

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

## ANALÝZA KONTROLY KLOPNÉHO MOMENTU AXIÁLNÍHO TÁHLA ŘÍZENÍ

ANALYSIS VERIFICATION MONOSTABLE MOMENT LONGITUDIAL STEERING LINKAGE

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
MASTER'S THESIS

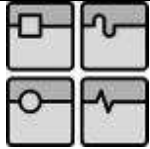
AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc. PETR NOVOTNÝ

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Doc. Ing. JIŘÍ PERNIKÁŘ CSc.

BRNO 2010



Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky

Akademický rok: 2009/2010

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Petr Novotný

který/která studuje v magisterském navazujícím studijním programu

obor: Metrologie a řízení jakosti (3911T032)

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:

**Analýza kontroly klopného momentu axiálního táhla řízení**

v anglickém jazyce:

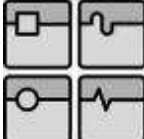
**Analysis verification monostable moment longitudinal steering linkage**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

1.  Definice problému
2.  Rozbor vlivů na hodnotu klopného momentu
3.  Provedení opakovaného měření a jeho vyhodnocení
4.  Stanovení nejistoty měření
5.  Závěr

Cíle diplomové práce:

Měření klopného momentu táhla řízení vyžaduje speciální měřicí zařízení neobvyklé konstrukce. Cílem práce je stanovení charakteristik přesnosti tohoto zařízení na základě opakovaných měření a statistického vyhodnocení výsledků.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 3
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Seznam odborné literatury:

1. □ PERNIKÁŘ, J., TYKAL, M. Strojírenská metrologie II. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. 180 s. ISBN 80-214-3338-2.
2. □ ČECH, J., PERNIKÁŘ, J., PODDANÝ, K. Strojírenská metrologie. 4. přepracované vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005. 176 s. ISBN 80-214-3070-2
3. □ CHUDÝ, V., PALENČÁR, R., KUREKOVÁ, E., HALAJ, M. Meranie technických veličín. 1. vyd. Bratislava: Vydavateľstvo STU, 1999. 688 s. ISBN 80-227-1275-2.
4. □ ČSN 01 0115 Mezinárodní slovník základních termínů v metrologii.
5. □ VDA 5 Způsobilost kontrolních procesů. 1. vyd. Praha: Česká společnost pro jakost 2004. 112 s. ISBN 80-02-01656-4.
6. Fiala, A.: Statistické řízení procesů. Prostředky a nástroje pro řízení a zlepšování procesů. VUT v Brně, 1997. ISBN 80-214-0895-2

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Jiří Pernikář, CSc.

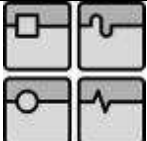
Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/2010.

V Brně, dne 19.11.2009

L.S.

doc. Ing. Petr Blécha, Ph.D.  
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.  
Děkan fakulty

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 4
DIPLOMOVÁ PRÁCE		

### ABSTRAKT

Práce řeší hodnocení přesnosti měření klopného momentu táhla řízení pomocí speciálního stroje. Vyhodnocuje jednotlivé parametry přesnosti, zvláště nejistotu měření.

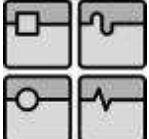
Klíčová slova: chyba měření, rozlišitelnost, nejistota měření, opakovatelnost, reprodukovatelnost, přesnost měření.

### ABSTRACT

Work smoothing - out evaluation accuracy of measurement monostable moment steering linkage by the help of special machine. Evaluates individual characteristics accuracy, especially uncertainty metering.

Keywords: measurement error, resolution, measurement uncertainty, reproducibility, reproducibility, accuracy of measurement.

NOVOTNÝ, P. *Analýza kontroly klopného momentu axiálního táhla řízení*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. XY s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jiří Pernikář, CSc.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 5
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce pana Doc. Ing. Jiřího Pernikáře, CSc. a za použití uvedené literatury.

V Jemnici dne 10.5.2010

.....  
Podpis

**Poděkování:**

Za vstřícnost a čas, cenné rady a odbornou pomoc bych rád poděkoval panu Doc. Ing. Jiřímu Pernikářovi, CSc., kolektivu Centra technické podpory společnosti TRW-DAS Dačice a. s., ale hlavně své rodině za skvělé zázemí a trpělivost při mém studiu na vysoké škole.

