu.



Obr. 3 Schéma požadavků na kulový ventil

V automobilovém průmyslu mají výrobci automobilů velmi silnou pozici. Z tohoto důvodu je velmi důležité, aby jejich požadavky byly plněny. Německý zákazník ve většině případů předává požadavky na své dodavatele pomocí dokumentu lastenheft<sup>5</sup>, který popisuje, jaké funkce by mělo vyráběné zařízení splňovat.

<sup>5</sup> Jedná se o dokument s technickým popisem výrobku, většinou slouží obchodníkovi pro nalezení vhodného výrobce

Dále je samozřejmě velmi důležité, aby vyrobený díl vydržel co nejdéle, a tedy aby měl vysokou životnost a spolehlivost.

Aby mohl výrobek splnit všechny požadavky, které po něm zákazník očekává, je stěžejní dodržet všechny rozměrové a další požadavky na sestavu kulového ventilu, které byly definovány v konstrukční fázi.

Velmi důležitý požadavek je rovněž odolnost proti chladicí kapalině. Jelikož se v případě chladicí kapaliny jedná o velmi agresivní látku, je nutné provádět testy odolnosti jednotlivých komponentů vůči jejímu dlouhodobému působení.

### 2.3.1 Zákaznické požadavky na kulový ventil

Jak již bylo napsáno v předchozím textu, většina zákaznických požadavků týkajících se výrobku je obsažena v lastenheftu pro daný produkt. Jelikož se jedná o důvěrné informace, není zde možné psát všechny podrobnosti, nicméně se jedná o dokument s obsahem až 72 stran. Níže jsou shrnuty nejdůležitější zákaznické požadavky týkající se kvality produktu, procesů a služeb:

- cílem je nula vadných dodaných kusů,
- dodržení zákaznických specifikací pro balení a logistiku,
- nezbytnost využití analýzy rizik pro zlepšování procesu,
- zajištění správné funkce výrobku po dobu minimálně 12 let nebo 240000 km,
- garance 2 roky celosvětově a 4 roky v USA, pokud není dojednáno jinak,
- zajištění technické čistoty dle QV 11111, VDA 19 a DIN ISO 16232<sup>6</sup>,
- odolnost vůči korozi po dobu minimálně 5 let.

Zákazník samozřejmě vyžaduje plnění standardů dle ISO 9001 a IATF 16949.

### 2.3.2 Životnostní požadavky na kulový ventil

Automobil je velmi komplexní výrobek. Výrobce tedy musí zajistit jeho dostatečnou životnost. Ta je dána zejména právními podklady v podobě záruky a také soudobými požadavky zákazníků. Všechny komponenty automobilu tedy musejí splňovat jisté požadavky na životnost v provozních podmínkách.

Pokud tuto teorii vztáhneme na kulový ventil, potažmo celou jednotku termostatu, je nutné ověřit, že sestava tak, jak je navržena v průběhu konstrukce bude schopna fungovat po stanovenou dobu, ke které se firma produkující tyto termostaty zavázala. Tento závazek je obsažen v nákupní smlouvě mezi zákazníkem a dodavatelem.

V případě termostatu se jedná o tři roky bezproblémové funkce v Evropě a 5 let na severoamerickém a asijském trhu, jak bylo dojednáno se zákazníkem v tomto konkrétním případě automobilového termostatu.

K ověření a testování skutečné životnosti produktu bylo zakoupeno několik zařízení, které simulují reálné podmínky automobilu a okolního prostředí. Jedná se tedy o klimatické komory, schopné simulovat teplotu od -50 do 300 stupňů. Dále pak je možné pojmout až 6 jednotek termostatu zároveň a cyklicky na nich provádět definovaný styl jízdy automobilu. Tyto testy běžně probíhají po velmi dlouhou dobu a mají za úkol otestovat až 300 000 najetých kilometrů a 5 let stárnutí termostatu. [8]

<sup>6</sup> Technická čistota se v automobilovém průmyslu stala velmi důležitou součástí kvalitativního hodnocení výrobku. Zejména z důvodu možnosti poranění operátorů zákazníka otřepy a ostrými hranami.

V případě neúspěšného testování je definována kořenová příčina selhání a následně jsou provedena nápravná opatření, která ve většině případů zahrnují změnu designu a konstrukce. Je velmi důležité tyto testy provést před samotným začátkem sériové produkce termostatu, jelikož by se náklady na následnou úpravu sériových forem pro jednotlivé díly exponenciálně zvyšovaly, jak zobrazuje diagram na obrázku 4 [9].



Obr. 4 Vývoj nákladů na odstranění chyb [9]

### 2.3.3 Rozměrové požadavky na kulový ventil

Aby mohla sestava kulového ventilu správně plnit svoji funkci, je nutné dodržovat v průběhu konstrukce vytvořené rozměry a jejich tolerance. Vzhledem k tomu, že se jedná o termostat se třemi okruhy<sup>7</sup>, obsahuje sestava tři teflonová těsnění a jeden kulový element.

Důležitost jednotlivých rozměrů na dílech se liší, v automobilovém průmyslu se dělí na 3 skupiny:

- CC znaky – kritické znaky, které souvisí s bezpečností,
- SC znaky – speciální znaky, které souvisí se zajištěním funkce,
- ostatní rozměry – rozměry, které nejsou ani CC, ani SC.

Pro CC a SC znaky je nutné mít zavedené SPC a důkladně sledovat jejich vývoj, aby bylo možné včas rozpoznat změny v procesu a zabránit možným problémům spojeným s překročením předepsaných mezí.

Tyto záznamy je nezbytné uchovávat minimálně po dobu 15 let od ukončení produkce výrobku, zejména pro bezpečnostní<sup>8</sup> díly, jak je popsáno ve svazku VDA 1 [10].

<sup>7</sup> Jednotlivé okruhy mají za úkol nezávisle chladit různé části motoru automobilu, například hlavu motoru, blok motoru a olej v převodovce motoru.

<sup>8</sup> Jedná se o díly, jejichž selhání může ohrozit život cestujících v automobilu.

### 2.3.4 Odolnost ventilu vůči chladicí kapalině

Aby byla zajištěna funkce chladicího systému, je nutné převést teplo z motoru k chladiči. K tomuto účelu se využívá chladicí kapaliny, která má vysokou tepelnou kapacitu. Chladicí kapalina obsahuje Ethan - 1,2 - diol a v dnešní době se nejvíce využívá kapaliny s označením G12++, či G13<sup>9</sup>. Jelikož ovšem tato kapalina působí v kombinaci s teplotami chladicího okruhu jako silná žíravina, je nutné zajistit, aby materiály využitě pro výrobu kulového ventilu měly vůči působení těchto podmínek dostatečnou odolnost.

Za účelem ověření, zda bude kulový ventil splňovat dané podmínky se provádí tzv. „Kochtest<sup>10</sup>“, tedy vaření jednotlivých dílů v chladicí kapalině za zvýšené teploty po určitou dobu. Po tomto procesu jsou díly vizuálně analyzovány a posuzovány dle předpisů pro provádění těchto testů. V případě, že se na díle objeví jakékoliv známky poškození, jako jsou například trhliny, mikrotrhliny nebo změna vzhledu povrchu, je test neúspěšný a je třeba provést nápravná opatření.

Nápravná opatření se většinou sestávají z optimalizace vstřikování a redukce vnitřního napětí materiálu, případně může dojít až ke změně materiálu, pokud ten stávající není schopen požadavky na odolnost splnit.

---

<sup>9</sup> Chladicí kapaliny popisuje standard koncernu Volkswagen TL 774

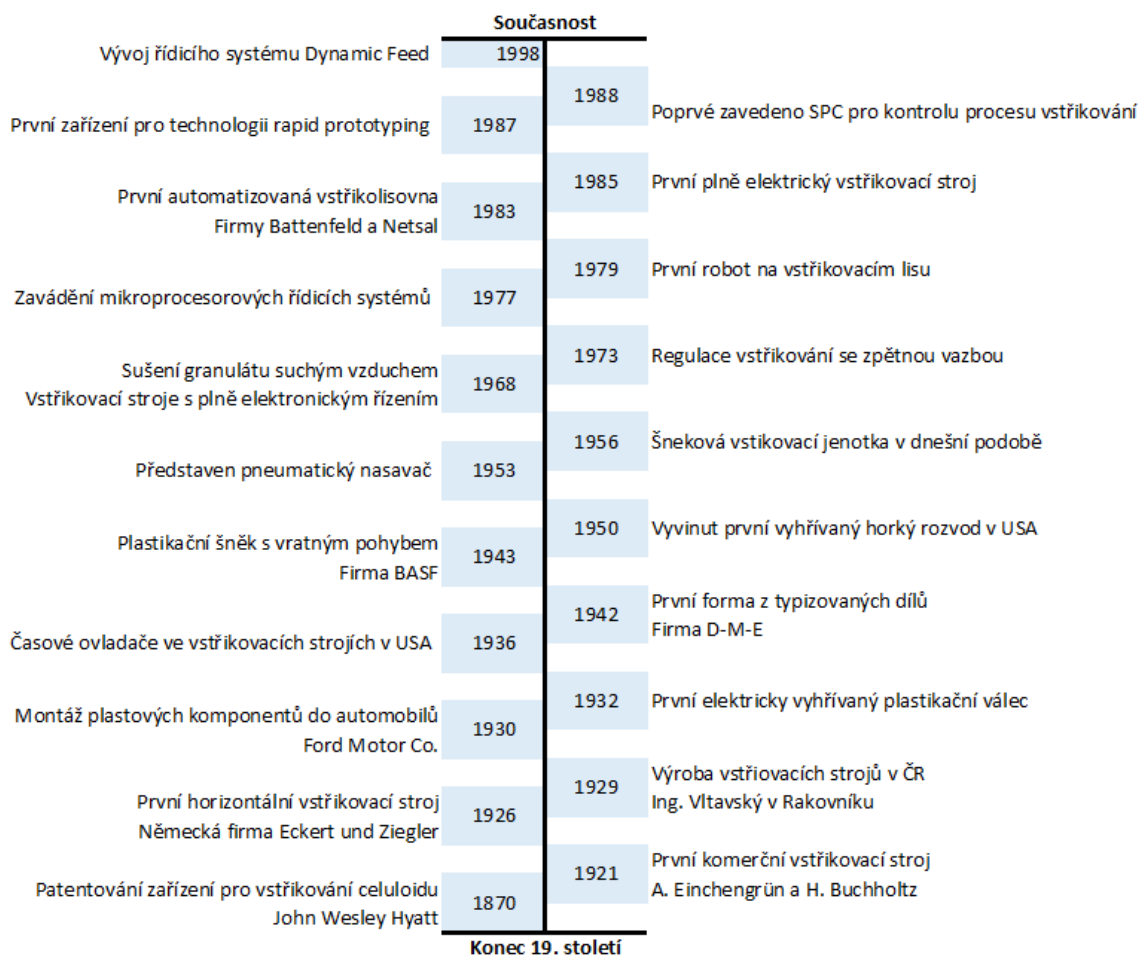
<sup>10</sup> Standard koncernu Volkswagen TL 52682, poslední aktualizace 10-2015

### 3 ANALÝZA PROCESU VÝROBY ZVOLENÉHO VENTILU

Tato kapitola popisuje výrobní postup kulového elementu termostatu, produkovaného vstřikováním termoplastu. Pro lepší objasnění problematiky vstřikování plastů je v první kapitole stručně pojednáno o historii této výrobní technologie. Dále je rozebrán celý postup výroby elementu a vyobrazeny jednotlivé kroky, poté jsou vybrané kroky popsány podrobněji s problémy, které se mohou v každém výrobním kroku vyskytnout. Na závěr se věnuje způsobu výroby teflonového těsnění.

#### 3.1 Historický úvod do technologie vstřikování plastů

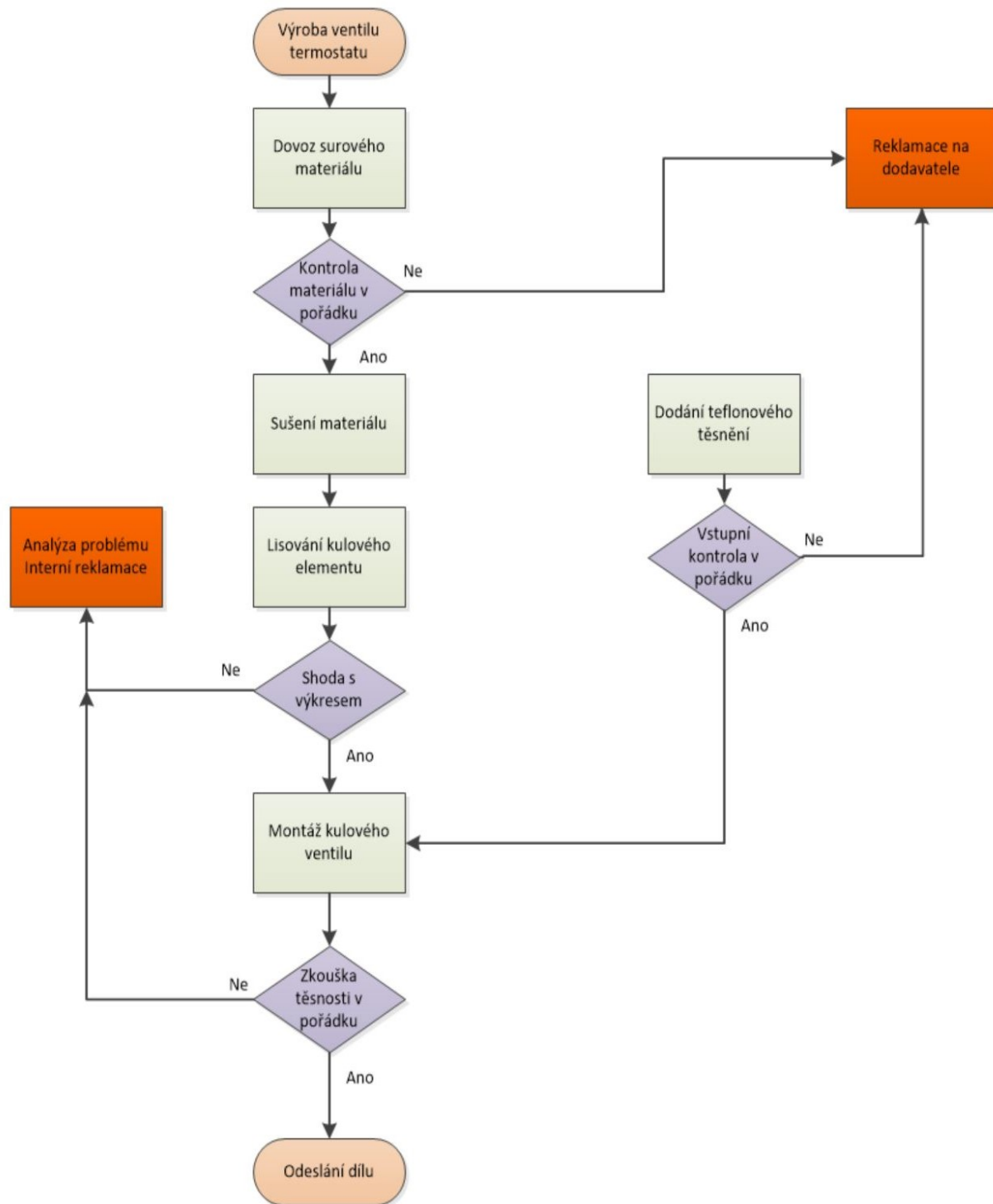
Technologie vstřikování plastů je intenzivně rozvíjena již od konce 19. století, kdy si J.W. Hyatt (1837-1920) patentuje první zařízení pro vstřikování celuloidu. Později dochází k mnoha inovacím jak ve vývoji nových plastových materiálů, tak zařízení na jejich lisování. Zároveň s těmito lisy dochází k vývoji vstřikovacích forem, které jsou pro celý proces naprosto klíčové. Níže lze na obrázku 5 vidět časovou osu zobrazující důležité milníky z historie technologie vstřikování plastů. [11]



Obr. 5 Milníky z historie technologie vstřikování plastů [11]

### 3.2 Vizualizace výrobního procesu ventilu termostatu

Aby bylo možné vyrobit kulový ventil, je nutné dodržet několik stěžejních kroků procesu. Všechny tyto kroky mohou mít vliv na výslednou kvalitu produkovaného dílu. Výrobní proces je tedy zobrazen jako vývojový diagram na obrázku 6.



Obr. 6 Vývojový diagram procesu výroby ventilu termostatu

### 3.3 Analýza jednotlivých kroků procesu výroby kulového elementu

Následující podkapitoly blíže specifikují jednotlivé části výrobního procesu kulového elementu. Je zde popsáno, jakým způsobem se dováží a kontroluje surový materiál a jak se přijatý materiál upravuje pro následující využití. Poté je popsán výrobní proces vstřikování a je zde kladen důraz na vady, které při něm mohou vznikat. Na závěr je stručně popsána montáž kulového ventilu.

#### 3.3.1 Dovoz surového materiálu a jeho kontrola

Surový plastový granulát je stěžejní vstupní surovina, bez které není možné kulový element termostatu vyrobit. Existuje nepřehledné množství plastových materiálů a dle jejich volby následně získáváme vlastnosti finálního výrobku.

Základní dělení plastů je následující [11]:

- reaktoplasty,
- termoplasty,
- termoplastické elastomery,
- elastomery.

Kulový element je lisován z termoplastu. Pro zlepšení jeho mechanických vlastností, jako je pevnost, tvrdost a odolnost a dále získání dalších požadovaných vlastností se polymer upravuje přidáním různých aditiv. Jednotlivá aditiva jsou shrnuta v tabulce 4 [11].

Tab. 4 Typy aditiv v polymerech [11]

Aditivum	Účinek
Termooxidační stabilizátor	Zvyšuje hranici maximální teploty a doby vstřikování
Lubrikant	Zlepšení odformování výrobku, vyšší lesk výrobku
Nukleační činidlo	Zrychluje tvorbu krystalů, a tedy výrobní cyklus
Barvivo	Zabarvení polymeru na požadovanou barvu
Plniva	Snížení smrštění výrobku a zlepšení mechanických vlastností

K výrobě kulového ventilu se používá materiál PA 6.6 GF 30. Jedná se tedy o polyamid s přídatkem 30 % skelných vláken v objemu. Tento materiál se vyznačuje dostatečnou pevností, tvrdostí a odolností proti otěru, je ale poměrně křehký. Volba materiálu byla provedena na základě jeho vlastností a zkušeností s jeho využitím pro aplikaci při výrobě termostatů již v designové fázi výrobku.

Surový materiál v podobě granulí se dodává v „oktabínech“, což jsou kartonové krabice ve tvaru osmiúhelníku, ve váze nejčastěji 1 t. Při vysokém odběru tohoto materiálu se většinou využívá silo, které v určitých intervalech doplňuje kamion.