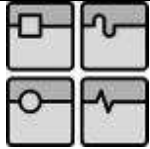
**OBSAH:**

<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>1 SPOLEČNOST TRW</b> .....	<b>11</b>
1.1 TRW – přední světový dodavatel automobilových dílů .....	11
1.2 TRW – DAS a.s. Dačice – historie závodu .....	12
1.3 TSCD (technical support center) – centrum technické podpory .....	13
<b>2 AXIÁLNÍ TÁHLO ŘÍZENÍ</b> .....	<b>14</b>
2.1 Axiální táhlo jakou součást osobního automobilu.....	14
2.2 Axiální táhlo řízení, výrobní varianty .....	15
2.3 Axiální táhlo řízení jako důležitý bezpečnostní prvek.....	16
2.4 Součásti axiálního táhla řízení .....	18
<b>3 KOMPONENTY AXIÁLNÍHO TÁHLA ŘÍZENÍ A MĚŘÍCÍ ZAŘÍZENÍ</b> .....	<b>19</b>
3.1 Vliv kulového čepu na výkyvný moment .....	19
3.1.1 Materiálová charakteristika kulového čepu axiálního táhla řízení .....	19
3.1.2. Obrábění koule kulového čepu axiálního táhla řízení .....	20
3.2 Vliv hlavy kulového kloubu na výkyvný moment .....	21
3.3 Chování polymerů– fyzikální podstata deformace.....	22
3.3.1 Vlastnosti polyoxymethylenu, vliv na výkyvný moment axiálního táhla.....	23
3.3.2 Vlastnosti polyuretanu, vliv na výkyvný moment axiálního táhla.....	24
3.4 Měřicí a klimatická zařízení .....	26
3.4.1 Rexroth Syeanl – univerzální měřicí stroj pro měření momentů .....	26
3.4.2 Teplotní a klimatická komora Vötsch .....	27
<b>4 MOŽNOSTI OVLIVNĚNÍ KLOPNÉHO MOMENTU</b> .....	<b>28</b>
4.1 Materiálová změna montovaných komponentů .....	28
4.2 Snížení zaválcovacího tlaku hlavy kulového kloubu.....	28

4.3	Zmenšení drsnosti povrchu koule kulového čepu.....	28
4.4	Zmenšení průměru koule kulového čepu.....	29
4.5	Dotváření plastových částí tepelným ovlivněním .....	29
<b>5</b>	<b>VLASTNÍ MĚŘENÍ.....</b>	<b>30</b>
5.1	Pojem výkyvný moment dle specifikace .....	30
5.2	Výkyvný moment.....	30
5.3	Postupy zkoušek měření klopného momentu.....	31
<b>6</b>	<b>PRŮBĚH A VÝSLEDKY ZKOUŠEK .....</b>	<b>32</b>
6.1	Průběh zkoušky.....	32
6.2	Výsledky měření klopného momentu (tab. č.11).....	32
6.3	Výsledky měření klopného momentu – graficky.....	34
6.4	Základní metrologické pojmy.....	35
6.4.1	Přesnost měření.....	35
6.4.2	Pravá hodnota veličiny .....	35
6.4.3	Podmínka opakovatelnosti měření.....	35
6.4.4	Opakovatelnost měření.....	35
6.4.5	Podmínka reprodukovatelnosti měření.....	35
6.4.6	Reprodukovatelnost.....	35
6.4.7	Preciznost měření .....	35
6.4.8	Stabilita.....	36
6.5	Základní statistické pojmy .....	36
<b>7</b>	<b>ANALÝZA SYSTÉMU MĚŘENÍ KLOPNÉHO MOMENTU.....</b>	<b>37</b>
7.1	Potenciální vlivy na systém měření.....	37
7.2	Gage R&R studie .....	39
7.3	Stabilita měřícího zařízení.....	42
7.5	Nejistota měření .....	43

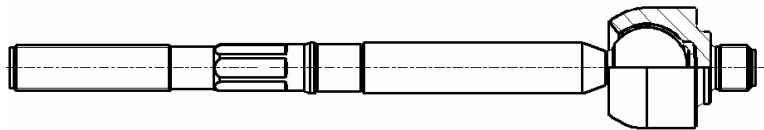


7.6	Postup výpočtu nejistoty měření.....	44
<b>8</b>	<b>PROKÁZÁNÍ SHODY SE SPECIFIKACE DLE ČSN EN ISO 142543-1 .....</b>	<b>47</b>
8.1	Předmět normy .....	47
8.2	Základní pojmy nezbytné pro prokázání shody se specifikacemi .....	47
8.3	Pravidlo prokazování shody se specifikacemi.....	47
<b>9</b>	<b>TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....</b>	<b>49</b>
	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>50</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>51</b>
	<b>POUŽITÉ SYMBOLY .....</b>	<b>53</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>54</b>



## ÚVOD

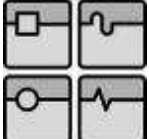
Ve zkušebně TRW-DAS Dačice a.s. byl zaznamenán problém s příliš vysokými klopnými momenty axiálních táhel řízení. Naskytla se tedy možnost podílet se na otázce, jak uvedený problém vyřešit. Existuje řada zásahů do technologického procesu, kterými lze tuto vlastnost táhla ovlivnit. Nicméně razantní zásah do výroby s sebou nese řadu problémů, zejm. navýšení nákladů. Již několikrát v minulosti se osvědčil postup z následnou povýrobní tepelnou kalibrací dílů. Ta spočívá v ponechání sledovaných vzorků po určitý čas v dané teplotě v teplotní komoře. Při jakých teplotách, to byl, kromě technologického rozboru součásti, prvotní úkol této práce.



Obr.1: axiální táhlo řízení

V další části je řešena analýza měření klopného momentu axiálního táhla řízení. Důležitou otázkou v této oblasti bylo stanovení parametrů opakovatelnosti a reprodukovatelnosti, zpracování studie Gage R&R, sledování stability měřícího zařízení, a hlavně výpočet nejistoty měření. Data byla zpracovávána řadou programů, zejm. se pak jednalo o software Minitab 15.

Je nutné ještě podotknout, že axiální táhlo řízení je důležitý bezpečnostní prvek automobilu, při čemž selhání jeho funkce může mít za následek fatální zranění.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 11
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

## 1 SPOLEČNOST TRW

### 1.1 TRW – přední světový dodavatel automobilových dílů

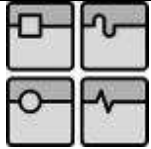
Počátky vzniku společnosti se datují do roku 1901, kdy se americká firma ještě pod názvem Thomson products zabývá výrobou nářadí. O osm let později získává první zakázku pro Ford motor Company.

V roce 1957 je založen první závod mimo USA (Anglie). V dalším roce se společnost stala hlavním činitelem v kosmickém a leteckém průmyslu, zejména díky fúzi společnosti Thompson Products Inc. s Ramo-Woolridge Corporation v Kalifornii. Tato fúze měla za následek vznik Thompson – Ramo-Woolridge Corporation, odtud zkratka názvu TRW. V témže roce Kelsey Hayes vyvíjí senzor, který byl později používán pro regulaci rychlosti jízdy a v protiblokovacích brzdových systémech známý jako ABS.

Dalším přelomovým rokem byl rok 1967, kdy společnost TRW vyvinula řízení do automobilu s pastorkem a hřebenem (v této oblasti dodnes zůstává světovou špičkou). O dva roky později se firma podílí na vývoji sondy, která bude schopna prozkoumat planetu Mars. V té době dochází k rozdělení společnosti na TRW – Automotive (výroba bezpečnostních prvků, komponentů řízení, dílů motorů a elektroniky) a TRW – Aerospace (vývoj satelitních systémů a telefonů, výroba raketových motorů). V roce 1973 byla dokončena sonda PIONEER 10 a později PIONEER 11. Díky tomu získala firma velkou prestiž a začala se podílet na vývoji mezikontinentálních balistických raket pro vládu USA. V roce 2001 společnost TRW prodala kosmickou divizi firmě Goodrich and Northrop Grumman [22].

O rok později TRW uvádí na trh první elektronický parkovací brzdový systém na voze Audi A8. U automobilu Volkswagen Phaeton je použit TRW adaptivní tempomat. V roce 2004 patentován silikonový iniciátor airbacku, 2008 první implementace kamery do systému elektronického řízení a řada dalších [5].

Celosvětově má TRW v současné době 60000 zaměstnanců, kteří pracují v síti 167 závodů. Mezi zákazníky se řadí takové značky jako BMW, Porsche, Audi, Nissan, Volvo, Lamborhinni, Mercedes, Ferrari, Masserati, Automotive systeme a další.