Při přejímce surového materiálu od dodavatele je naprosto klíčové zkontrolovat jeho vlhkost. Jak bude podrobněji vysvětleno v následující podkapitole, vlhkost je jedna z důležitých vlastností při vstřikování plastových dílů a její podíl má za následek množství vad na finálním výrobku. K měření vlhkosti se využívá speciální přístroj AQUATRAC od firmy Brabender Messtechnik (obr. 7) a při jejím překročení je celá dávka surového materiálu vrácena zpět dodavateli z důvodu nemožnosti dostatečné redukce vlhkosti v procesu sušení [12].



Obr. 7 Měřič vlhkosti granulátu

### 3.3.2 Sušení surového materiálu

Téměř všechny termoplasty ze své podstaty ve větší nebo menší míře absorbují vlhkost z okolního vzduchu, hovoříme o „navlhavosti“. Tento proces se děje na základě difúze a naštěstí je vratný. Proces vlhnutí materiálu končí v okamžiku vyrovnání koncentrace vody v polymeru a prostředí, kde je uskladněn. [11]

Zvýšená vlhkost materiálu vede k celé řadě nežádoucích účinků<sup>11</sup> během procesu jeho vstřikování, které jsou zobrazeny v tabulce 5. Námi zvolený materiál je schopen absorbovat 2,5-3,5 % vlhkosti. Pro výrobní proces je tedy nutné surový materiál vhodně upravit, což se děje sušením v automatických sušičkách. [11]

Tab. 5 Nežádoucí účinky vlhkosti na vstřikování [11]

Typ vady	Důsledek
Povrchové vady	Stříbření
	Nerovnoměrný lesk
	Lokální změny odstínu barvy
Hydrolytická degradace	Stopy po unikající páře
	Výskyt bublin uvnitř dílu
Změna hmotnosti a objemu	Snížená rozměrová přesnost
	Snížená tvarová přesnost
	Nestabilita rozměrů a tvarů

<sup>11</sup> V případě PA 6.6 je možnost využít zvýšené vlhkosti pro úpravu fyzikálně-mechanických vlastností. pro výrobu kulového elementu se ale tento proces nevyužívá.

Technologie sušení granulátu je založena na proudění horkého vzduchu. Za tímto účelem bylo vyvinuto několik více či méně účinných řešení. Čím vyšší je teplota protékajícího vzduchu, tím více dokáže pohltnout vlhkost z polymeru. Teplota ovšem nesmí být příliš vysoká, aby nedošlo k degradaci plastových granulí, což by představovalo problém pro jejich dopravu a proces vstříkovaní. V dnešní době u sušiček existují vysoké nároky na efektivitu, teplotní rozpětí a možnosti sušit různé typy materiálů. Sušení je závislé na následujících parametrech [11]:

- **teplota sušení** – důležitá k rozvolnění vazeb mezi molekulami vody a polymerními řetězci,
- **rosný bod** – udává schopnost vzduchu pohlcovat vlhkost,
- **doba sušení** – důležitá, aby molekuly vody mohly vystoupit na povrch granulí, je dána výrobcem polymeru,
- **průtok vzduchu** – důležitý pro správné přenášení teploty do sušičky a vlhkosti z objemu sušičky.

Tabulka 6 obsahuje různé typy sušiček a shrnuje jejich výhody a nevýhody.

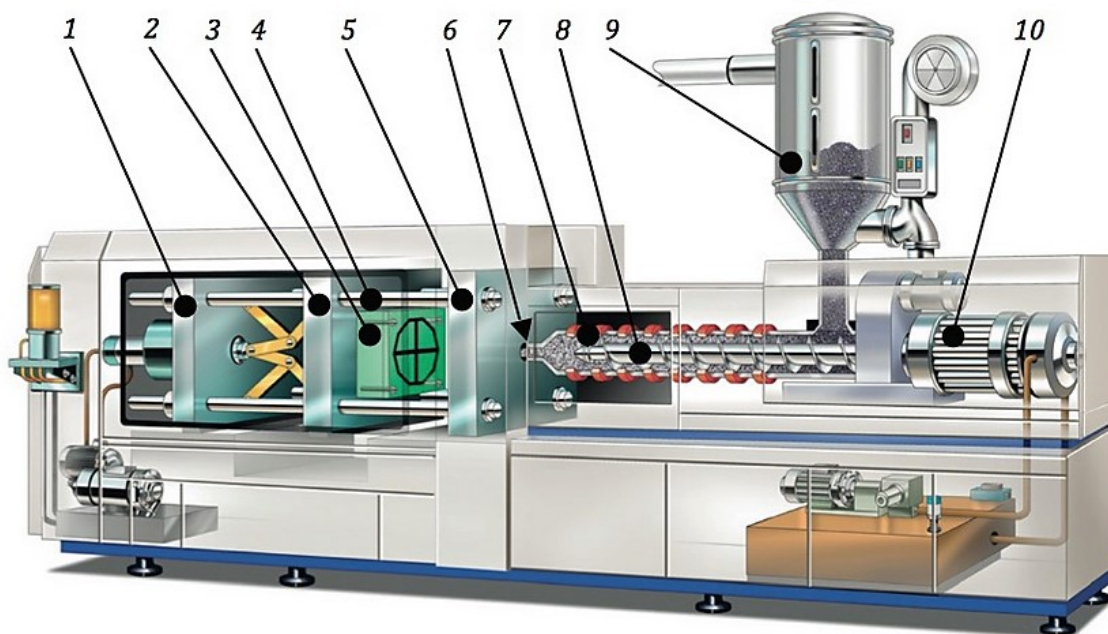
Tab. 6 Typy sušiček a jejich vlastnosti [11]

Typ sušičky	Provedení	Způsob sušení	Výhody	Nevýhody
<b>Samovolná cirkulace vzduchu</b>	Skříň s topnými tělesy	Ohřátý vzduch v okolí	Větší objem, levné servisně nenáročné	Nízká efektivita dlouhá doba sušení, pouze povrchová vlhkost
<b>Nucený oběh vzduchu</b>	Válcový zásobník granulátu	Vhánění ohřátého vzduchu z okolí	Levné, servisně nenáročné	Závislost na ročním období, nízká efektivita, pouze povrchová vlhkost
<b>Nucený oběh suchého vzduchu</b>	Válcový zásobník granulátu	Uzavřený systém horkého suchého vzduchu	Efektivnější sušení, kratší doba sušení	Energetická náročnost, nutnost chladit vzduch po projití zásobníkem, častější údržba
<b>Podtlaková</b>	Válcový zásobník granulátu	Podtlak vytahuje vlhkost z vnitřku granulí na povrch, ta je následně odebrána proudícím vzduchem	Podstatně kratší doba sušení menší zatížení materiálu úspora nákladů	Nutnost vytvoření vakua Složitost zařízení
<b>Tlakovzdušná</b>	Válcový zásobník granulátu	Využití stlačeného ohřátého vzduchu z vnějšího zdroje	Prohřátí bez nebezpečí degradace vynikající teplotní izolace konstantní výsledky po dobu životnosti zařízení	Složitost zařízení Vysoká cena

### 3.3.3 Lisování kulového elementu

Po usušení granulátu následuje jeho doprava do násypky vstřikovacím lisu pomocí vakua a soustavy trubek. Následně se granulát vlivem gravitace dostane do šnekového ústrojí vstřikovacího lisu, kde je postupně roztaven a pod vysokým tlakem vstříknut do formy. Po určité době, tzv. čase cyklu, je forma otevřena a díl je automaticky odebrán robotem a položen na pás vedle vstřikovacího lisu.

Vstřikovací lis a jeho součásti jsou zobrazeny na obrázku 8.



Legenda:

- 1) uzavírací jednotka, která má na starost uzavření formy
- 2) Pohyblivá upínací deska
- 3) Pohyblivá část formy
- 4) Vodící sloupky vstřikovacího lisu
- 5) Pevná upínací deska
- 6) Čelo špičky vstřikovací trysky
- 7) Tavicí komora
- 8) Šnek
- 9) Násypka pro plastový granulát
- 10) Pohonná jednotka šneku

*Obr. 8 Schéma vstřikovacího stroje [13]*

Během procesu lisování může z různých důvodů dojít k celé řadě vad. Nejběžnější vady, které byly zvoleny, a jejichž příčiny se týkají kvality kulového elementu, jsou shrnuty v tabulce 7. Většinu těchto vad lze předejít vhodným nastavením parametrů procesu vstřikování.

Tab. 7 Přehled vad, jejich příčin a možnosti řešení dle [11]

Problém	Původce závady	Příčina	Odstranění
Přestřík, přetok, otřep	Vstřikovací stroj	Nízká uzavírací síla stroje po uzavření formy stroj nepřepne na plný tlak	Zvýšení uzavírací síly Silnější stroj
	Forma	Nedokonalé uzavření formy vlivem nepřesností a nečistot v dělicí rovině, předdimenzované odvětrání	Změření formy a odstranění závady, úprava odvětrávacích kanálů
Neúplný výstřík	Vstřikovací stroj	Zpětný závěr šneku netěsní Nízký plastikační výkon	Vyčištění/výměna uzávěru Použit větší průměr šneku
	Forma	Poddimezovaná vtoková soustava Nedostatečná teplota	Zvětšení vtoků a vtokových ústí Kontrola a oprava temperační soustavy
	Konstrukce výstříku	Tvar výstříku nebo jeho rozměry nevhodně zvoleny pro daný typ polymeru	Přizpůsobit tvar a rozměry danému plastu nebo vyměnit materiál
Propadliny, staženiny, lunkry, zvlnění povrchu	Vstřikovací stroj	Zpětný závěr šneku netěsní Nízký plastikační výkon	Vyčištění/výměna uzávěru Použit větší průměr šneku
	Forma	Poddimezovaná vtoková soustava Nepřesné rozložení teploty tvarové dutiny	Zvětšit průřezy vtokového ústrojí Použití horkého vtoku Kontrola temperačního systému
	Konstrukce výstříku	Tvar výstříku neodpovídá technologickým požadavkům	Odstranit velkou nerovnoměrnost v tloušťce stěn
Studené spoje	Materiál	Nehomogenita materiálu	Použit materiál s úzkým rozmezím indexu toku taveniny
	Vstřikovací stroj	Nízká uzavírací síla stroje	Zvýšit uzavírací sílu stroje Použit silnější stroj
Místní pálení materiálu	Forma	Nevhodná vtoková soustava Nedostatečné odvětrání v místě styku proudů taveniny	Vyměnit polohu nebo typ vtoku Zvětšit odvětrávací kanálky Zajistit přetokovou jamku
	Materiál	Příliš nízká viskozita taveniny	Použit materiál s nižším indexem toku taveniny
Místní pálení materiálu	Vstřikovací stroj	Velká dekomprese po plastikaci Příliš vysoká uzavírací síla	Snížit dekompresi Snížit uzavírací sílu
	Forma	Nevhodná vtoková soustava Nedostatečné odvětrání	Vyměnit polohu nebo typ vtoku Zvětšit odvětrávací kanálky

Tab. 7 Přehled vad, jejich příčin a možnosti řešení dle [11] - pokračování

Problém	Původce závady	Příčina	Odstranění
Stopy vlhkosti	Materiál	Nedostatečné vysušení materiálu Materiál příliš dlouho v násypce nebo dávkovacím systému	Kontrola sušení (vyšší teplota a doba) Nahrazení materiálu v násypce a dávkovacím systému
	Materiál	Vysoká zbytková vlhkost materiálu Malá tepelná stabilita materiálu	Účinnější sušení, kontrola procesu sušení Reklamacie u výrobce materiálu
Tvorba drobných bublinek	Parametry	Vysoká teplota taveniny nebo vstřikovací rychlosti Nevhodně zvolená dekomprese	Snížit teplotu nebo vstřikovací rychlost Změnit dekompresi po plastikaci
	Vstřikovací stroj	Mrtvé kouty a netěsnosti ve vstřikovací jednotce	Kontrola vstřikovací jednotky a odstranění závady
	Forma	Nevhodné umístění vtoku Málo rozměry od vzdušnění	Změna vtokové soustavy Zvětšení od vzdušnění
Opalescence, stříbření, mikrotrhliny	Materiál	Málo vnitřního maziva Vysoká vlhkost	Reklamacie materiálu Zvýšit teplotu a čas sušení
	Parametry	Příliš vysoké tepelné zatížení materiálu	Snížit teplotu taveniny, otáčky šneku, protitlak nebo vstřikovací rychlost
	Vstřikovací stroj	Dlouhá prodleva materiálu v tavicím válci	Zmenšit průměr šneku Přechod na menší stroj
	Forma	Poddimenzovaná vtoková soustava, špatná funkce horkých vtoků	Zvětšit průřezy vtokového ústrojí Kontrola regulace teploty vtoku
Tokové čáry, studené tokové linie	Materiál	Příliš nízká index toku taveniny Vlhkost materiálu	Typ materiálu s vyšším indexem toku taveniny Kontrola procesu sušení
	Parametry	Příliš pomalý objemový proud taveniny	Zvýšit teplotu taveniny a formy, vstřikovací rychlost
	Vstřikovací stroj	Tepelné ztráty na trysce	Nevolit režim s trvalým přiskokem trysky
	Forma	Nerovnoměrná teplota formy Nevhodné vtokové ústrojí	Kontrola a rekonstrukce temperačního systému Změna vtokové soustavy

Tab. 7 Přehled vad, jejich příčin a možnosti řešení dle [11] - pokračování

Problém	Původce závady	Příčina	Odstranění
Rýhovaný až pórovitý povrch	Parametry	Vysoký odpor při plnění tvarové dutiny	Zvýšit teplotu formy, taveniny a vstřikovací rychlost
	Vstřikovací stroj	Malý mísicí účinek při plastikaci	Zvětšit protitlak a otáčky šneku
	Forma	Poddimenzovaná vtoková soustava Nedostatečná teplota	Zvětšení vtoků a vtokových ústí Kontrola a oprava temperační soustavy
Deformace při vyhazování z formy	Parametry	Výstřik se svírá, vyhazovač deformuje výstřik, přeplněná forma	Zmenšit objemový proud taveniny, redukovat vstřikovací rychlost a dotlak, upravit teplotu formy
	Forma	Části formy nejsou rovné, nepasují do sebe, nesouhlasné úhly, malé úkosy nebo podkosy	Kontrola konstrukce formy, odstranění závad
	Konstrukce výstřiku	Příliš velké rozdíly v tloušťce stěn vyvolávající rozdílné rychlosti toku ve formě	Při konstrukci dodržet technologické požadavky

### 3.3.4 Montáž kulového ventilu

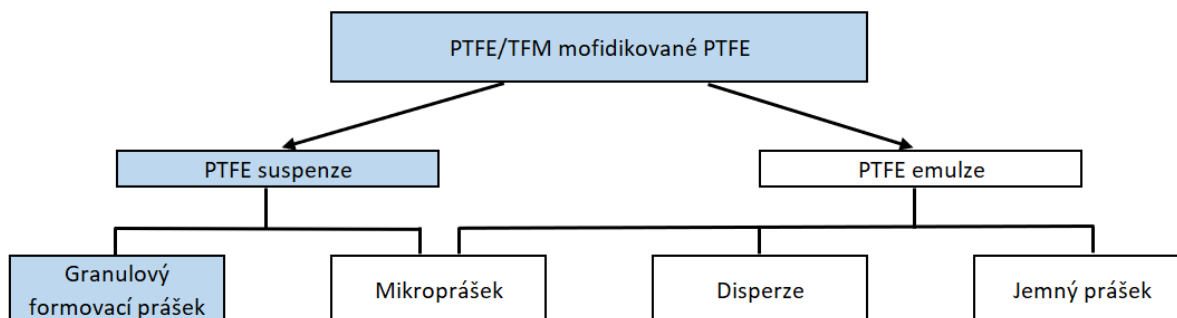
Po vylisování kulového elementu je tento produkt pomocí dopravníkového pásu přemístěn přímo k montáži. Zde operátor montážního zařízení postupně založí většinu částí termostatu včetně teflonového těsnění na přepravní paletku, která je následně posouvána vnitřními prostory montážního zařízení. Zde dochází za pomoci robotů k automatickému sestavení termostatu a jeho vyzkoušení. Nakonec je termostat umístěn do finálního balení.

## 3.4 Teflonové těsnění

Teflonové těsnění je vyrobeno z materiálu PTFE, v této kapitole je zjednodušeně popsána technologie výroby PTFE prášku, dále pak vlastnosti výrobků z PTFE a na závěr se kapitola zabývá popisem technologie výroby teflonových těsnění, která společnost ITW využívá ve svých kulových termostatech.

### 3.4.1 PTFE formovací prášek

PTFE je reprezentováno dvěma základními kategoriemi. Jedná se o PTFE suspenzi (S-PTFE), také zvanou formovací prášek a PTFE emulzi (E-PTFE). Na obrázku 9 je zjednodušeně zobrazeno rozdělení jednotlivých typů PTFE, modře podbarvené kroky se týkají teflonového těsnění. Jelikož je PTFE polymer, jeho výroba probíhá podobně jako u jiných polymerů nejprve tvorbou monomeru (základní látka) a poté pomocí polymerizace dochází k tvorbě dlouhých řetězců daného monomeru. V tomto případě se jedná o TFE monomer, jehož výroba společně s následnou polymerizací je popsána v publikaci 3M Dyneon Fluoropolymers PTFE Handbook. [14]



Obr. 9 Schéma rozdělení typů surového PTFE [8]

### 3.4.2 Vybrané vlastnosti PTFE

PTFE materiál má mnoho vlastností, a tedy široké spektrum využití. Níže jsou uvedeny vlastnosti, které jsou důležité ve spojení s aplikací PTFE v termostatu. Všechny ostatní vlastnosti a podrobnější informace, včetně grafické interpretace lze nalézt v [14].

#### Tepelné vlastnosti

- rozsah pracovních teplot od  $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $260\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,
- v rozsahu teplot nedochází k výrazným změnám vlastností,
- teplotní roztažnost při maximálních teplotách dosahuje přibližně 7 %.