## 1.2 TRW – DAS a.s. Dačice – historie závodu

1960 - Firma OZAP založila nový závod v Dačicích. Započala výstavba prvních budov. Roku 1965 Závod Dačice převzala firma SVA a započala výroba komponentů pro automobilový průmysl (řízení na Š 100, Š 110, řízení Gemer pro Avii). V roce 1973 se uskutečňuje fúze SVA s firmou Praga. O devět let později započatá výroba hřebenových řízení pro Škodu a roku 1987, kdy se závod stává součástí koncernu Avia, se začaly vyrábět motorové ventily, o rok později produkce sloupku volantu pro Škodu. V roce 1993 vzniká akciová společnost TRW-DAS. TRW Inc. získává 92 % akcií. V průběhu devadesátých let se uskutečňuje transfer vodících tyčí z FWS (závodu v Německém Düsseldorfu), dále pak transfer dutých kloubů, certifikace ISO 9002, vývoj nového sloupku volantu pro Daewoo Avia. Rozjíždí se i výroba vnějších kloubů řízení pro Fiat Punto, výroba manuálních řízení VW, elektricko-hydraulických řízení taktéž pro Volkswagen a výroba dutých kloubů pro PSA, uskutečněn transfer vodících tyčí ze závodu v italském Livornu. TRW DAS Dačice a. s. je certifikováno dle norem ISO 14001:2004 a ISO/TS 16949:2002. Velkým mezníkem pro celý závod je rok 2002, kdy bylo založeno Testové a Validační centrum, ze kterého se později vyvíjí a v roce 2006 buduje TSCD – centrum technické podpory. [23]



Obr.2: Letecký snímek závodu TRW-DAS a. s. Dačice [6]

### 1.3 TSCD (technical support center) – centrum technické podpory

V roce 2006 bylo založeno Centrum technické podpory, které se skládá z Testového a Validačního centra a Vývojového centra. V současné době zaměstnává 45 zkušebních a vývojových inženýrů, příp. techniků. Velice úzce spolupracuje se zkušebními a vývojovými centry ve Velké Británii a Německu.

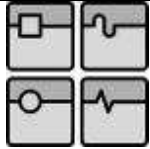
Testové a Validační centrum provádí různorodé testy a služby pro TRW výrobky jako jsou: systémy vodících tyčí a závěsů kol, hydraulická řízení, sloupky volantu. Testová laboratoř se rozkládá na více než 1800 m<sup>2</sup>.

Zaměstnanci se dělí na 4 týmy - L&S (Linkage and Suspension) vodící tyče a zavěšení kol, R&P (Rack and Pinion) mechanická a hydraulicky posilovaná řízení, C&I (Column and I-shaft) sloupky a bezpečnostní hřídele volantu a Prototype team. L&S provádí, jak funkční zkoušky táhel a vodících tyčí (axiální a radiální elasticita, měření krouticích a klopných momentů, vytržení a vytlačení čepů kloubů), tak i dlouhodobé testy opotřebení či environmentální zkoušky v solné mlze. R&P realizují dlouhodobé testy opotřebení systémů řízení včetně funkčních zkoušek, únavové testy apod. C&I testují sloupky a bezpečnostní hřídele volantu včetně dlouhodobých testů, funkčních zkoušek a v neposlední řadě i crash testy sloupku volantu.

V této laboratoři byla prováděna veškerá měření týkající se této diplomové práce. Další fotografická dokumentace uvedena v příloze této práce.



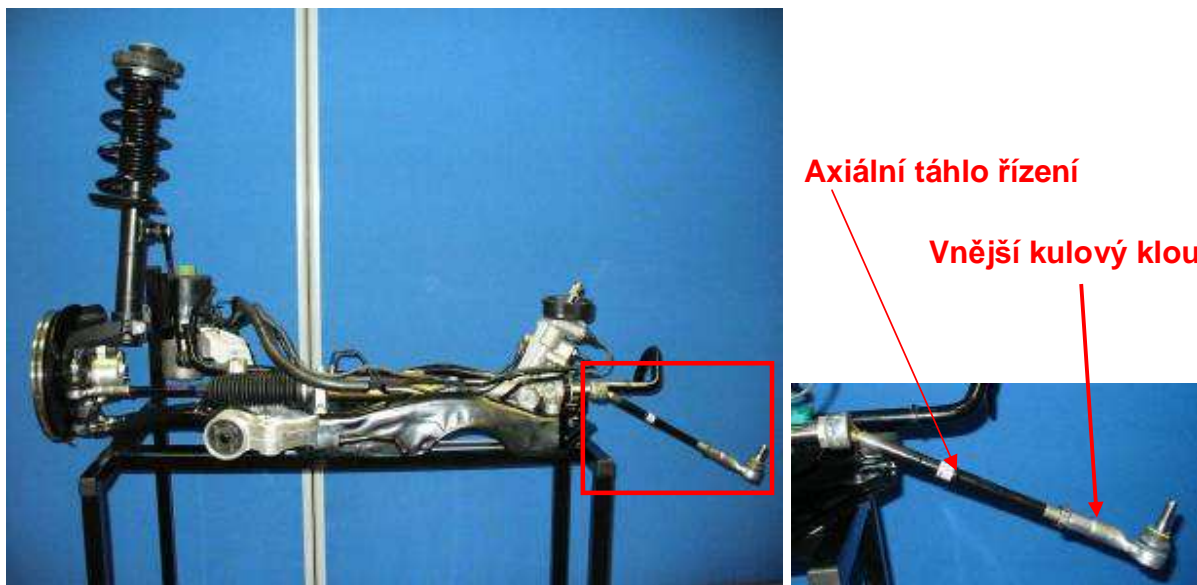
Obr. 3 a 4: Testovací laboratoř v centru technické podpory