#### Mechanické vlastnosti

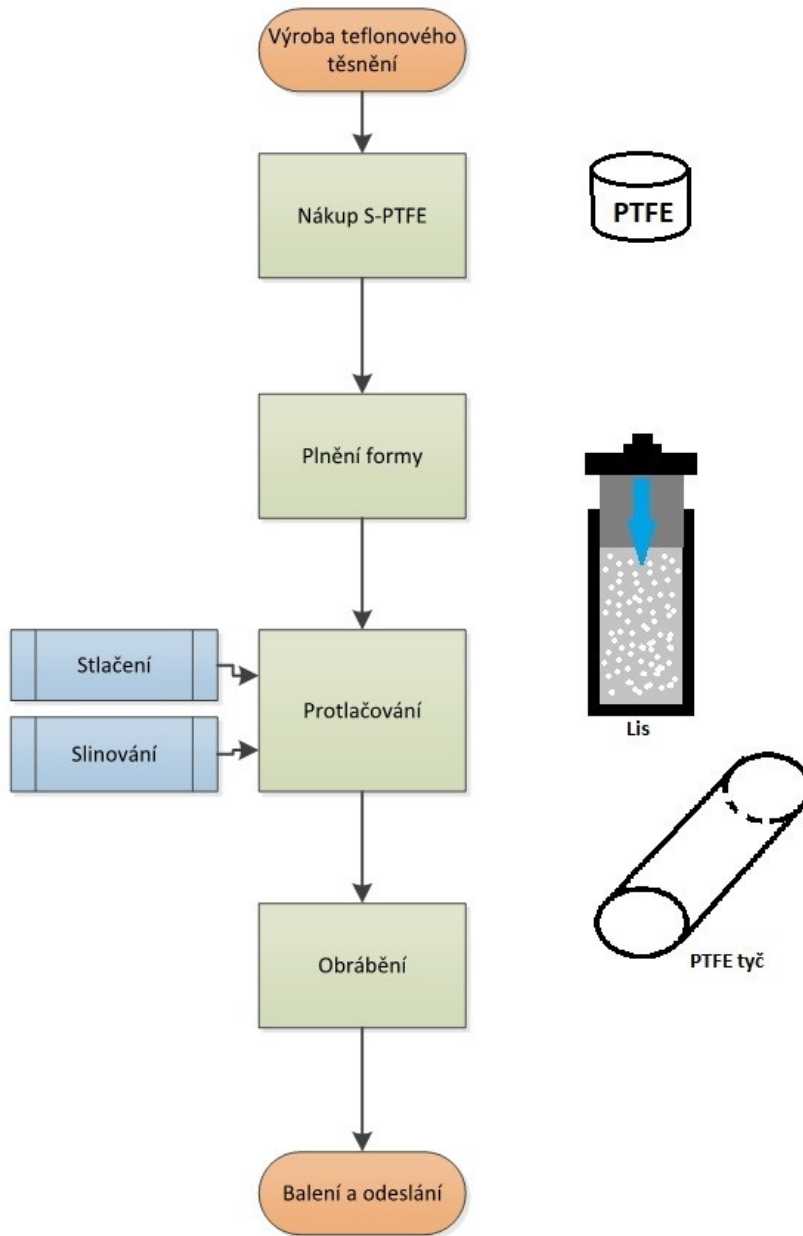
- materiál se deformuje pod dlouhodobým zatížením,
- odolnost vůči mechanickému zatížení, nedochází k lomům,
- stlačení maximálně 4 % při zatížení 5 MPa po 10000 hodinách při  $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,
- nízká odolnost vůči opotřebování mechanickými částicemi.

#### Chování při styku s látkami

- minimální absorpce vody za stálých podmínek,
- univerzální odolnost vůči různým chemikáliím,
- nedochází k nabobtnání nebo rozleptání materiálu při působení chemikálií (mimo rozpouštědla na fluorové bázi).

### 3.4.3 Technologie výroby teflonového těsnění

Výroba teflonového těsnění začíná nákupem granulového formovacího prášku S-PTFE. Následně je nutné z tohoto prášku vyrobit PTFE tyč, ze které jsou obráběcí technologií tvořeny jednotlivé teflonové kroužky. Proces je znázorněn na obrázku 10. [14,15]



Obr. 10 Proces výroby teflonového těsnění [14,15]

## 4 PROCES ZKOUŠENÍ VENTILU VE VÝROBĚ

Při výrobě termostatu je nutné ověřovat jednotlivé parametry dané výkresem, který vytvořili konstruktéři. V automobilovém průmyslu se jedná zejména o tzv. SC parametry. Tyto parametry mají přímý vliv na výslednou funkci daného výrobku ve spojení s jeho užitím v sestavě automobilu, v našem případě motoru. V případě kulového ventilu nejsou předepsány žádné SC parametry výrobcem, z tohoto důvodu byly projektovým týmem vybrány rozměry, které mají přímou souvislost s funkcí termostatu, a které budou měřeny.

Stěžejní norma automobilového průmyslu IATF 16949 uvádí v kapitole 9.1 nutnost využívat statistické metody řízení procesů (SPC) [16]. Vzhledem k povaze průmyslu, který se zaměřuje na velké množství vyrobených dílů v krátkém čase, není možné měřit každý díl, pokud to v některých případech neumožňuje automatická kontrola kamerovými systémy.

V případě kulového elementu tedy bylo rozhodnuto, že se budou měřit 3 kusy na začátku produkce. Tedy při tzv. rozjezdu stroje<sup>12</sup>. Dále se pak budou měřit 3 kusy každých 12 hodin. Z těchto měření je později možné vytvořit regulační diagramy, z nichž se dají vyčíst změny nebo problémy v procesu výroby. Pro teflonové těsnění byly specifikovány rozměry, které se ověřují na vstupní kontrole po příjmu zboží zaslaného od dodavatele.

V podkapitole 4.3 je pojednáno o zavedených způsobech kontroly dílů a jsou navrženy nové způsoby jejich kontroly.

### 4.1 Zkoušení kulového elementu

Kulový element, kterým se tato diplomová práce mimo jiné zabývá je velmi složitý vstříkovaný plastový výrobek. Je definován jako dvě sféry spojené dohromady, každá z těchto sfér má svůj určený poloměr s příslušnou tolerancí.

Aby bylo možno tento výrobek jednoduše a rychle kontrolovat, byl pro tento účel vytvořen speciální měřicí přípravek obsahující digitální snímače METRO (6 poloh) s příslušným interface pro zobrazování měřených hodnot. Dále byl dle modelu vyroben kovový kalibr z titanu, který slouží k nastavení nulové hodnoty na měřicím přípravku. Tento kalibr je na obrázku 11.

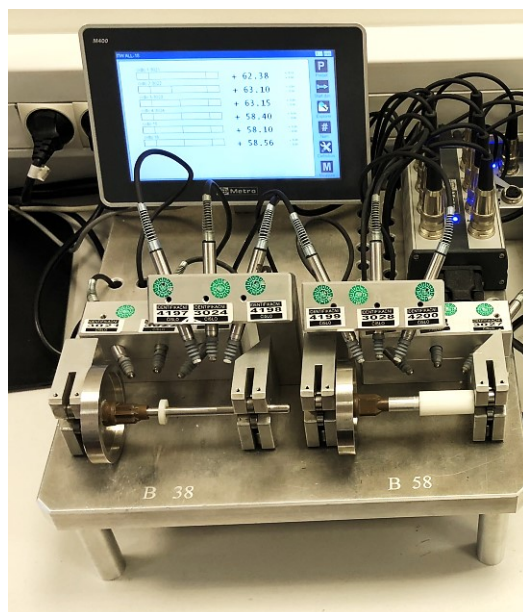


Obr. 11 Titanový kalibr pro seřízení měřicího přípravku

<sup>12</sup> Rozjezd stroje znamená vyčištění šneku, nasazení formy, její nahřátí na produkční teplotu a následně po nastavení parametrů zahájení produkce dílců

Do přípravku, který lze vidět na obrázku 12, je poté vložen vylišovaný produkt a na barevném displeji je uživateli zobrazeno, jestli se jednotlivé rozměry nachází v tolerancích, nebo ne. S kulovým elementem je nutno otočit o 360° kolem jeho osy a sledovat průběh hodnot. Shodný kus je vyhodnocen v tom případě, že se všechny hodnoty nachází uvnitř tolerančního pole.

Kalibrace tohoto přístroje je zajištěna kalibrací jednotlivých snímačů. Jeho slabinou je, že nejsou určeny nejistoty měření, a tedy může v některých případech dojít k uvolnění neshodného výrobku do produkce. To může mít v krajních případech za následek neshodný produkt odeslaný k zákazníkovi a následné finanční zatížení firmy spojené s jeho reklamací.

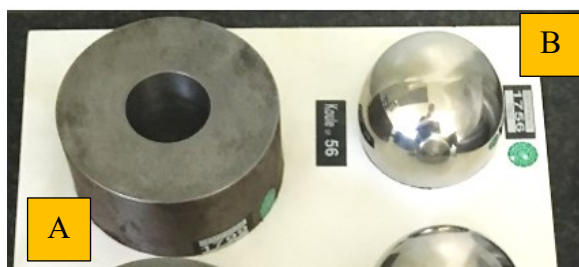


Obr. 12 Přípravek pro kontrolu kulového elementu

## 4.2 Zkoušení teflonového těsnění

Jelikož je teflonové těsnění nakupovaný výrobek, jeho kvalitu, zejména pak shodu rozměrů s výkresem má na starosti dodavatel. V minulosti se vyskytly problémy s dodávkami tohoto komponentu v souvislosti s jeho rozměry, a tak byla stanovena vstupní kontrola. Ta má za úkol ověřit některé parametry výrobku, které mají souvislost s funkcí celé sestavy. Jedná se zejména o tloušťku, vnější průměr a rádius dílu.

K měření vnějšího průměru dílu je využíváno digitální posuvné měřidlo výrobce Mitutoyo s rozlišitelností 0,01 mm, více informací lze najít na webové stránce výrobce [17]. Pro kontrolu tloušťky je využíván digitální třmenový mikrometr Mitutoyo o rozsahu 0-25 mm a rozlišitelností 0,001 mm [18]. Rádius je kontrolován pomocí kovové základny, do kterého se těsnění umístí a kontrolní koule, která je vyrobena přesně dle průměru kulového elementu, oba předměty jsou zobrazeny na obrázku 13. Na výkresu teflonového těsnění je uvedena výška této kovové koule umístěné na těsnění. Tento komplet je měřen pomocí výškoměru TESA-HITE Plus M 700 o rozsahu 705 mm [19], který se nuluje na kovovou základnu, jak ukazuje obrázek 14.



Obr. 13 Nástroje pro měření teflonového těsnění (A) kovová základna a (B) kontrolní koule

Během měření je hledán nejvyšší bod na kovové kouli, následně je vyhodnocena vzdálenost mezi základnou a tímto bodem a výsledek je zapsán do software CAQ [20], který firma využívá k statistické regulaci procesů.



Obr. 14 Měření teflonového těsnění

### 4.3 Reflexe k procesu zkoušení komponent ve výrobě

Nynější kontrola kulového ventilu a teflonového těsnění není dostatečně účinná, a to ze dvou důvodů:

- kontrola kulového elementu není dostatečně robustní, jelikož zahrnuje pouze malé části celkové funkční plochy,
- při kontrole teflonového těsnění není brána v potaz textura povrchu, která může mít vliv na problémy s celou sestavou.

Tyto problémy mohou vést k zvýšené produkci neshodných výrobků a z toho poté plynou rostoucí náklady na produkt. Analýze a návrhu zlepšení se věnují následující kapitoly.

# 5 ANALÝZA VYBRANÝCH PARAMETRŮ VENTILU S DŮRAZEM NA TEXTURU FUNKČNÍCH POVRCHŮ

Tato kapitola je stěžejní částí celé diplomové práce. Na následujících stranách je pojednáno o analýze jednotlivých komponent kulového ventilu. Z předchozí kapitoly vyplývá, že je nutné navrhnout nové metody kontroly těchto komponent, z důvodu lepšího vyhodnocení jejich shody s důležitými výkresovými hodnotami (kulový element), případně kontrolu zcela nových parametrů (teflonové těsnění). V první podkapitole je řešena problematika kulového elementu a druhá podkapitola se zabývá analýzou textury povrchu teflonového těsnění.

## 5.1 Návrh nového způsobu kontroly kulového elementu

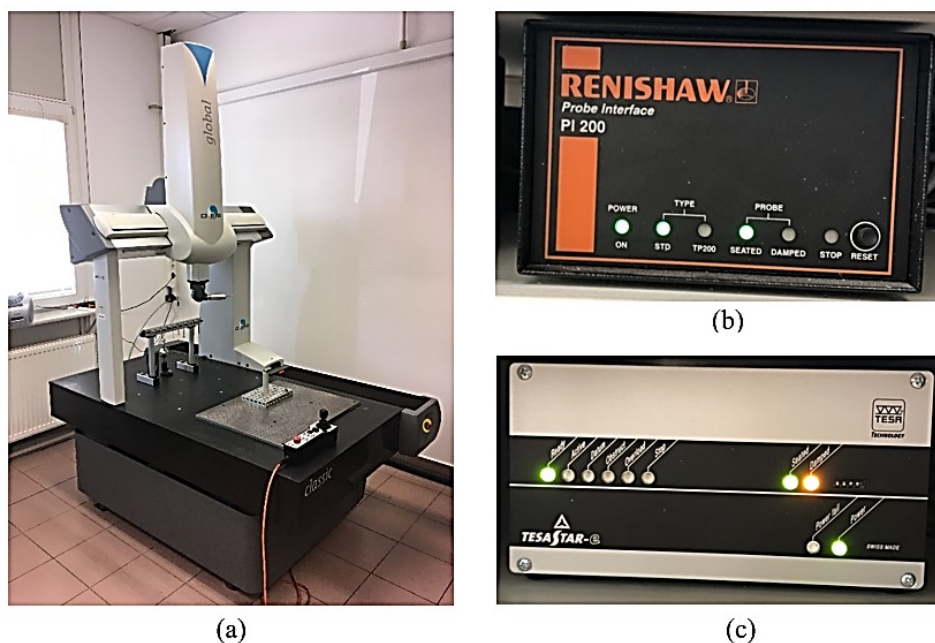
Vzhledem k náročnosti porovnání povrchu kulového elementu s 3D modelem bylo rozhodnuto využít nejpokročilejší měřicí zařízení, kterým firma disponuje. Tímto zařízením je portálový souřadnicový měřicí přístroj Global Classic 07.10.05 výrobce Hexagon Metrology S.p.A. [21]. Přístroj je osazen snímací hlavou TesaStar-m výrobce TESA SA a výrobcem doteků je společnost Renishaw. Dotyková sonda byla dříve dodávána společností Leitz, po akvizici je dodávána pod značkou HEXAGON s označením HP-S-X1S. Vybrané parametry přístroje jsou vypsány v tabulce 8 a jejich zdroj lze nalézt na webové stránce [22].

Některé parametry nebylo možné jednoduše dohledat v dokumentaci k přístroji, bylo tedy nutné se spojit se zástupcem výrobce zařízení a tyto parametry konzultovat. Jednalo se zejména o rozlišitelnost přístroje. V dokumentaci je uvedena rozlišitelnost systému 0,039  $\mu\text{m}$ . Tato hodnota však nebyla shledána jako věrohodná pro zařízení v cenové kategorii do pěti milionů korun. Po telefonické a e-mailové konzultaci s panem Lukášem Wludykou, bylo zjištěno, že tato rozlišitelnost se týká lineárních stupnic pro vyhodnocování os x, y a z. Softwarová rozlišitelnost systému je dle pana Wludyky neomezená, záleží pouze na nastavení daného SW. Výsledná rozlišitelnost přístroje je závislá na použité dotykové sondě.

Tab. 8 Vybrané parametry měřicího přístroje [22]

Parametry přístroje	
Rozsah měřicího prostoru	700 x 1000 x 500 mm
Mezní chyba	$MPE = 1,9 + 3,3 * L/1000 \mu\text{m}$
Maximální rychlost posuvu	516 mm/s
Maximální zrychlení	1700 mm/s <sup>2</sup>
Maximální skenovací rychlost	300 mm/s
Opakovatelnost polohování hlavy	0,5 $\mu\text{m}$
Rozlišitelnost sondy	0,1 $\mu\text{m}$
Rozsah teplot garantujících výkon přístroje	16 – 26 °C (klimatizovaná místnost)
Maximální užitný rozsah teplot	10 – 45 °C
Dovolený rozsah vlhkosti	20 % - 90 % bez kondenzace
Rovinnost granitové desky	Dle DIN 876/III
Měřicí systém	Lineární stupnice METALLUR®

Interface pro dotykové sondy je Renishaw Probe Interface PI 200. Software pro ovládání celého systému je PC-DMIS, který dodává výrobce měřicího zařízení Hexagon. Zařízení jsou zobrazena na obrázku 15 níže.



Obr. 15 Měřicí zařízení (a) CMM Global Clasic, (b) ovládání sond Renishaw a (c) ovládání snímací hlavy

### 5.1.1 Sběr vzorků pro měření

Aby bylo možné provést měření a následnou analýzu výsledků, bylo nutné posbírat vzorky, na kterých bude měření provedeno. Bylo rozhodnuto jednotlivé vzorky sbírat v 8:00, 12:00 a 15:00. Jelikož firma disponuje dvěma nástroji pro výrobu těchto výlisků (forma II a forma III), byla za účelem evidence nasbíraných kusů vytvořena jednoduchá tabulka. Tato tabulka obsahuje informace o formě, datumu a času odebrání vzorku a také informace o problémech, ke kterým na formách docházelo. Během sběru bylo nutné formy několikrát odstavit a provést opravu. Z důvodu oprav a prostojů nebylo možné nasbírat všechny vzorky, se kterými bylo při konceptu počítáno. Pro formu II bylo nasbíráno 35 vzorků a pro formu III 24 vzorků. Vizualizaci sběru vzorků popisuje tabulka 9. Červená políčka indikují zásah do formy.

Tab. 9 Sběr vzorků k měření

Datum	Forma III			Forma II			Datum	Forma III			Forma II		
	8:00	12:00	15:00	8:00	12:00	15:00		8:00	12:00	15:00	8:00	12:00	15:00
08.01.2019	1	2	3				21.01.2019	32	34	36	33	35	37
09.01.2019	4		7	5	6	8	22.01.2019	38	40	42	39	41	43
10.01.2019	9		12	10	11	13	23.01.2019				44	45	46
11.01.2019							24.01.2019	47	49		48	50	
14.01.2019	14	15	16				25.01.2019						
15.01.2019							28.01.2019				51	52	53
16.01.2019				17	18	19	29.01.2019				54	55	56
17.01.2019	20	23	24	21	22	25	30.01.2019				57	58	59
18.01.2019	26	28	30	27	29	31	31.01.2019						

K zásahu do formy muselo dojít z několika důvodů:

- zatékání vody z chladicích okruhů do formy,
- čištění vtoků,
- mastný povrch vylisovaného kusu.

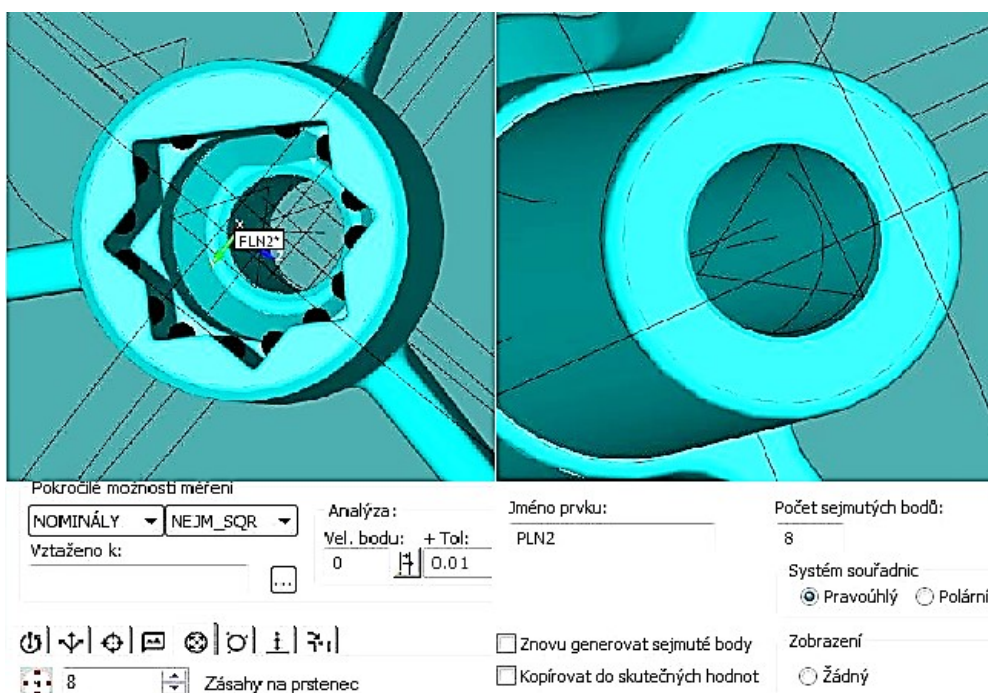
Tyto problémy nejsou zcela běžné, v tomto případě se však jedná o velmi složité formy a dochází zde k častějším odstávkám výroby. Některé problémy jsou také zaznamenány v tabulce 7 na stranách 32-34.

### 5.1.2 Tvorba programu pro měření

Aby bylo možné provést měření, bylo třeba nejdříve definovat měřené parametry a poté vytvořit program, podle kterého bude měřicí přístroj postupovat. Program byl vytvořen za asistence vedoucího měřicí laboratoře firmy ITW.

Jako základ byl použit model dílu, který byl nahrán do SW pro tvorbu měřicího programu PC-DMIS. Následně byl vytvořen souřadný systém, dle kterého bude při měření možné kompenzovat lehké natočení nebo posunutí měřeného kusu. Tento souřadný systém definuje umístění kulového elementu v pracovním prostoru zařízení. Orientace měřeného kusu je založena na přesné definici natočení „hvězdičky“ výrobku, a dále pak porovnáním rovinností čelních ploch osy procházející kulovým elementem.

Pro určení orientace „hvězdičky“ je naprogramováno snímání čtrnácti bodů a rovina čelní stěny pak osmi body (16 a). Pro definování roviny opačné strany středu kulového elementu je snímáno také 8 bodů dle obrázku 16 b), tyto body nebylo možné zobrazit, avšak rovina je v SW zobrazena jako trojúhelník.



Obr. 16 Určení orientace "hvězdičky" a natočení kulového elementu

Po definování souřadného systému měřeného kusu bylo přistoupeno k definování konkrétních bodů na povrchu kulového elementu, které bude přístroj snímat. Kus byl rozdělen na dvě podsestavy označené jako „velká koule“, (dále VK) a „malá koule“, (dále MK). MK byla definována 54 měřenými body a VK 59 měřenými body. Tyto body byly rozmístěny po povrchu tak, aby pokryly značnou část dílce a bylo umožněno vytvořit si dostatečnou představu o odchylkách povrchu skutečného výrobku oproti modelu.

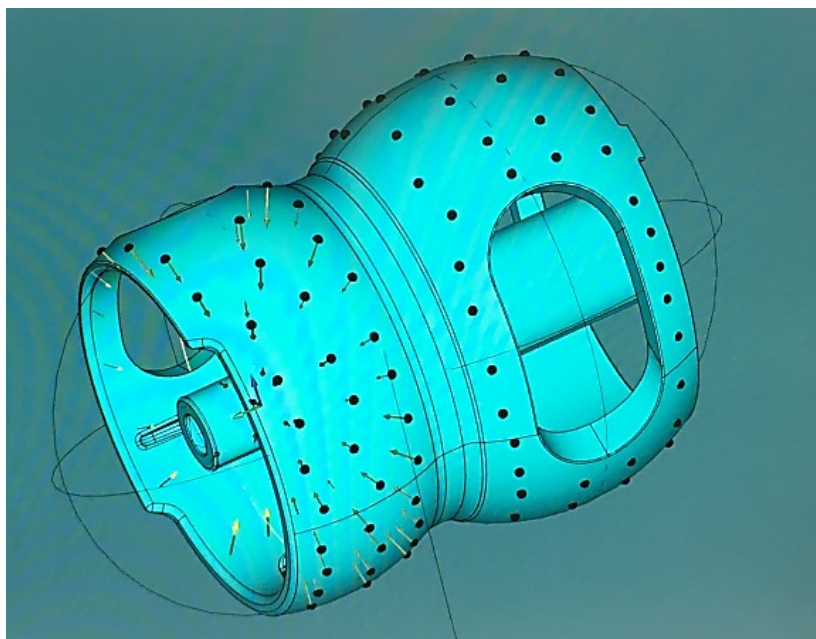
Pro fyzické měření kusu bylo stěžejní naprogramovat posuny a rotace měřicího ramena mezi jednotlivými body s důrazem na problematiku nárazu do měřicího přípravku nebo měřeného dílu. K tomuto účelu velmi dobře posloužilo joystickové ovládání souřadnicového měřicího přístroje, jelikož jeho kontrolní SW umožňuje zaznamenat dráhu posunu. Pro určení jednotlivých posunů bylo nutné fyzicky posouvat ramenem přístroje a tyto posuny zaznamenávat ve formě souřadnic do programu pro měření dílu.

Další částí bylo programování výměny dotykové sondy. Pro definování souřadného systému byl použit dotek RENISHAW A-5003-0033 s průměrem kuličky 1 mm a pro měření povrchu dílu dotek RENISHAW A-5000-3603 s průměrem kuličky 2 mm [23]. Výměna měřicích sond je naprogramována funkcí v měřicím SW. Jediná podmínka pro správné provedení této funkce byla, aby rameno přístroje bylo mimo dosah měřeného kusu a nemohlo dojít k jeho kolizi, což by znamenalo nutnost opětovné kalibrace celého přístroje.

Následným krokem bylo definování vyhodnocení měřených hodnot. Tento krok byl velmi důležitý, jelikož určuje, jaký význam jednotlivé naměřené hodnoty představují. Ve studii kulového elementu byl zvolen rozdíl modelového povrchu, který se nachází na nominále a měřeného povrchu. Tento rozdíl je definován na spojnici středu teoretické koule s měřeným bodem, jak přibližuje obrázek 17. Výsledkem je tedy porovnání, jestli je každý měřený bod blíže nebo dále středu definované koule, než je nominální hodnota modelu.

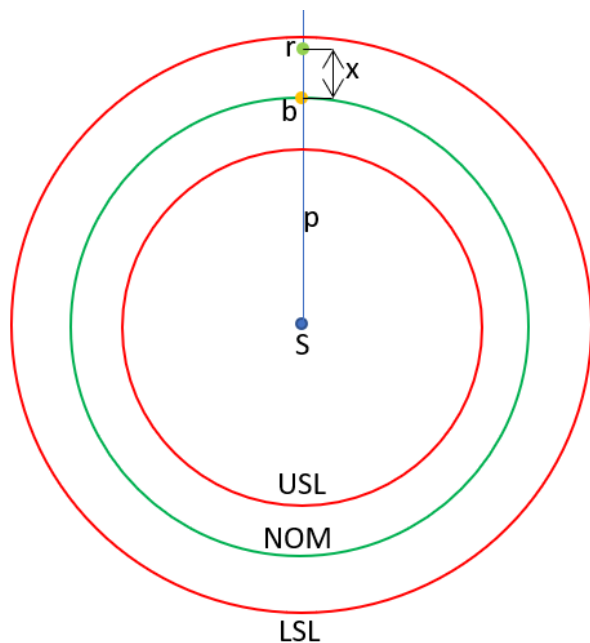
Rozměrové tolerance byly převzaty z výkresu, kde jsou definované následovně:

- VK R = 32 mm **+0,25 mm** /- **0,15 mm**,
- MK R = 29,5 mm +/- **0,15 mm**.



Obr. 17 Zobrazení měřeného modelu v ovládacím software měřicího zařízení

Pro vytvoření lepší představy o vyhodnocení naměřených hodnot je na obrázku 18 případ vizualizován pro jeden bod ve dvojrozměrném prostoru. Místo koule se tedy jedná o kružnici. Zelená kružnice s označením NOM představuje nominální hodnotu a zároveň také povrch modelu. Červené kružnice USL a LSL zobrazují horní a dolní toleranci odchyly od nominální hodnoty. Proložení bodů  $S$ ,  $b$  a  $r$  přímkou  $p$  je možné vyjádřit vzdálenost  $x$  mezi body  $b$  a  $r$ . Tato vzdálenost určuje odchylku skutečného bodu  $r$  měřeného na reálném kusu od teoretického bodu  $b$  umístěného na povrchu modelu.



Obr. 18 Vizualizace vyhodnocení měřených hodnot na dvojrozměrném modelu

### 5.1.3 Měření dílů

Samotné měření probíhalo v prostorách měřicí laboratoře společnosti ITW ve Velké Bíteši. Pro kontrolu parametrů prostředí byl použit přístroj COMET, který zaznamenává hodnoty vlhkosti vzduchu, tlaku a teploty. Během měření se hodnoty pohybovaly na teplotě  $(22 \pm 0,5)$  °C, tlak vzduchu od 955 hPa do 960 hPa a vlhkost vzduchu činila přibližně 38 %. Přístroj je zobrazen na obrázku 19.

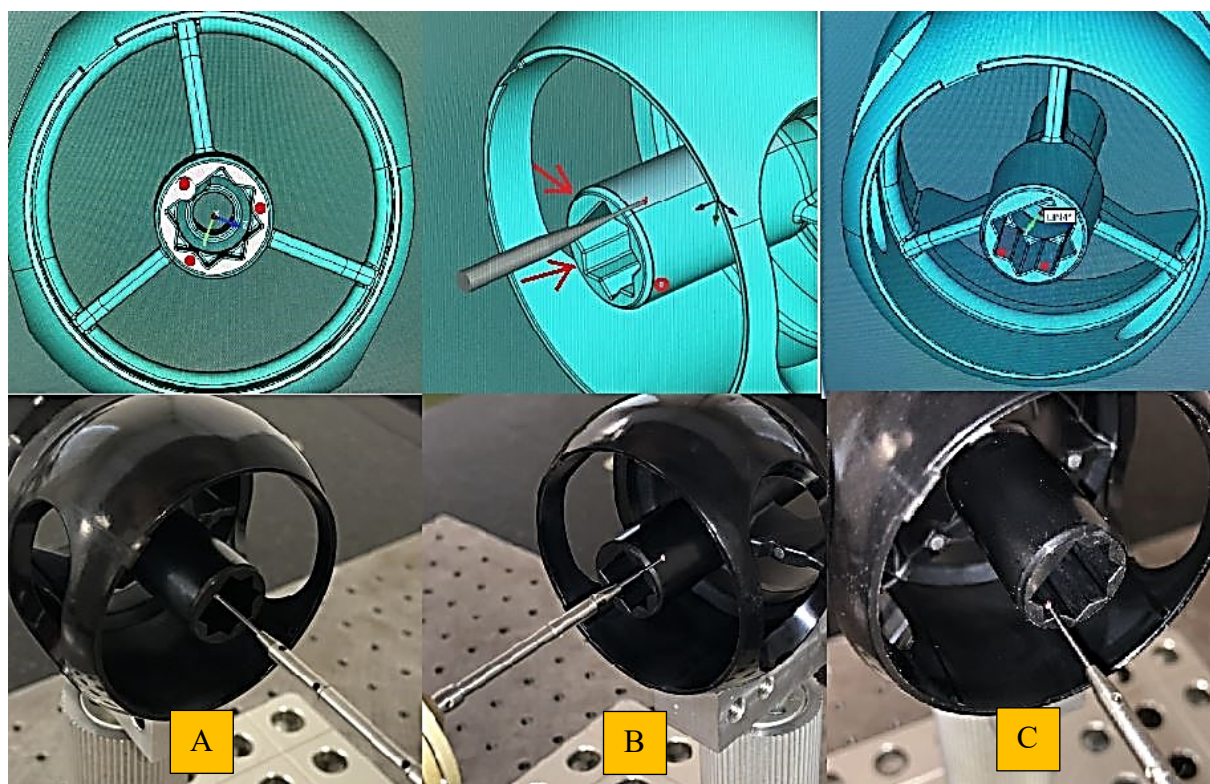


Obr. 19 Přístroj pro kontrolu parametrů prostředí

Měřené kusy byly temperovány po dobu minimálně 20 hodin v prostředí laboratoře, z důvodu vyrovnání napěťových sil v jejich struktuře a také minimalizování teplotní roztažnosti.

Pro upnutí měřeného kusu do prostoru zařízení byl využit k tomuto účelu navržený přípravek. Ten se skládá ze stavebnicových částí dodávaných spolu s přístrojem a dále pak na míru vyrobené hliníkové kostky. Tato kostka je umístěna na vrcholu přípravku a umožňuje vyrovnání kulového elementu rovnoběžně s podstavou měřicího prostoru přístroje. Měřený kus byl následně připevněn na přípravek pomocí rychleschnoucího lepidla LOEXEAL IST 43S, přičemž bylo důležité dodržet správnou polohu natočení „hvězdičky“. Po přilepení kusu bylo třeba vyčkat alespoň 5 minut pro úplné zaschnutí lepidla.

Jakmile byl kus upnutý na přípravku, bylo možné spustit program měření. Operátor zařízení byl automaticky vyzván programem, aby přes ovládací joystick zaznamenal požadované body na povrchu měřeného kusu. Tyto body následně definují kus a bylo možné program přepnout do automatického režimu, kdy došlo k změření celého dílce. Na obrázku 20 jsou zobrazeny jednotlivé body, které bylo nutné na začátku měření zaznamenat. V levé části se jedná o definování čelní roviny středu dílu pomocí tří bodů, v prostřední části se jedná o definování válce středu pomocí čtyř bodů a následně natočení „hvězdičky“ pomocí dvou bodů.



Obr. 20 Snímání základních bodů před startem automatického měření (A) čelní rovina, (B) středový válec a (C) natočení „hvězdičky“

Měření jednoho kusu včetně očištění přípravku, jeho upnutí, stanovení základních bodů a automatického měření trvalo přibližně 35 minut. Z tohoto důvodu byly kusy měřeny v několika etapách, vždy 10 kusů v každé z těchto etap. Celkový čas měření tedy činil přibližně 35 hodin čistého času. Delší čas měření byl zejména způsoben nastavení rychlosti posuvů a snímání.

Výstupem měření každého kusu je tabulkový soubor, jehož příklad lze nalézt jako přílohu A k této práci. Všechny údaje jsou uvedeny v elektronické verzi (a na CD).

### 5.1.4 Vyhodnocení naměřených hodnot

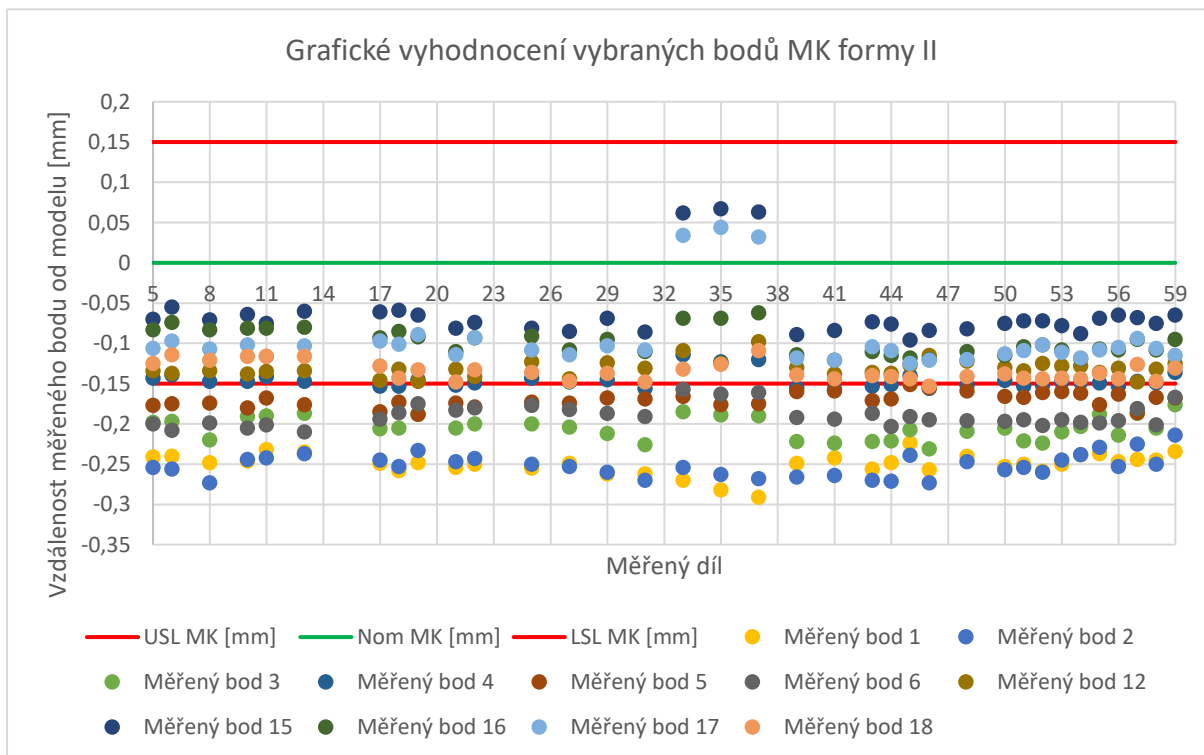
K vyhodnocení měřených hodnot byly údaje z jednotlivých měřicích protokolů zkopírovány do jednoho souboru MS Excel. Jednotlivé hodnoty byly rozděleny dle formy a typu koule. Soubor tedy obsahuje čtyři listy: Forma II MK, Forma III MK, Forma II VK a forma III VK.

V příloze B, C, D a E se nachází v horní části tabulky jednotlivé limity pro dané prvky, jejich výčet a popis se nachází v tabulce 13. Vyhodnocení pokračuje jednotlivými naměřenými body, přičemž bylo využito funkce podmíněné formátování a tyto body byly graficky vyhodnoceny.