## 2 AXIÁLNÍ TÁHLO ŘÍZENÍ

### 2.1 Axiální táhlo jakou součást osobního automobilu

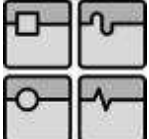
Axiální táhlo neboli na anglického jazyka IBJ (inner ball joint) je součástí systému řízení osobních (viz obr. 5) i nákladních automobilů. Spolu s vnějším kulovým kloubem tvoří montážní celek – kompletní táhlo řízení (viz obr. 5).



Obr. 5: Náprava Škody Fabie se systémem řízení a detail kompletního táhla řízení

Je nutné podotknout, že se tato práce zabývá analýzou měření klopného momentu axiálního táhla řízení, ale existuje řada dalších nezbytných zkoušek a měření pro zajištění dostatečného množství informací a výsledků vyhovujících přísným požadavkům zákazníka.

Kompletní táhlo řízení zabezpečuje spojení hřebenu řízení s těhlicí kola a přenáší veškeré síly pro natáčení předních kol a také síly vyvolané jako reakce na síly působící na vozidlové kolo při jízdě. Axiální táhlo řízení (nebo též vnitřní kulový kloub) umožňuje kývavý pohyb, který kopíruje pružení kola (např. při brždění, průjezdu zatáčkou atd.). Vnější kulový kloub dovoluje jak pohyb kývavý (kompenzace pružení kola) tak i pohyb otáčivý, který je vyvoláván otáčením kola dle rejdové osy nápravy. Z hlediska konstrukce přední nápravy jako celku je nejpodstatnější celková délka táhla řízení, tato

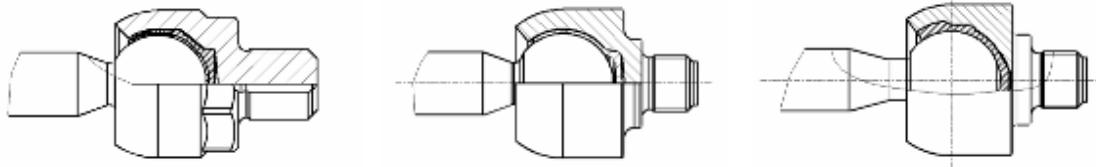
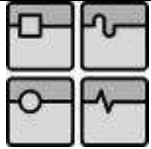
	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 15
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

ovlivňuje změnu úhlu natočení kol (sbíhavost) při propružení kola. Čím delší táhlo řízení tím je ovlivnění daného úhlu natočení kola menší. Naopak krátké táhlo řízení významně ovlivňuje při propružení změnu úhlu kola. Pevnost v tlaku (vzpěr) táhla řízení je podstatná pro pasivní bezpečnost automobilu i pro krizové situace, při kterých musí být s naprostou zárukou zabezpečeno, že automobil bude nadále (v některých případech jen nouzově) říditelný. Takové situace jsou např. projetí velké příčné nerovnosti na vozovce, boční najetí kolem na překážku atd. Většina automobilů má vnitřní a vnější kulový kloub na každé straně vozidla. Bez ohledu na to, jaký typ automobilu máte, táhlo se časem opotřebovává, což se projeví vůlí ve vnějším, ale zejm. ve vnitřním kulovém kloubu, což může způsobit problémy s řízením vozidla. Vůle se projevuje klapáním a může vést k výrazně vyššímu opotřebení desénu na pneumatikách. Je proto vhodné kontrolovat (i pouhým okem) stav závitů, těžší opotřebení na táhle řízení a zamezit tak tomu, že se stane nebezpečným nejen řidiči či spolujezdcům, ale i dalším účastníkům silničního provozu.