Tab. 9 Legenda k vyhodnocení v MS Excel

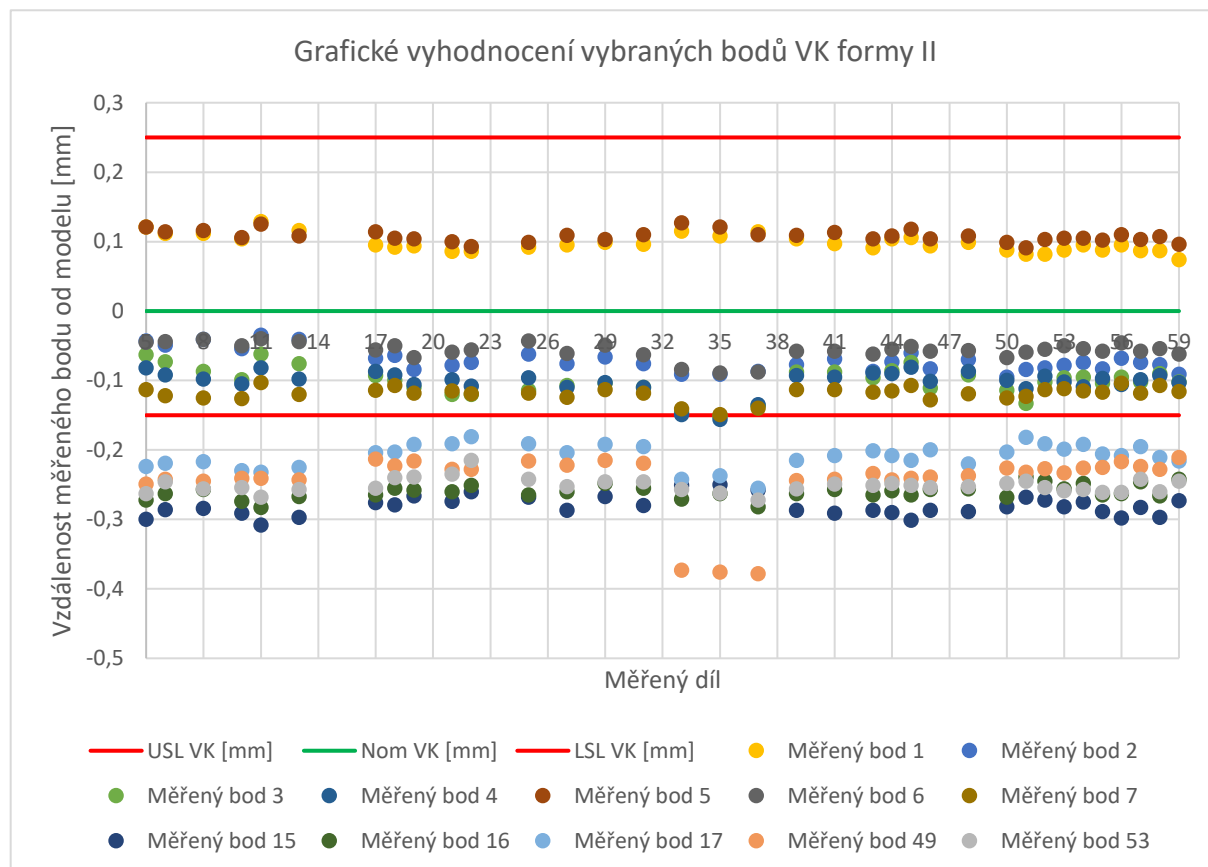
Označení	Legenda
USL MK/VK	Horní tolerance
Nom MK/VK	Nominální hodnota
LSL MK/VK	Dolní tolerance
Zelená barva	Hodnoty mezi USL a LSL
Červená barva	Hodnoty mimo toleranci

Z výsledného porovnání lze vidět, že během měření nebyly detekovány body, které by přesahovaly hranici horní tolerance. Naměřené hodnoty malých koulí se však velmi často nachází pod spodní hranicí tolerance. Naproti tomu naměřené hodnoty velkých koulí se ve většině případů nachází v tolerančních mezích. Vybrané měřené hodnoty se nachází v grafech na obrázcích 23-26.

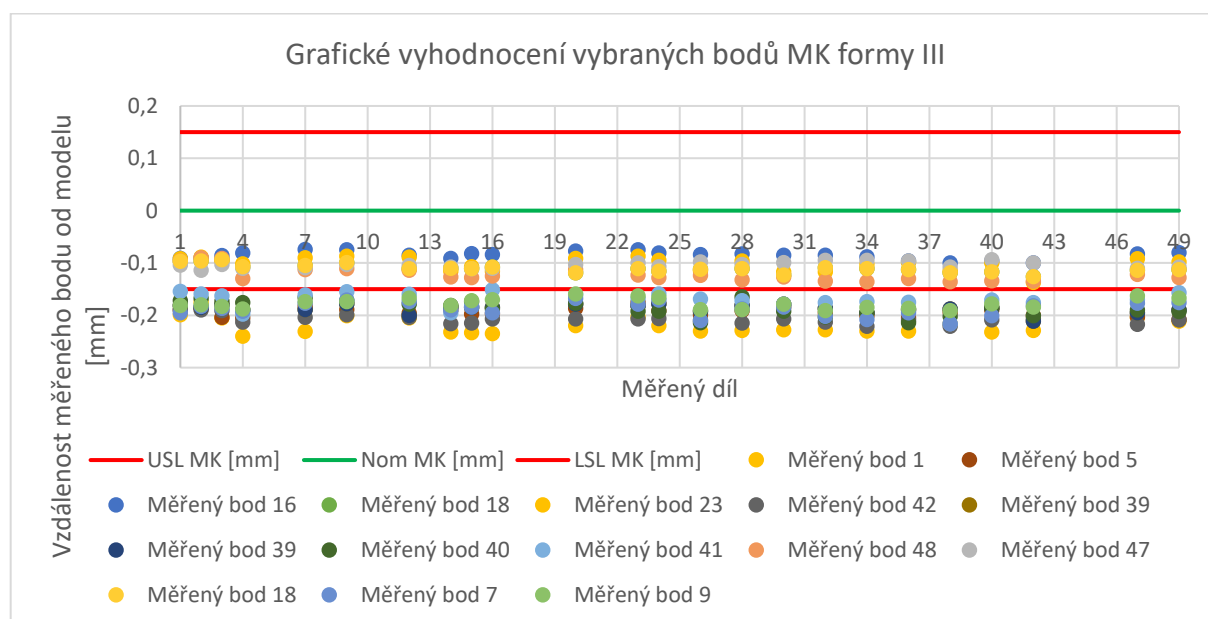


Obr. 21 Grafické vyhodnocení vybraných bodů MK formy II

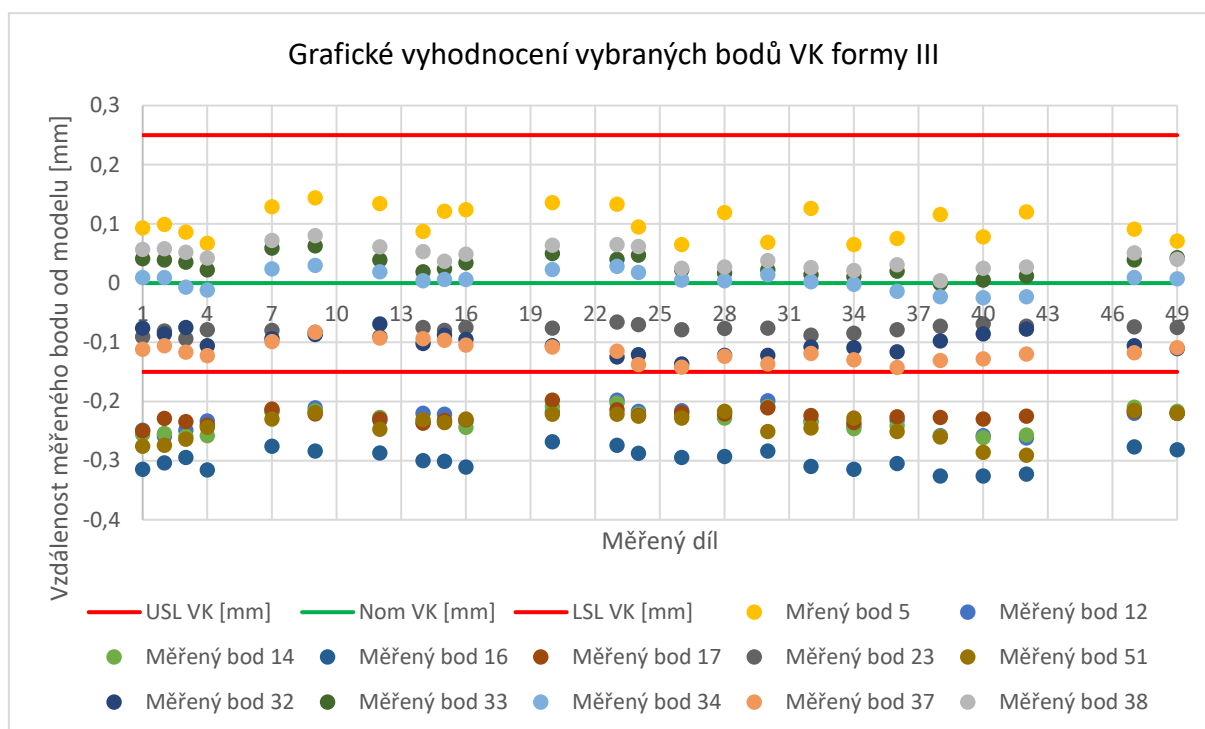
Během měření kulového elementu z formy číslo II se vyskytly anomálie na kusech 33, 35 a 37. Tyto anomálie přisuzují najetí měřicího dotyku na dělicí rovinu kusu a z tohoto důvodu jsou hodnoty vyšší, případně nižší, pokud se měřicí dotyk dostal těsně k dělicí rovině ale ne přesně na ni. V tomto místě totiž dochází ke stažení plastu během tuhnutí, případně se zde může nacházet mírný přesah jedné poloviny formy oproti druhé.



Obr. 22 Grafické vyhodnocení vybraných bodů VK formy II



Obr. 23 Grafické vyhodnocení vybraných bodů MK formy III



Obr. 24 Grafické vyhodnocení vybraných bodů VK formy III

Výsledky měření lze tedy shrnout tak, že obě formy produkují spíše menší kusy, než by bylo vhodné a nejproblematictější částí kusu je malá koule.

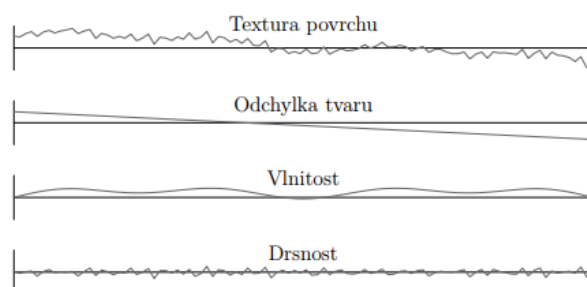
## 5.2 Analýza textury povrchu teflonového těsnění

V následujícím textu se věnuji analýze textury povrchu teflonového těsnění. Nejdříve seznamuji čtenáře s teoretickými základy měření drsnosti povrchu, dále popisují, jak jsem volil oblasti měření na jednotlivých kusech. Následující podkapitola popisuje a vizualizuje přípravek na upnutí kusů pod objektivem měřicího přístroje. Podkapitola 5.2.4 shrnuje veškeré provedené úkony během měření dílů a závěrečná podkapitola shrnuje získané výsledky.

### 5.2.1 Teoretický úvod do měření drsnosti povrchu

Jelikož následující kapitoly pojednávají o analýze textury povrchu, je vhodné připomenout některé základy a termíny z tohoto tématu.

Na úvod jsou shrnuty základní složky textury povrchu, ta se skládá z odchylky tvaru, vlnitosti a drsnosti, rozdělení je vizualizováno na obrázku 25. Dále zde také vstupují různé nedokonalosti povrchu, které mohou vzniknout využitím určité technologie výroby.[24]



Obr. 25 Textura povrchu a její složky [24]

Při filtrování výstupů analýzy textury povrchu se využívají označení pro daný typ profilu, jejichž shrnutí je v tabulce 14. Druh povrchu se ovšem nebere v potaz, pokud se jedná o plošné hodnocení, zde existuje pouze parametr S (případně V pro objemové parametry) a proto je důležité při hodnocení uvést podmínky filtrování s hodnotou daného parametru. [25]

Tab. 10 Značení parametrů textury povrchu

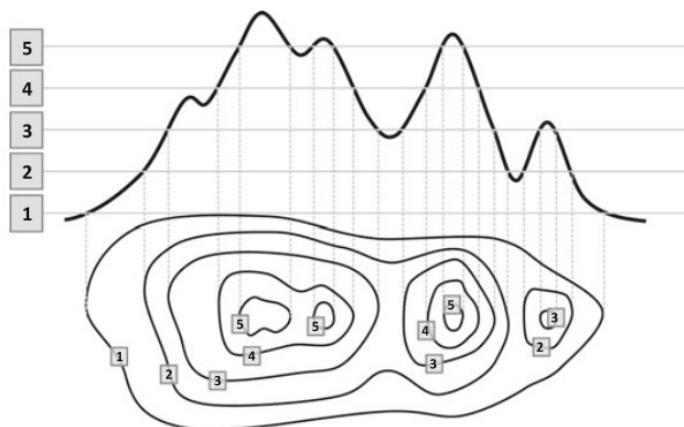
Typ	Označení parametrů	Příklad
Základní profil	P	Pa
Vlnitost	W	Wa
Drsnost	R	Ra, Rz
Plocha	S	Sa, Sz
Objem	V	Vmp, Vvc

Hodnocení textury povrchu se je možné rozdělit na profilové a plošné. Profilové se zabývá pouze jedním příčným řezem, plošné se naopak zabývá hodnocením celé snímané plochy.

Před samotným popisem jednotlivých parametrů je vhodné popsat některé topologické prvky, které se mohou vyskytovat na daném povrchu a které vstupují do hodnocení jednotlivých parametrů. Tyto prvky jsou také definovány v normě ISO 25178 část 2. [25]

### Vrstevnice – Contour lines

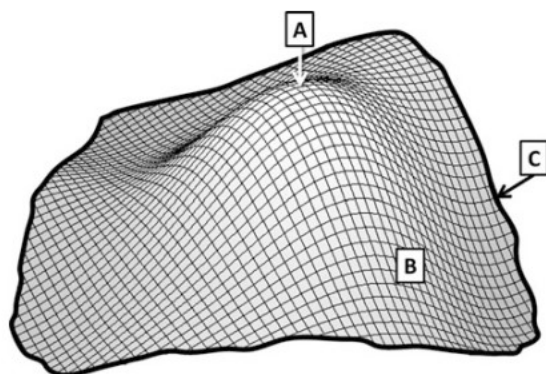
Vrstevnice jsou křivky, které na trojrozměrné topografii spojují body o stejné výšce, jak lze vidět na obrázku 26. Dle standardů je referenční povrch ve výšce nula a body se stejnou výškou od daného referenčního povrchu je možné graficky spojit pomocí křivek. Vrstevnice jsou praktický způsob, jak vyjádřit výšku stejně vysokých prvků na černobílé mapě povrchu. [25]



Obr. 26 Vizualizace vrstevnic [25]

### Vrch – Hill

Bod, který se nachází výše, než je okolí označujeme jako vrchol. Okolí vrcholu se označuje jako vrch. Každý vrch je ohraničen hraniční křivkou, která rozděluje jednotlivé vrchy od sebe. Ta je definována jako spojnice nejvzdálenějších bodů, které ještě patří k danému vrchu. Pojmy jsou zobrazeny na obrázku 27. [25]

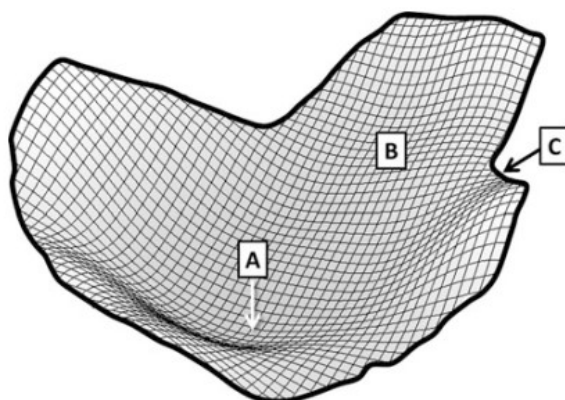


Obr. 27 Vizualizace vrcholu (A), vrchu (B) a hraniční křivky (C) [25]

Bod, který je nejvyšší na celé posuzované ploše se nazývá nejvyšší vrchol [26].

### Údolí – Dale

Bod, který se nachází níže, než jeho okolí se nazývá dno. Oblast, která jej obklopuje se nazývá údolí. Ta je definována všemi body, z nichž vedou spojnice do nejnižšího bodu (dna). Pokud z daného bodu vede spojnice do jiného dna, pak tento bod nepatří k tomuto údolí. Celou definici si lze představit jako kdybychom měli kuličku a položili ji na určitý bod a tato kulička se poté skutálela na dno prohlubně. Všechny body, ze kterých se kulička dostane do stejného dna jsou součástí údolí. Celou oblast údolí uzavírá hraniční křivka. Vizualizace se nachází na obrázku 28. [25]



Obr. 28 Vizualizace dna (A), údolí (B) a hraniční křivky (C) [19]

Nejnižší bod posuzované plochy se nazývá nejhlubší dno [25].

Nyní je možné popsat parametry textury povrchu, které jsem vzhledem k výstupům této práce vybral. Jedná se o parametry Sz, Sq, Sa. Pro pojmenování jednotlivých parametrů využívám terminologii, kterou navrhuje doc. Janových ve svých podkladech, jelikož lépe tyto parametry vystihuje [26].

### Průměrná aritmetická výška posuzovaného povrchu (S-F, S-L) Sa

Aritmetický průměr výšky omezené stupnice povrchu dle normy ČSN EN ISO 25178-2. Tato veličina je definována jako aritmetický průměr absolutních hodnot výšky jednotlivých bodů na posuzované oblasti dle rovnice (1) [25].

$$S_a = \frac{1}{A} \iint_A |z(x, y)| dx dy \quad (1)$$

A – plošný obsah posuzované plochy

### Průměrná kvadratická výška posuzovaného povrchu (S-F, S-L) Sq

Základ průměrné výšky čtvercem omezené stupnice povrchu dle normy ČSN EN ISO 25178-2. Tento parametr je definován jako kvadratický průměr hodnot všech výškových,  $z(x, y)$ , souřadnic posuzované plochy, jak popisuje rovnice (2) [25].

$$S_q = \sqrt{\frac{1}{A} \iint_A z(x, y) dx dy} \quad (2)$$

A – plošný obsah posuzované plochy

Parametry  $S_a$  a  $S_q$  spolu úzce souvisí. Parametr  $S_q$  má vyšší statistický význam a mnohdy má větší fyzický základ než  $S_a$ . Například je přímo spojen s energií povrchu a způsobem, kterým se od povrchu odráží světlo. [25]

### Maximální výška posuzovaného povrchu (S-F, S-L) Sz

Maximální výška omezené stupnice povrchu dle normy ČSN EN ISO 25178-2. K charakterizaci tohoto parametru je nutné znát dva další parametry, těmi jsou  $S_p$  a  $S_v$ .  $S_p$  je definován jako nejvyšší vrchol posuzované plochy a má vždy kladnou hodnotu a  $S_v$  jako nejhlubší dno posuzované plochy, přičemž má vždy zápornou hodnotu. Parametr  $S_z$  získáme součtem těchto dvou parametrů dle rovnice (3). [25]

$$S_z = S_p + |S_v| = S_p - S_v \quad (3)$$

Leach [25] dále uvádí, že parametry maximálních výšek by měly být užívány s obezřetností, jelikož jsou velmi náchylné na izolované vrcholy, které nemusí být významné. Parametr může být relevantní pro povrchy, na které byl aplikován filtr s dolní propustností. Tyto parametry také mohou pomoci v nalezení neobvyklých příznaků jako jsou otřepy na povrchu, které mohou identifikovat špatný materiál nebo jeho zpracování. [25]

### Analýza textury povrchu za využití optické metody

Stejně jako je hojně využívána dotyková metoda analýzy textury povrchu, je v moderní době pro jisté aplikace využívána také bezkontaktní metoda měření, která je založena na optice. Metoda měření stylusem poskytuje vysokou všestrannost, ale má také různé nevýhody. Výhody a nevýhody jsou shrnuty níže. [27]

Zápory:

- metoda měření je relativně pomalá,
- síla stylusu může v některých případech poškodit měřený povrch,

- omezení měřené oblasti.

Klady:

- umožňuje měřit širokou škálu tvarů,
- vysoké rozlišení ve vertikálním směru,
- vysoká prostorová šířka pásma.

Z důvodu nedostatků měření stylusem vznikly jiné metody, které umožňují se s některými nedostatky a obtížemi vyrovnat. Jedná se o optické, kapacitní a další metody. Tyto přístroje nemají za cíl zcela nahradit kontaktní měření ale toto měření doplnit v případech, kdy se nedá dotyková metoda využít. [27]

### Taylor Hobson Talysurf CCI Lite

Přístroj na obrázku 29 využívaný pro analýzu textury povrchu PTFE těsnění funguje na principu koherenčně rastrovací interferometrie. Přístroj samotný obsahuje 3 objektivy typu Mirau<sup>13</sup> se zvětšením 10x, 20x a 50x. Dále je jeho součástí měřicí stůl, který má elektrické posuvy v osách  $x$  a  $y$ . Stůl je také možné naklopit pod určitým úhlem. Vybrané parametry přístroje jsou v tabulce 10.



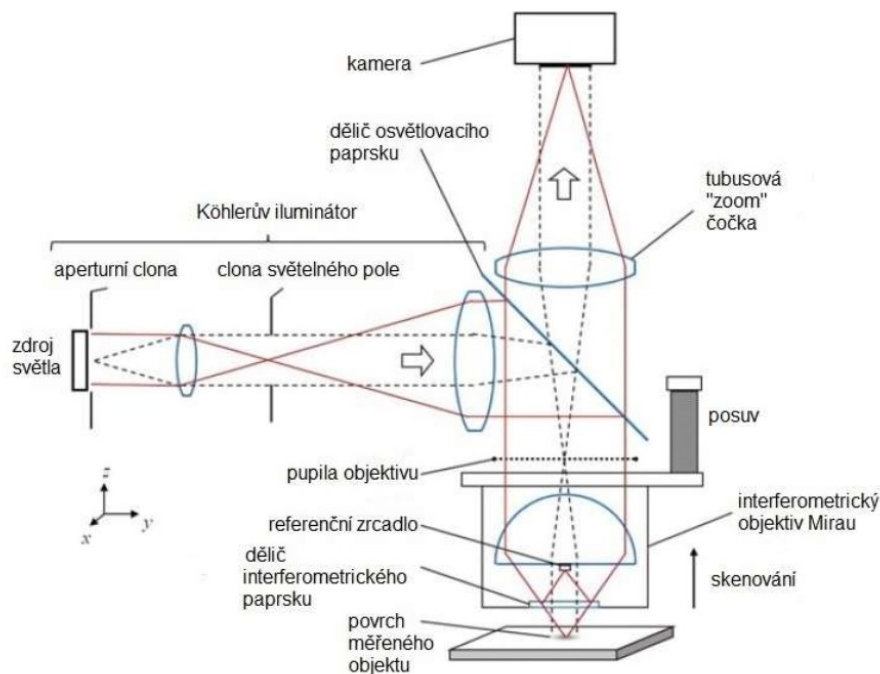
Obr. 29 Taylor Hobson Talysurf CCI Lite [24]

Tab. 11 Vybrané parametry přístroje Taylor Hobson Talysurf CCI Lite [28]

Parametry přístroje	
Vertikální rozsah (Z)	2,2 mm
Vertikální rozlišení	0,01 nm
Maximální měřená oblast (X, Y)	6,6 mm (>75mm X, Y při skládání oblastí)
Počet měřených bodů	1024 x 1024 standardně
Optické rozlišení (X, Y)	0,4 – 0,6 $\mu\text{m}$ (závislé na druhu povrchu)
Odrazivost povrchu	0,3% - 100%
Měřicí čas	5-40 sekund (typicky)

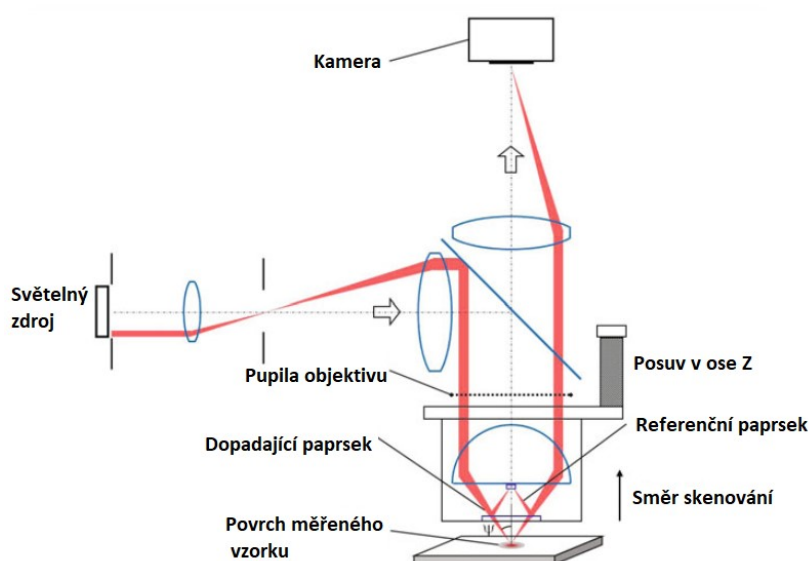
<sup>13</sup> Speciální optický vzorec pro dané využití, jehož koncept byl patentovaný André Henri Mirauem

Typické zařízení pracující na principu koherenčně rastrovací interferometrie se v základu skládá ze světelného zdroje, speciálního objektivu umožňujícího interferenci a digitálního senzoru. Mezi těmito prvky se nachází soustava čoček, zrcadel a clon určených k modulaci světelného paprsku. Na obrázku 30, který je převzatý z diplomové práce Ing. Magdy Špačkové jsou jednotlivé prvky popsány. [29,30]



Obr. 30 Typické rozložení prvků koherenčního rastrovacího interferometru [30]

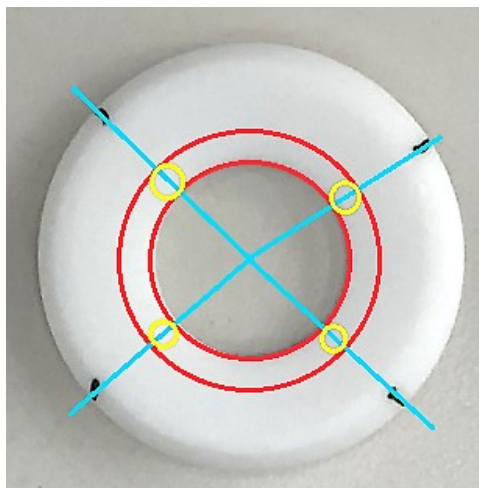
Světelný paprsek prochází zařízením od zdroje světla, následně pokračuje přes dělič osvětlovacího paprsku směrem k povrchu analyzovaného vzorku. V interferenčním objektivu (zde typ Mirau) je rozdělen pomocí děliče interferometrického paprsku. Jedna část paprsku je odražena o referenční zrcadlo a druhá o povrch vzorku. Následně se oba paprsky interferují a výsledný paprsek se dostává na senzor kamery. Proces je zobrazen na obrázku 31.[29]



Obr. 31 Trasa světelného paprsku sestavou přístroje [29]

### 5.2.2 Volba oblastí měření

Jako první krok pro analýzu textury povrchu bylo nutné stanovit, které oblasti měřených kusů se tato analýza bude týkat. PTFE těsnění má mnoho oblastí, nejdůležitější pro jeho správnou funkčnost je ovšem těsnicí oblast. Jedná se o velmi úzkou oblast na okraji vnitřního otvoru dílce, jejíž tvar je lehce zakřiven, aby mohla vhodně dosednout na kulový element a zajistit tak těsnost sestavy ventilu termostatu. Tato oblast je vizualizována na obrázku 32 v podobě červeného mezikruží.



Obr. 32 Definice těsnicí oblasti a měřených ploch

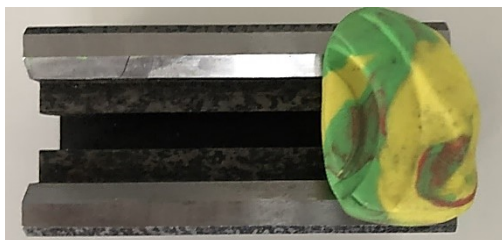
Jelikož je ale tato oblast s ohledem na měření v desetinách milimetru stále velmi rozsáhlá, bylo domluveno na každém kusu změřit 4 oblasti. Tyto oblasti byly vybrány s určitou pravidelností, aby bylo dosaženo většího pokrytí měřeného povrchu.

Pro jednodušší určení měřeného místa pod objektivem měřicího zařízení byly na kusech vyznačeny pomocí fixu čtyři body na jeho okraji a poté byla měřena oblast na spojnici tohoto bodu a středu teflonového těsnění, jak je vyznačeno žlutě na obrázku 32.

### 5.2.3 Přípravek pro měření

Upínání dílů pod objektiv měřicího přístroje bylo třeba vyřešit metodou, která by umožňovala podobné naklonění všech vzorků jednoho typu PTFE těsnění. První myšlenkou byl speciálně vyrobený přípravek pro každý typ těsnění, ten ale představoval finanční zatížení. Z tohoto důvodu byl zvolen jiný způsob upnutí dílu.

K tomu posloužila tvarovací hmota a kovový hranol, který byl k dispozici v měřicí laboratoři. Do této hmoty byl umístěn jeden z kusů, který byl zvolen pro účel správného nastavení náklonu. Měřený kus byl několikrát skenován a jeho náklon upravován, dokud nebylo dosaženo dostatečně vhodného výstupu měření.



Obr. 33 Upínací přípravek pro analýzu textury povrchu PTFE těsnění

## 5.2.4 Měření dílů

Jakmile byla zvolena místa pro analýzu a způsob, jak díl upnout v měřicím prostoru přístroje pro získání vhodných výsledků, mohlo být zahájeno měření jednotlivých dílů.

Jako první věc, kterou bylo nutno zkontrolovat, byl tlak ve vzduchových vacích přístroje, které pomáhají redukovat vibrace při měření. Zařízení má po stranách vyvedené vzduchové ventilký, ke kterým byla připevněna vzduchová pumpička a bylo ověřeno, zda je hodnota tlaku 20 PSI. V případě že nebyla, bylo nutné vak dofouknout. Kontrola je znázorněna na obrázku 34.



Obr. 34 Kontrola tlaku ve vzduchových vacích přístroje

Během měření byla monitorována teplota v laboratoři pomocí dvou teploměrů, která byla zapisována každých 60 minut. Zapsané hodnoty jsou v tabulce 12.

Tab. 12 Hodnoty teplot v laboratoři během měření

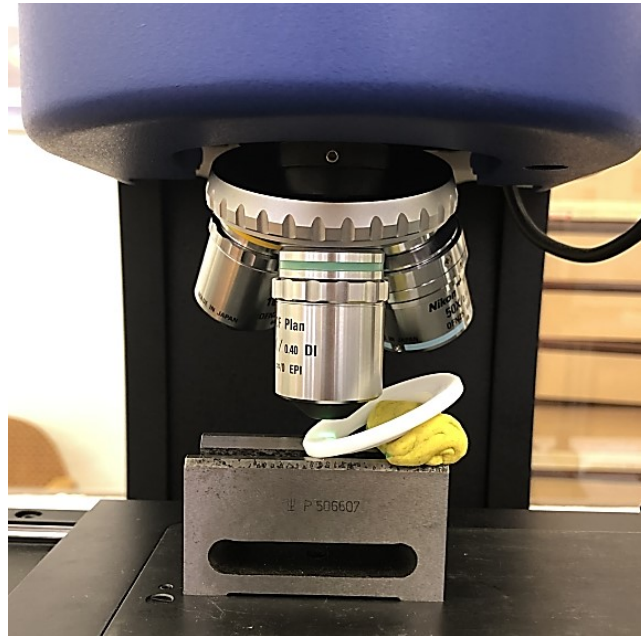
Datum	02.05.2019						06.05.2019		
Čas	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	16:30	17:30	18:30
Teploměr 1 [°C]	20,4	20,6	21,3	20,9	21,3	20,8	18,4	18,5	18,6
Teploměr 2 [°C]	20,3	20,5	21,4	21,1	21,1	20,9	18,3	18,5	18,7

Měření probíhalo v programu pro ovládání měřicího přístroje Talysurf CCI Lite, v němž byly postupně nastaveny parametry pro dané měření. Jako první věc bylo nutné nastavit spodní doraz osy Z, aby nemohlo dojít k poškození objektivu. Dále byl zvolen objektiv s přiblížením 20x, dle velikosti měřené oblasti.

Následně byly pomocí jednoho vzorku laděny vstupní parametry pro měření v programu TalyMap Gold, aby bylo možné následující měření opakovat pouhým otočením vzorku nebo jeho výměnou. Jednalo se o nastavení správné výšky objektivu od sledovaného objektu a intenzitu světelného zdroje. Největší problém byl zaznamenán u volby intenzity osvětlení. Postupně bylo testováno snímání vzorku s různou intenzitou osvětlení a následně zvolena intenzita, při které byl přístroj schopen zaznamenat největší počet měřených bodů. Tato hodnota činila 80 % celkového výkonu zdroje. Z tohoto lze usuzovat, že měřený materiál má schopnost částečně pohlcovat světlo, i když není zcela transparentní.

Po optimalizaci vstupních parametrů byla provedena jednotlivá měření. Díky přechodnému nastavení a upínacímu přípravku byla výměna měřených pozic a dílů velmi jednoduchá. Vizualizaci měření vzorku je možné vidět na obrázku 35.

Dne 2.5.2019 byly změřeny všechny vzorky PTFE 719783 a 719173, 6.5.2019 vzorky PTFE 719223.



Obr. 35 Měření tetlonového těsnění

### 5.2.5 Vyhodnocení měření

Po poradě s managementem kvality, interními experty a vedoucím diplomové práce byl pro další analýzu zvolen parametr Sz, protože nejlépe charakterizuje podstatu problémů s těsnicí funkcí PTFE kroužku. Vysoké výstupky na povrchu dílce mohou způsobovat problémy s těsností, jelikož vytváří prostor pro průtok chladiva.

Tabulka 13 shrnuje jednotlivé hodnoty parametru Sz získané měřením PTFE těsnění.

Tab. 13 Hodnoty parametru Sz pro jednotlivé měřené díly a jejich oblasti

PTFE 719183			PTFE 719173			PTFE 719223		
Číslo dílu	Měřený bod	Sz [ $\mu\text{m}$ ]	Číslo dílu	Měřený bod	Sz [ $\mu\text{m}$ ]	Číslo dílu	Měřený bod	Sz [ $\mu\text{m}$ ]
PTFE 1	1	5,4279	PTFE 1	1	12,677	PTFE 1	1	11,444
PTFE 1	2	4,8196	PTFE 1	2	14,903	PTFE 1	2	9,559
PTFE 1	3	5,2957	PTFE 1	3	14,440	PTFE 1	3	8,864
PTFE 1	4	5,2571	PTFE 1	4	11,507	PTFE 1	4	8,804
PTFE 2	1	7,4466	PTFE 2	1	12,109	PTFE 2	1	8,068
PTFE 2	2	5,8944	PTFE 2	2	11,598	PTFE 2	2	7,846
PTFE 2	3	7,8692	PTFE 2	3	11,809	PTFE 2	3	6,162
PTFE 2	4	9,3148	PTFE 2	4	10,465	PTFE 2	4	7,635
PTFE 3	1	25,7968	PTFE 3	1	10,195	PTFE 3	1	8,086
PTFE 3	2	17,5809	PTFE 3	2	9,966	PTFE 3	2	8,028
PTFE 3	3	15,3413	PTFE 3	3	9,991	PTFE 3	3	7,633

Tab. 13 Hodnoty parametru Sz pro jednotlivé měřené díly a jejich oblasti - pokračování

PTFE 719183			PTFE 719173			PTFE 719223		
Číslo dílu	Měřený bod	Sz [μm]	Číslo dílu	Měřený bod	Sz [μm]	Číslo dílu	Měřený bod	Sz [μm]
PTFE 3	4	15,2648	PTFE 3	4	14,263	PTFE 3	4	11,020
PTFE 4	1	8,5753	PTFE 4	1	11,983	PTFE 4	1	6,323
PTFE 4	2	6,8434	PTFE 4	2	12,714	PTFE 4	2	7,793
PTFE 4	3	5,6186	PTFE 4	3	10,465	PTFE 4	3	8,455
PTFE 4	4	7,0708	PTFE 4	4	10,713	PTFE 4	4	6,918
PTFE 5	1	8,9896	PTFE 5	1	10,296	PTFE 5	1	7,846
PTFE 5	2	18,4000	PTFE 5	2	8,597	PTFE 5	2	7,535
PTFE 5	3	9,0056	PTFE 5	3	9,573	PTFE 5	3	7,878
PTFE 5	4	10,3090	PTFE 5	4	12,952	PTFE 5	4	7,588
PTFE 6	1	6,0114	PTFE 6	1	9,109	PTFE 6	1	8,356
PTFE 6	2	5,1954	PTFE 6	2	10,589	PTFE 6	2	9,444
PTFE 6	3	5,7627	PTFE 6	3	11,718	PTFE 6	3	8,614
PTFE 6	4	6,1169	PTFE 6	4	8,956	PTFE 6	4	10,484
PTFE 7	1	11,1770	PTFE 7	1	9,626	PTFE 7	1	7,389
PTFE 7	2	7,5994	PTFE 7	2	9,100	PTFE 7	2	7,785
PTFE 7	3	7,5576	PTFE 7	3	14,597	PTFE 7	3	7,671
PTFE 7	4	7,6396	PTFE 7	4	9,485	PTFE 7	4	8,691
PTFE 8	1	7,1710	PTFE 8	1	8,048	PTFE 8	1	10,049
PTFE 8	2	7,2789	PTFE 8	2	8,707	PTFE 8	2	8,301
PTFE 8	3	7,5013	PTFE 8	3	9,231	PTFE 8	3	10,185
PTFE 8	4	7,1947	PTFE 8	4	8,662	PTFE 8	4	9,099
PTFE 9	1	5,5278	PTFE 9	1	11,009	PTFE 9	1	9,126
PTFE 9	2	8,0398	PTFE 9	2	11,884	PTFE 9	2	9,350
PTFE 9	3	6,0945	PTFE 9	3	10,614	PTFE 9	3	9,275
PTFE 9	4	6,1045	PTFE 9	4	12,339	PTFE 9	4	8,346
PTFE 10	1	5,2727	PTFE 10	1	11,919	PTFE 10	1	10,493
PTFE 10	2	9,1137	PTFE 10	2	10,558	PTFE 10	2	9,644
PTFE 10	3	6,4556	PTFE 10	3	11,257	PTFE 10	3	12,339
PTFE 10	4	5,8757	PTFE 10	4	12,470	PTFE 10	4	12,088

Aby bylo možné soubor dat statisticky analyzovat, je předpokladem jejich normální rozdělení. V programu Minitab 17 byla provedena analýza za využití testu Anderson-Darlinga a na hladině významnosti 5 % byla zamítnuta hypotéza o normálním rozdělení základního souboru pro díly 719183 a 719223. Proto byl proveden Grubbsův test na odlehlé hodnoty a tyto hodnoty byly ze souboru vyřazeny. V tabulce 13 jsou zvýrazněny žlutě. Po této operaci byla hypotéza o normálním rozdělení souboru dat na hladině významnosti 5 % potvrzena, jak je zobrazeno na obrázku 36. V následujících výpočtech byly tedy využity pouze bíle podbarvené hodnoty.