Kvalita je proto pro výrobce na prvním místě a velká pozornost se věnuje i proměřování funkčních vlastností, jako např. výkyvný a rotační moment, axiální a radiální elasticita, pevnostní testy (vytržení čepu kloubu, vzpěr), materiálové zkoušky či environmentální testy a analýzy. Nezbytné jsou též dlouhodobé testy opotřebení (cyklické zatěžování kloubu s funkčními zkouškami před a po testu), či únavové testy spočívající v cyklickém zatěžování kloubu až do naprostého zničení dílu. Nelze ani opomenout testy na chování a změny funkčních vlastností při různých teplotních podmínkách.

## 2.2 Axiální táhlo řízení, výrobní varianty

Ve společnosti TRW – DAS Dačice a.s. se axiální táhla vyrábějí ve třech různých formách designu: s dvojitým lůžkem, s jednoduchým lůžkem a jednoduchým lůžkem termálně ovlivněným (viz obr. 6).



Obr. 6: a) dvojité lůžko      b) termálně ovlivněné jednoduché      c) jednoduché lůžko

Výhody, nevýhody a požadavky na funkční vlastnosti jednotlivých designů jsou uvedeny v tabulce č. 1. (pro zjednodušení data uvedena pro průměr koule 25 mm).

	Dvojité lůžko	Jednoduché lůžko s teplotním zprac.	Jednoduché lůžko
<b>Povolovací klopný moment (<math>M_{KL}</math>)</b>	= 2,5 – 10 Nm	<= 8 Nm	<= 8 Nm
<b>Výkyvný moment (<math>M_K</math>)</b>	0,35-1,50 Nm	0,3-2,2 Nm	0,5-2,5 Nm
<b>Axiální elasticita (<math>E_A</math>)</b>	0,03-0,08 at +/-1KN	0,03-0,09 at +/-3KN	<=0,1 at +/-3KN
<b>Síla na vytržení čepu (<math>F_z</math>)</b>	>= 30KN	>=30KN	>=30kN
<b>Max. úhel výkyvu (<math>A_A</math>)</b>	>=64°	>=64°	>=60°
<b>Výhody</b>	Vyšší axiální elasticita (v příp. požadavku zákazníka)	Vysoká odolnost i při vyšších teplotách	Nízké náklady
	Nižší náklady na výrobu	Dobrá odolnost proti hlučnosti kloubu	Nejvyšší odolnost proti opotřebení Nejsou nezbytná měření $E_A$
<b>Nevýhody</b>	Vyšší axiální elasticita (v případě, že není požadována)	Složitější výroba vzhledem k nižšímu rozsahu elasticity	Potřeba dvou druhů maziva
	Vyšší tendence k hlučnosti kloubu	100% měření $E_A$	Horší manipulace vzhledem k přítomnosti tuku u krčku čepu
		Vyšší náklady (vzhledem k teplotnímu zpracování)	

Tab. 1 : Výhody, nevýhody a požadované funkční vlastnosti axiálních táhel

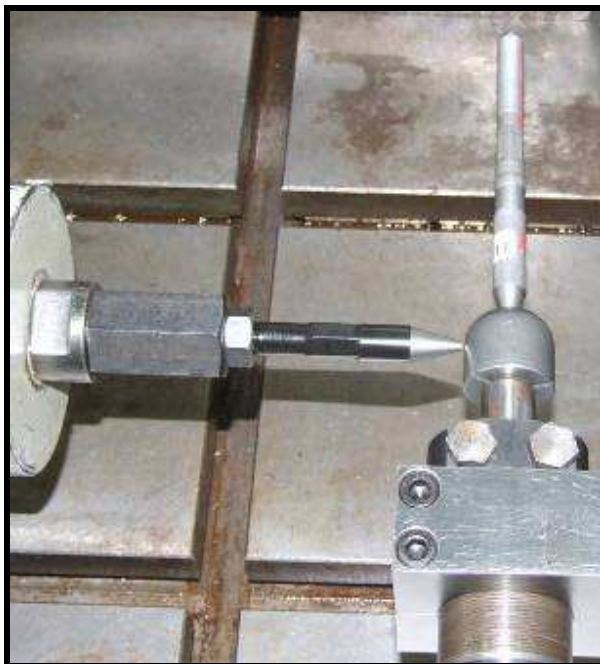
### 2.3 Axiální táhlo řízení jako důležitý bezpečnostní prvek

Jak již bylo uvedeno, na axiálním táhle řízení se provádí celá řada, jak materiálových testů, tak zkoušek a měření celé součásti. Mezi nejdůležitější patří měření axiální elasticity, povolovacího klopného momentu, klopného momentu. Provádí se na něm zkoušky dlouhodobého opotřebení, simulace provozní zátěže, environmentální testování. Ale jednoznačně nejdůležitější zkouškou je test vytržení kulového čepu



z hlavy táhla. Pokud tento parametr selže při provozu, ztrácíme kontrolu nad řízením kola a tím i celého vozidla.