Jelikož parametr Sz není na výkresu definován, byla po konzultaci zvolena pro výkresový předpis hodnota parametru Sz max dle rovnice (4).

$$Sz \max = \bar{S}_Z + 3s_{S_Z} \quad (4)$$

Následné výpočty jsou pro každý typ PTFE těsnění zvlášť, veličina spojená s daným PTFE má v dolním indexu jeho číselné označení:

$$\overline{Sz_{719183}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Sz_{719183_i} \quad (5)$$

Dle tohoto vzorce lze vypočítat aritmetický průměr hodnot  $\overline{Sz}$  pro jednotlivé PTFE:

$$\overline{Sz_{719183}} = 7,04 \mu\text{m},$$

$$\overline{Sz_{719173}} = 11,03 \mu\text{m},$$

$$\overline{Sz_{719223}} = 8,66 \mu\text{m}.$$

Výpočet výběrové směrodatné odchylky střední hodnoty  $s_{Sz}$  probíhá následovně:

$$s_{Sz_{719183}} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (Sz_{719183_i} - \overline{Sz_{719183}})^2}, \quad (6)$$

$$s_{Sz_{719183}} = 1,57 \mu\text{m},$$

$$s_{Sz_{719173}} = 1,76 \mu\text{m},$$

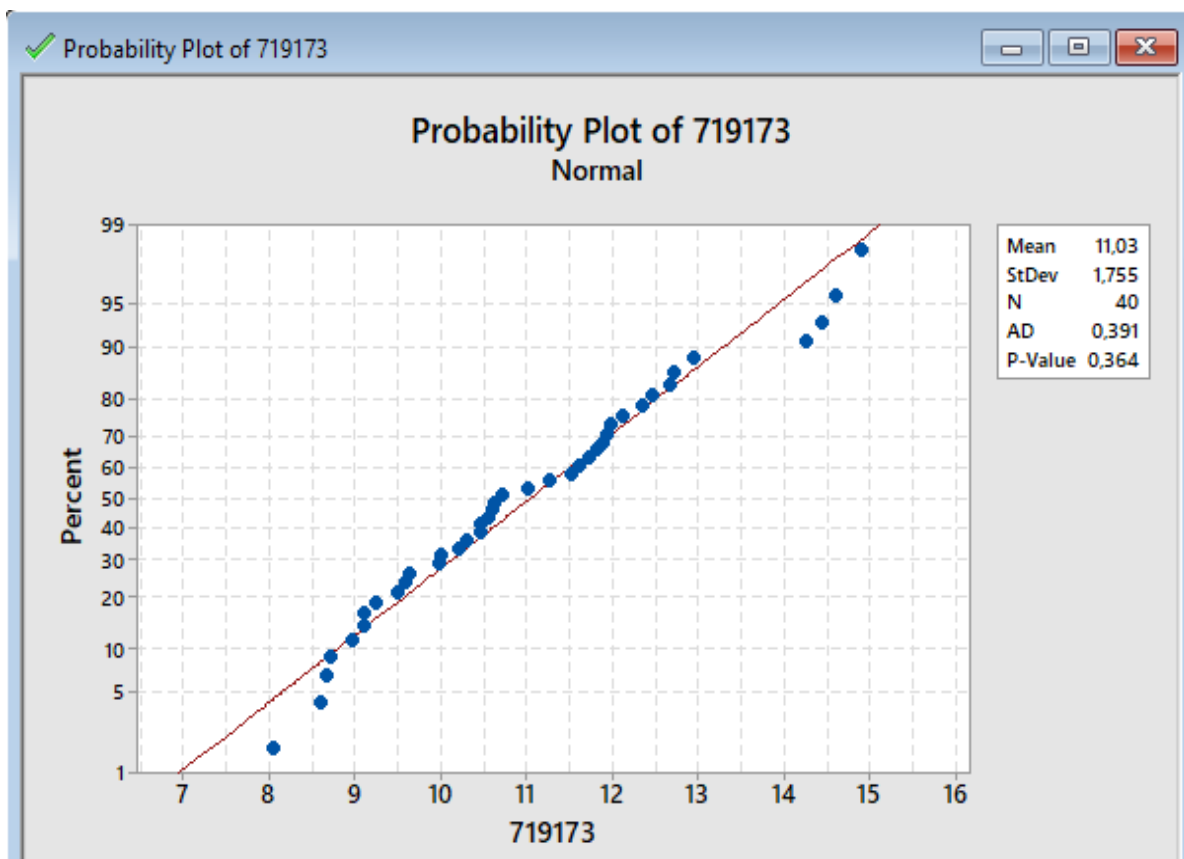
$$s_{Sz_{719223}} = 1,32 \mu\text{m}.$$

Nyní je možné dosadit vypočtené hodnoty do rovnice (4) a určit tolerance parametru  $Sz_{max}$  pro jednotlivé PTFE kroužky:

$$Sz_{max_{719183}} = 12 \mu\text{m},$$

$$Sz_{max_{719173}} = 16 \mu\text{m},$$

$$Sz_{max_{719223}} = 13 \mu\text{m}.$$



Obr. 36 Test normálního rozdělení v programu Minitab 17 pro PTFE 719173

Vzhledem k problematickému měření každého produkovaného kusu bylo stanoveno, že pro kontrolu procesu bude měřen vždy první a poslední kus vyrobený z jedné teflonové tyče. K tomuto byly po konzultaci s vedoucím diplomové práce zvoleny jako nejvhodnější regulační diagramy pro individuální hodnoty  $Sz_i$  a klouzavé rozpětí  $R_k$ . Následující vzorce pro stanovení kontrolních mezí byly převzaty ze skript pana docenta Jankových a pana Majtaníka [31].

Do regulačního diagramu pro individuální hodnoty  $Sz_i$  jsou zaznamenávány jednotlivé měřené hodnoty  $Sz_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ). Proto je centrální přímka rovna aritmetickému průměru  $\overline{Sz}$  všech naměřených hodnot:

$$CL_{Sz} = \overline{Sz} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Sz_i. \quad (7)$$

Horní a dolní regulační meze je možné vypočítat obecně dle vztahů:

$$UCL_{Sz} = \overline{Sz} + 3\sigma \quad (8)$$

$$LCL_{Sz} = \overline{Sz} - 3\sigma, \quad (9)$$

kde  $\sigma$  představuje směrodatnou odchylku základního souboru, kterou je možné odhadnout pomocí průměrného klouzavého rozpětí:

$$\sigma = \frac{\overline{R}_k}{d_2} = \frac{\overline{R}_k}{1,128}, \text{ kde} \quad (10)$$

$d_2$  je Hartleyova konstanta pro rozsah výběru 2 viz norma ČSN ISO 7870-2 [32].

$\overline{R}_k$  je průměrné klouzavé rozpětí, které lze vypočítat dle vztahu:

$$\overline{R}_k = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} R_{k_i}}{n-1}, \text{ kde} \quad (11)$$

$$R_{k_i} = |Sz_i - Sz_{i+1}|. \quad (12)$$

Dosazením (9) do vztahů (7) a (8) získáme:

$$UCL_{Sz} = \overline{Sz} + 3 \frac{\overline{R}_k}{d_2} = \overline{Sz} + \frac{3}{1,128} \overline{R}_k = \overline{Sz} + 2,66 \overline{R}_k, \quad (13)$$

$$LCL_{Sz} = \overline{Sz} - 3 \frac{\overline{R}_k}{d_2} = \overline{Sz} - \frac{3}{1,128} \overline{R}_k = \overline{Sz} - 2,66 \overline{R}_k. \quad (14)$$

Regulační diagram pro klouzavé rozpětí  $R_k$  je určen pro monitorování hodnot jednotlivých klouzavých napětí  $R_{k_i}$  dle vztahu (12). Hodnota centrální přímky  $CL_{R_k}$  je v tomto případě stanovena ve velikosti dle již uvedeného vztahu (11).

Ke stanovení regulačních mezí pro klouzavé rozpětí jsou využity vztahy uvedené níže:

$$UCL_{R_k} = \overline{R}_k + 3\sigma_{R_k} = \overline{R}_k + 3d_3 \frac{\overline{R}_k}{d_2} = \left(1 + 3 \frac{d_3}{d_2}\right) \overline{R}_k = D_4 \overline{R}_k = 3,267 \overline{R}_k, \quad (15)$$

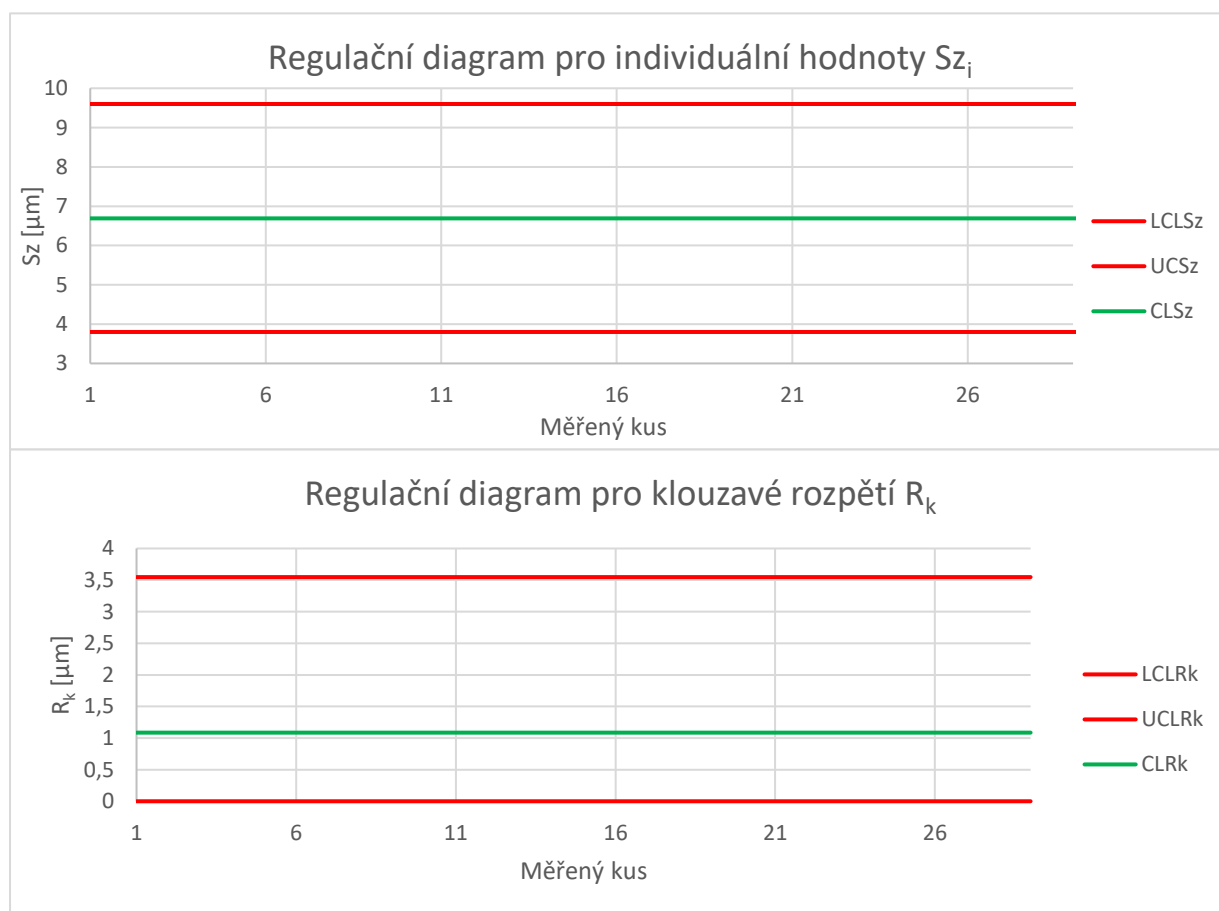
$$LCL_{R_k} = \overline{R}_k - 3\sigma_{R_k} = \overline{R}_k - 3d_3 \frac{\overline{R}_k}{d_2} = \left(1 - 3 \frac{d_3}{d_2}\right) \overline{R}_k = D_3 \overline{R}_k = 0. \quad (16)$$

Dle normy ČSN ISO 7870-2 je v poslední úpravě vztahu (15) výraz  $\left(1 + 3 \frac{d_3}{d_2}\right)$  nahrazen symbolem  $D_4$  a ve vztahu (16) je výraz  $\left(1 - 3 \frac{d_3}{d_2}\right)$  nahrazen symbolem  $D_3$ . Pro klouzavé rozpětí jsou tyto symboly rovny  $D_4 = 3,267$  a  $D_3 = 0$ .

S využitím naměřených dat a vztahů popsaných na předchozích stranách byly stanoveny regulační diagramy pro jednotlivé typy PTFE těsnění. Po vytvoření návrhu regulačního diagramu bylo nutné ověřit, zda se všechny hodnoty nachází v kontrolních mezích. Pokud některé hodnoty meze překračovaly, došlo k jejich vyřazení a určení návrhu regulačního diagramu z nového souboru hodnot. Finální soubor hodnot je zvýrazněn v tabulce 13 zelenou barvou. Výsledné vypočítané veličiny shrnuje tabulka 14. Příklady regulačních diagramů pro PTFE 719183 jsou na obrázku 37.

Tab. 14 vypočtené veličiny pro tvorbu regulačních diagramů

		Díl 719183	Díl 719173	Díl 719223
$\bar{S}_z$	[ $\mu\text{m}$ ]	6,69	10,57	8,32
$s_{S_z}$	[ $\mu\text{m}$ ]	1,22	1,32	0,73
$\bar{R}_k$	[ $\mu\text{m}$ ]	1,09	0,98	0,56
$UCL_{R_k}$	[ $\mu\text{m}$ ]	3,55	3,19	1,83
$CL_{R_k}$	[ $\mu\text{m}$ ]	1,09	0,98	0,56
$LCL_{R_k}$	[ $\mu\text{m}$ ]	0	0	0
$UCL_{S_z}$	[ $\mu\text{m}$ ]	9,58	13,17	9,81
$CL_{S_z}$	[ $\mu\text{m}$ ]	6,69	10,57	8,32
$LCL_{S_z}$	[ $\mu\text{m}$ ]	3,80	7,97	6,83



Obr. 37 Regulační diagram pro individuální hodnoty Sz<sub>i</sub> a klouzavé rozpětí R<sub>k</sub>

## 6 DOPORUČENÍ PRO PRAXI

Doporučení pro praxi je rozděleno do dvou částí, první část se týká kulového elementu a druhá část PTFE těsnění.

### 6.1 Kulový element

Během měření jednotlivých nasbíraných kusů bylo po porovnání a grafické interpretaci zjištěno, že mnoho měřených bodů na povrchu je blízko nebo pod dolní hranicí tolerance předepsané na výkresu komponentu.

Z tohoto důvodu není kulovým elementem vyvíjen dostatečný tlak na PTFE kroužek a není tak zajištěno jeho dokonalé dosednutí a vytvarování dle povrchu kulového elementu. Pro zajištění správné funkce je nutné, aby se hodnoty rozdílu povrchu dílce od modelu nacházely nejlépe v horní části tolerančního pole. Tím bude zajištěno dostatečné přitlačení těsnících komponentů.

Po domluvě s firemními experty na vstřikování doporučuji nasazení dalšího temperačního přístroje<sup>14</sup>, což by mělo mít za následek rovnoměrné chlazení celé formy a eliminovat oblasti pod hranicí tolerance. Pokud přidání chladicího okruhu nebude dostatečné, pak je třeba zkusit ladit vstřikovací parametry, jelikož ty mohou mít zásadní vliv na výslednou kvalitu vylisovaného kusu. V případě, že nepomůže ani úprava parametrů a hodnoty stále nebudou v mezích tolerance, pak zbývá poslední možnost a tou je výroba nové vložky nebo úprava vložky stávající.

Vzhledem k povaze forem na lisování kulových elementů není možné rozšířit stávající kovovou vložku, která udává tvar a rozměry výslednému výrobku, ale bude nutné vyrobit vložku novou. Tento fakt je způsoben vytvrzením vložky pomocí tepelné úpravy a jejím následným leštěním.

Je doporučeno nechat vytvořit u dodavatele nové vložky pro obě formy, kterými firma disponuje. Následně bude vyprodukován dohodnutý počet kulových elementů a po jejich přeměření a analýze výsledků bude možné přistoupit k dokončovací operaci vytvrzení těchto vložek. V poslední fázi výroby vložky dochází k leštění, a tedy odebrání malé vrstvy materiálu. S tímto faktem bude nutné počítat při analýze výsledků měření dílců a počítat s mírným zvětšením finálního výrobku.

Po provedení nápravných opatření pro posunutí rozměrů do předepsané specifikace, by bylo vhodné vyřešit nejistotu měření na souřadnicovém měřicím přístroji a také analyzovat vhodnost a způsobilost přípravku i CMM pro kontrolu kulových elementů, kterým firma disponuje.

### 6.2 PTFE Těsnění

Analýzou textury povrchu byly získány pro jednotlivé měřené kusy hodnotu maximální výšky posuzovaného povrchu Sz. Tato veličina byla zvolena s ohledem na aplikaci teflonového těsnění v sestavě kulového ventilu termostatu. Výrazné výstupky na povrchu těsnící oblasti mohou vést k přílišnému oddálení kulového ventilu a porušení těsnící funkce.

<sup>14</sup> Temperační přístroj slouží k řízení teploty formy

Jelikož není tento parametr na měřených kusech definován, byla po konzultaci zvolena maximální hodnota parametru  $Sz_{max}$  dle rovnice (4). Jako výchozí hodnota pro všechny typy teflonového těsnění byla zvolena

$$Sz_{max} = 12 \mu\text{m}.$$

Základem této úvahy byl společný výrobní postup pro všechny tři typy teflonového těsnění a také stejný výrobní materiál.

Pravidlo maxima (max) znamená, že žádná naměřená hodnota nesmí přesáhnout danou toleranci [33]. Tato hodnoty tolerance jsou pouze dočasné a dodavatel bude vyzván k důkladné analýze procesu a návrhu opatření k redukci velikosti parametru  $Sz$ .

S využitím naměřených hodnot byly připraveny vzorové regulační diagramy pro individuální hodnoty  $Sz_i$  a klouzavé napětí  $R_k$ . Následným úkolem bude domluvit s dodavatelem PTFE těsnění zavedení těchto regulačních diagramů do jeho výroby. Měření budou plánována pro první a poslední kus vyrobený z každé PTFE tyče. Výsledky měření budou sdíleny se zákazníkem v určitých časových intervalech. Zprvu každou dodávku a následně dle trendu je možné postupně přejít k zasílání výsledků jednou ročně během pravidelné rekvalifikace výrobku.

Nejdříve však musí být vyřešena automatizace při měření textury PTFE těsnění. Za vhodné je možno považovat ověření možnosti využití měřících přístrojů společností Keyence, Mitutoyo nebo Optosurf.

## 7 ZÁVĚR

Tato diplomová práce se zabývá problematikou kvality sestavy kulového ventilu automobilového termostatu, tvorbou neshodných výrobků a analýzou možných příčin.

Prvním cílem diplomové práce bylo definování kvality ventilu termostatu v automobilovém průmyslu. Tento cíl je splněn v kapitole dvě, kde je nejprve obecně uvedena tematika kvality, ta je poté přiblížena pro specifickou oblast automobilového průmyslu. Následně jsou tyto poznatky aplikovány na sestavu kulového ventilu a vybrané charakteristiky. Jedná se o zákaznické, životnostní a rozměrové požadavky na sestavu a její odolnost vůči chladicí kapalině.

Druhým cílem byla analýza procesu výroby zvoleného typu ventilu. Tato tematika je předmětem kapitoly 3, kde je sestava kulového ventilu rozdělena na dvě součásti, a to kulový element a teflonové těsnění. Výrobní proces je popsán zvlášť pro každou součást. Kapitola se z větší části věnuje kulovému elementu, jelikož je vyráběn přímo ve firmě ITW Pronovia. Analýza poskytuje informace o nakládání se surovým materiálem a také pojednává o možných vadách, které v procesu mohou vznikat. Proces výroby PTFE těsnění je stručně popsán na závěr kapitoly.

Třetím cílem bylo popsat aktuální proces zkoušení ventilu ve výrobě. Opět byl tento proces popsán pro každý díl sestavy zvlášť, a to ve čtvrté kapitole. Na konci kapitoly je také vytvořena reflexe k nynějšímu procesu zkoušení dílů.

Čtvrtým cílem bylo provést analýzu vybraných parametrů ventilu s důrazem na texturu funkčních povrchů. U kulového ventilu byla zvolena odchylka povrchu skutečného výrobku oproti 3D modelu, jelikož propadliny na povrchu dílce mají velký vliv na nesplnění základní funkce sestavy ventilu - těsnosti. Na PTFE těsnění byla analyzována textura povrchu funkční oblasti a dle domluvy s managementem firmy a vedoucím diplomové práce byl navržen jako rozhodující parametr Sz.

Pátým a posledním cílem bylo na základě předchozích analýz formulovat doporučení pro praxi. Tímto se zabývá šestá kapitola, kde je navržen další postup pro eliminování problémů s kulovým elementem v podobě výroby nových vložek forem. Pro PTFE těsnění je na základě naměřených hodnot textury povrchu vypočtena statistickým postupem počáteční toleranční mez pro parametr Sz max a stanoven způsob jeho ověřování. Pro parametr Sz max jsou dále navrženy regulační diagramy pro individuální hodnoty Sz<sub>i</sub> a jejich klouzavé rozpětí R<sub>k</sub>.

Uvedené návrhy byly předloženy vedení firmy ke schválení. Na základě vyhodnocení zkušebního období budou stanoveny definitivní hodnoty Sz max a regulační diagramy.

Po provedení doporučených opatření by bylo vhodné pro kontrolu kulového elementu určit nejistotu měření na souřadnicovém přístroji a dále ověřit způsobilost měřícího přípravku, kterým firma disponuje. Co se týče PTFE těsnění, bude nutné konzultovat získané výstupy s dodavatelem a dohodnout způsob, jakým bude dodavatel postupovat, aby analyzoval problémy ve výrobním procesu a mohl následně výrazně snížit velikost parametru Sz max na těsnící oblasti svého výrobku.

## 8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Juran, J. M. a Godfrey, A. B., *Juran's Quality Handbook – Fifth Edition*. New York: McGraw-Hill, 1999. ISBN 0-07-034003-X.
- [2] BRINKLEY, Douglas. *Wheels for the world: Henry Ford, his company, and a century of progress, 1903-2003*. New York: Penguin Books, 2004. ISBN 0142004391.
- [3] DEMING, W. Edwards. *The essential Deming: leadership principles from the father of quality*. New York: McGraw-Hill, c2013. ISBN 0071790225.
- [4] ISHIKAWA, Kaoru. *What is total quality control? The Japanese way*. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, c1985. ISBN 0139524339.
- [5] MARQUARDT, Donald, W. THE ISO 9000 FAMILY OF INTERNATIONAL STANDARDS. *QCB ENGINEERING PAGES: ISO 9001 INFORMATION* [online]. c2002 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <http://www.geocities.ws/qxb4tech/ISO9000family.pdf>
- [6] WOOD, Douglas C. *Principles of quality costs: financial measures for strategic implementation of quality management*. Milwaukee, Wisconsin: ASQ Quality Press, [2013]. ISBN 0873898494.
- [7] STYLIDIS, Konstantinos, Casper WICKMAN a Rikard SÖDERBERG. Defining Perceived Quality in the Automotive Industry: An Engineering Approach. *Procedia CIRP* [online]. 2015, **36**, 165-170 [cit. 2019-05-22]. DOI: 10.1016/j.procir.2015.01.076. ISSN 22128271. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2212827115006034>
- [8] HELDBERG, Carsten. Interní dokumentace firmy ITW Automotive Products GmbH, Hodenhagen 29693, Bahnhofstraße 50A, Německo
- [9] BLECHA, Petr. Management Kvality [přednáška]. Brno: VUT v Brně, 7. října 2016.
- [10] *Dokumentované informace a jejich uchování: VDA svazek 1*. 4. přepracované vydání. Praha: Česká Společnost pro Jakost, 2018.
- [11] ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů: úvod do vstřikování termoplastů*. Praha: BEN - technická literatura, 2009. ISBN 978-80-7300-250-3.
- [12] *Brabender Messtechnik* [online]. Brabender Messtechnik® GmbH & Co., c2016 [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <https://www.brabender-mt.de/de/>
- [13] BOBEK, Jiří. *Vstřikovací formy pro zpracování termoplastů* [online]. 14. Střední odborné učiliště Svitavy: Publi, 2016 [cit. 2018-10-22]. ISBN 978-80-88058-65-6. Dostupné z: <https://publi.cz/books/179/Cover.html>
- [14] *PTFE Handbook: Fluoropolymers*. Germany: Dyneon GmbH 3M Advanced Materials Division, 2015.
- [15] FIETZ, Maryo. Interní dokumentace firmy Fietz GmbH Industriestr. 9-11, 51399 Burscheid, Německo
- [16] *Norma pro systém management kvality v automobilovém průmyslu IATF 16949:2016: Požadavky na systém managementu kvality v organizacích zajišťujících sériovou výrobu a výrobu příslušných náhradních dílů v automobilovém průmyslu*. Praha: Česká společnost pro jakost, 2016.

- [17] Třmenový mikrometr s bubínkovou řehtačkou 0-25 mm, digimatic. *Mitutoyo* [online]. Teplice: Mitutoyo Česko [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: [https://shop.mitutoyo.cz/web/mitutoyo/cs\\_CZ/mitutoyo/01.02.01.041/T%C5%99menov%C3%BD%20mikrometr%20s%20bub%C3%ADnkovou%20%C5%99eh%C4%8Dkou%20-25%20mm/\\$catalogue/mitutoyoData/PR/406-250-30/index.xhtmll](https://shop.mitutoyo.cz/web/mitutoyo/cs_CZ/mitutoyo/01.02.01.041/T%C5%99menov%C3%BD%20mikrometr%20s%20bub%C3%ADnkovou%20%C5%99eh%C4%8Dkou%20-25%20mm/$catalogue/mitutoyoData/PR/406-250-30/index.xhtmll)
- [18] Absolute Digital Caliper 0-150mm, Digimatic. *Mitutoyo* [online]. Teplice: Mitutoyo Česko [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: [https://shop.mitutoyo.cz/web/mitutoyo/cs\\_CZ/mitutoyo/01.03.05a/Absolute%20Digital%20Caliper/\\$catalogue/mitutoyoData/PR/500-161-20/index.xhtmll](https://shop.mitutoyo.cz/web/mitutoyo/cs_CZ/mitutoyo/01.03.05a/Absolute%20Digital%20Caliper/$catalogue/mitutoyoData/PR/500-161-20/index.xhtmll)
- [19] Výškoměry TESA. *Proma Bilavčík: Přístroje pro měření a metrologii* [online]. PRIMA BILAVČÍK, c2014 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.merici-pristroje.cz/vyskomery-tesa/>
- [20] *CAQ AG: Compact.net* [online]. Germany: CAQ AG Factory Systems, c1993-2019 [cit. 2019-04-19]. Dostupné z: [https://www.caq.de/en/Software/Inspection-Planning\\_Quality-Inspection\\_SPC](https://www.caq.de/en/Software/Inspection-Planning_Quality-Inspection_SPC)
- [21] *Hexagon Manufacturing Intelligence* [online]. Hexagon AB, c2019 [cit. 2019-04-19]. Dostupné z: <https://www.hexagonmi.com/cs-CZ>
- [22] Global Classic: GLOBAL Classic - Quality at an affordable price. *Hexagon Manufacturing Intelligence* [online]. Hexagon AB [cit. 2019-05-16]. Dostupné z: <https://www.hexagonmi.com/products/coordinate-measuring-machines/bridge-cmms/global-classic>
- [23] Doteky pro měřicí sondy. *RENISHAW: Apply Innovation* [online]. Renishaw, c2001-2019 [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <https://www.renishaw.cz/cs/doteky-pro-merici-sondy--6333>
- [24] HARČARÍK, MATEJ. *Měření parametrů textury povrchu výrobků kontaktní a bezkontaktní metodou*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 81 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Róbert Jankových, CSc.
- [25] LEACH, Richard. *Characterisation of areal surface texture*. Heidelberg: Springer, 2013. ISBN 978-3-642-36458-7.
- [26] JANKOVÝCH, Róbert. *Praktická metrologie [přednáška]*. Brno: VUT v Brně, 20. října 2017.
- [27] WHITEHOUSE, D. J. *Handbook of surface and nanometrology*. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2010. ISBN 978-1-4200-8201-2.
- [28] TAYLOR HOBSON, *Talysurf CCI Lite – non-contact 3D Profiler*. [pdf], 2008, 3s.
- [29] LEACH, Richard, ed. *Optical measurement of surface topography*. Berlin: Springer, 2011. ISBN 978-364-2120-114.
- [30] ŠPAČKOVÁ, M. *Využití parametrů textury povrchu pro posuzování shody a řízení procesu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2018. 79s. Vedoucí diplomové práce Ing. Matej Harčarík.
- [31] JANKOVÝCH, Róbert a Jozef MAJTANÍK. *Jakost zbraní a střeliva*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2006.
- [32] ČSN ISO 7870-2. *Regulační diagramy: Část 2: Shewhartovy regulační diagramy*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví., 2018.

[33] ČSN EN ISO 4288. *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Proflová metoda - Pravidla a postupy pro posuzování struktury povrchu*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1999.

## 9 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK

### 9.1 Seznam zkratek a symbolů

CAQ	Počítačem podporovaná kvalita
CC	Kritická charakteristika
CCI	Koherenčně korelační interferometrie
$CL_{Rk}$	Centrální přímka pro klouzavé rozpětí $R_k$
$CL_{Sz}$	Centrální přímka pro hodnoty $Sz$
CMM	Souřadnicový měřicí přístroj
$d_2$	Hartleyova konstanta
E-PTFE	PTFE emulze
G12++, G13	Označení chladicí kapaliny
GF	Skelné vlákno
hPa	Hektopascal
IATF	Úřad mezinárodního dohledu nad automobilovým průmyslem
$LCL_{Rk}$	Dolní regulační mez pro klouzavé rozpětí
$LCL_{Sz}$	Dolní regulační mez pro parametr $Sz$
LSL	Dolní mez specifikace
MK	Malá koule
MPa	Megapascal
MPE	Maximální povolená chyba
MS Excel	Microsoft excel
NOM	Nominální hodnota
Pa	Průměrná aritmetická úchylka základního profilu
PA	Polyamid
PDCA	Plánuj, dělej, kontroluj, jednej
PTFE	Polyterafluorethylen
$R_a$	Průměrná aritmetická úchylka profilu drsnosti
$R_k$	Klouzavé rozpětí
$R_z$	Největší výška profilu
$S_a$	Průměrná aritmetická výška posuzovaného povrchu (S-F, S-L)
SC	Důležitá charakteristika
$S_p$	Nejvyšší vrchol posuzované plochy
SPC	Statistické řízení procesů
S-PTFE	PTFE suspenze

Sq	Průměrná kvadratická výška posuzovaného povrchu (S-F, S-L)
Sv	Nejhlubší dno posuzované plochy
SW	Software
Sz	Maximální výška posuzovaného povrchu (S-F, S-L)
TQC	Celková kontrola kvality
TQM	Celkové řízení kvality
UCL <sub>Rk</sub>	Horní regulační mez pro klouzavé rozpětí
UCL <sub>Sz</sub>	Horní regulační mez pro parametr Sz
USL	Horní mez specifikace
VDA	Sdružení automobilového průmyslu
VK	Velká koule
Vmp	Objem materiálu výstupků posuzované plochy
Vvc	Prázdný objem jádra posuzované plochy
Wa	Průměrná aritmetická úchylka profilu vlnitosti
$\sigma$	Směrodatná odchylka

## 9.2 Seznam tabulek

Tab. 1 Význam kvality [1,7] .....	18
Tab. 2 Pět období kvality v automobilovém průmyslu [1] .....	19
Tab. 3 Souhrn kvalitativních norem a předpisů v automobilovém průmyslu.....	20
Tab. 4 Typy aditiv v polymerech [11] .....	26
Tab. 5 Nežádoucí účinky vlhkosti na vstřikování [11] .....	27
Tab. 6 Typy sušiček a jejich vlastnosti [11] .....	28
Tab. 7 Přehled vad, jejich příčin a možnosti řešení dle [11] .....	30
Tab. 8 Vybrané parametry měřicího přístroje [22] .....	38
Tab. 9 Sběr vzorků k měření.....	39
Tab. 10 Značení parametrů textury povrchu.....	47
Tab. 11 Vybrané parametry přístroje Taylor Hobson Talysurf CCI Lite [28] .....	50
Tab. 12 Hodnoty teplot v laboratoři během měření.....	53
Tab. 13 Hodnoty parametru Sz pro jednotlivé měřené díly a jejich oblasti .....	54
Tab. 14 vypočtené veličiny pro tvorbu regulačních diagramů .....	58

## 9.3 Seznam obrázků

Obr. 1 (a) Termostat s voskovým členem a (b) Termostat s elektrickým pohonem.....	15
Obr. 2 Sestava kulového ventilu (A) kulový element (B) PTFE těsnění.....	16
Obr. 3 Schéma požadavků na kulový ventil .....	20
Obr. 4 Vývoj nákladů na odstranění chyb [9].....	22
Obr. 5 Milníky z historie technologie vstřikování plastů [11].....	24
Obr. 6 Vývojový diagram procesu výroby ventilu termostatu .....	25
Obr. 7 Měřič vlhkosti granulátu.....	27

Obr. 8 Schéma vstřikovacího stroje [13].....	29
Obr. 9 Schéma rozdělení typů surového PTFE [8] .....	33
Obr. 10 Proces výroby teflonového těsnění [14,15] .....	34
Obr. 11 Titanový kalibr pro seřízení měřicího přípravku .....	35
Obr. 12 Přípravek pro kontrolu kulového elementu.....	36
Obr. 13 Nástroje pro měření teflonového těsnění (A) kovová základna a (B) kontrolní koule.....	37
Obr. 14 Měření teflonového těsnění.....	37
Obr. 15 Měřicí zařízení (a) CMM Global Clasic, (b) ovládání sond Renishaw a (c) ovládání snímací hlavy.....	39
Obr. 16 Určení orientace "hvězdičky" a natočení kulového elementu .....	40
Obr. 17 Zobrazení měřeného modelu v ovládacím software měřicího zařízení .....	41
Obr. 18 Vizualizace vyhodnocení měřených hodnot na dvojrozměrném modelu .....	42
Obr. 19 Přístroj pro kontrolu parametrů prostředí .....	42
Obr. 20 Snímání základních bodů před startem automatického měření (A) čelní rovina, (B) středový válec a (C) natočení „hvězdičky“.....	43
Obr. 21 Grafické vyhodnocení vybraných bodů MK formy II .....	44
Obr. 22 Grafické vyhodnocení vybraných bodů VK formy II.....	45
Obr. 23 Grafické vyhodnocení vybraných bodů MK formy III.....	45
Obr. 24 Grafické vyhodnocení vybraných bodů VK formy III .....	46
Obr. 25 Textura povrchu a její složky [24] .....	46
Obr. 26 Vizualizace vrstevnic [25] .....	47
Obr. 27 Vizualizace vrcholu (A), vrchu (B) a hraniční křivky (C) [25] .....	48
Obr. 28 Vizualizace dna (A), údolí (B) a hraniční křivky (C) [19] .....	48
Obr. 29 Taylor Hobson Talysurf CCI Lite [24] .....	50
Obr. 30 Typické rozložení prvků koherenčního rastrovacího interferometru [30] .....	51
Obr. 31 Trasa světelného paprsku sestavou přístroje [29] .....	51
Obr. 32 Definice těsnící oblasti a měřených ploch .....	52
Obr. 33 Upínací přípravek pro analýzu textury povrchu PTFE těsnění.....	52
Obr. 34 Kontrola tlaku ve vzduchových vacích přístroje .....	53
Obr. 35 Měření teflonového těsnění.....	54
Obr. 36 Test normálního rozdělení v programu Minitab 17 pro PTFE 719173 .....	56
Obr. 37 Regulační diagram pro individuální hodnoty $Sz_i$ a klouzavé rozpětí $R_k$ .....	58

## 10 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A	Příklad protokolu z měření na souřadnicovém měřicím přístroji
Příloha B	Vyhodnocení náměrů malé koule z formy II
Příloha C	Vyhodnocení náměrů malé koule z formy III
Příloha D	Vyhodnocení náměrů velké koule z formy II
Příloha E	Vyhodnocení náměrů velké koule z formy III
Příloha F	Příklad výstupního protokolu programu TalyMap Gold
CD	