Je nezbytné podívat se právě i na výše zmíněný důležitý test bezpečnosti a to vytržení kulového kloubu z hlavy axiálního táhla řízení. Měření se provádí na trhačím stroji Schenck UPM 600 kN. Do upínacích čelistí se upne horní část kulového čepu (v délce 5 – 6 cm). Přes adaptér je upnuta i hlava táhla. Specifikovanou rychlostí zatěžujeme až do plné destrukce táhla (obr.č. 8).

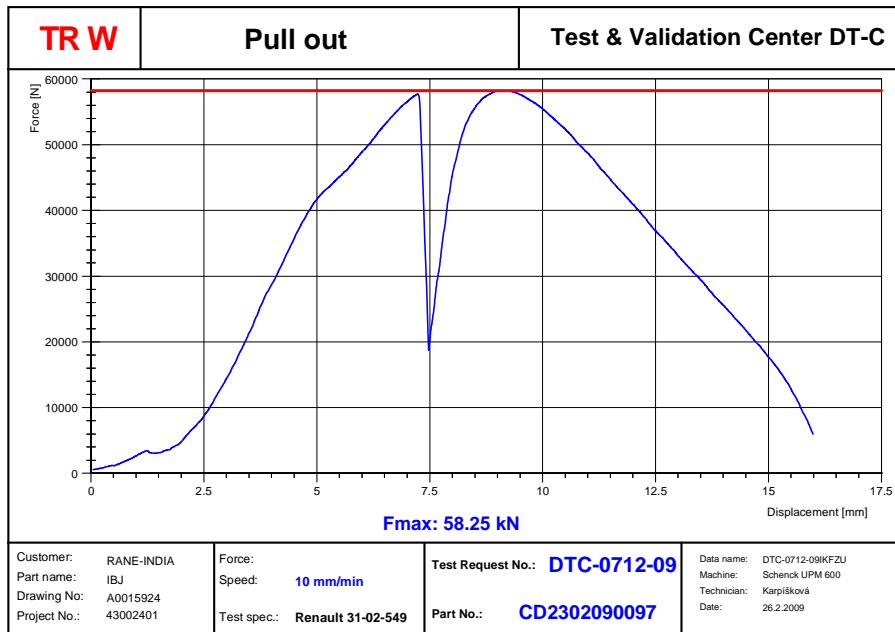
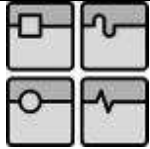


Obr. č. 8 – test ohybem



Obr. č. 7 – test vytržení

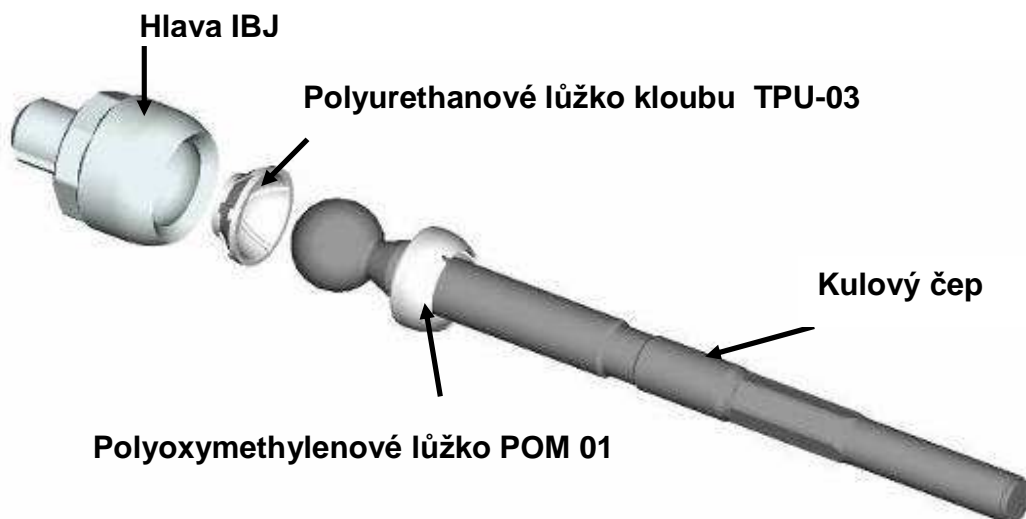
Dalším pravidelným testem je test ohybu závitu hlavy táhla. Lineárním nárůstem síly tlačíme na hlavu táhla. Zkouška se opět provádí do úplné destrukce. (obr. č. 7). Průběh testu vytržení je vidět na obr. č. 9 – Graf průběhu síly v závislosti na dráze.



Obr. č. 9 Průběh síly při zatěžování axiálního táhla řízení (test vytržení)

## 2.4 Součástí axiálního táhla řízení

Jak již bylo uvedeno, v této práci se zabývá dvoulůžkovým axiálním táhlem řízení. Pro ilustraci jsou jednotlivé komponenty uvedeny v obr. 10.



Obr. 10: Axiální táhlo řízení

### 3 KOMPONENTY AXIÁLNÍHO TÁHLA ŘÍZENÍ A MĚŘÍCÍ ZAŘÍZENÍ

#### 3.1 Vliv kulového čepu na výkyvný moment

Výroba sledovaného kulového čepu se řídí interním technologickým postupem společnosti TRW-DAS Dačice a. s. vytvořeném na základě zákaznických specifikací. Vzhledem k tomu, že největší vliv na výkyvný moment a má především materiál komponentu a výroba a povrch koule kulového čepu, budu se dále zabývat právě těmito vlastnostmi prezentovaného dílu.

##### 3.1.1 Materiálová charakteristika kulového čepu axiálního táhla řízení

Materiálová charakteristika kulového čepu řízení se řídí normou TRW EN-2400 společnosti TRW Automotive. Název oceli použité pro výrobu tohoto dílu je dle specifikace 27 MnSiV5 (č. ocele 1.5232). Jde tedy o kalenou feriticko-perlitickou ocel s přídavkem vanadu. Kromě feriticko-perlitické struktury se může za speciálních podmínek objevit bainitická a (nebo) martenzitická struktura [12]. Další materiálová skladba je upřesněna v tabulce č. 2, odchylky od materiálového množství v tabulce č. 3 a fyzikálně mechanické vlastnosti v tabulce č. 4.

Ocel	Zastoupení jednotlivých prvků (%)					
	C	Si	Mn	P	S	V
27 MnSiV6	0,2 - 0,30	0,25 - 0,80	1,30 - 1,60	≤ 0,025	0,030 - 0,050	0,08 - 0,13

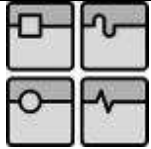
Tab. č.2: Materiálová skladba ocele 27 MnSiV5 [12]

Ocel	Dovolené odchylky chemického složení (%)					
	C	Si	Mn	P	S	V
27 MnSiV6	≤ 0,020	≤ 0,050	≤ 0,050	≤ 0,005	≤ 0,005	≤ 0,02

Tab. č. 3: Dovolené odchylky od chemického složení ocele 27 MnSiV5 [12]

Ocel	Mechanické vlastnosti				
	Re [N/mm <sup>2</sup> ]	Rm [N/mm <sup>2</sup> ]	A [%]	z [%]	Tvrlost [HRC]
27 MnSiV6	500	800 - 950	14	30	48

Tab. č. 4: Mechanické vlastnosti ocele 27 MnSiV5 [12]



### 3.1.2. Obrábění koule kulového čepu axiálního táhla řízení

Způsob obrábění koule kulového čepu axiálního táhla řízení se řídí interním technologickým postupem firmy TRW – DAS Dačice a. s. Veškeré rozměry a tolerance jsou uvedeny na výrobním výkresu. Obrábění koule se provádí na jednoúčelovém kulostroji s křížovým supportem.



Obr. 11 a 12. Koule čepu před a po obráběcí operaci

Kromě přesnosti tvaru koule, která je na tomto stroji dostatečně zajištěna, má největší význam na velikost výkyvného a povolovacího výkyvného momentu především drsnost povrchu obráběné součásti, jenž je kromě požadované tvaru a rozměrů hlavním cílem realizace řezného procesu při obrábění. Sledování jednotlivých parametrů jakosti povrchu obrobených součástí je důležité zejména s ohledem na velmi úzkou souvislost těchto parametrů s chování součástí při jejich funkci v jednotlivých strojních zařízeních. Z hlediska obrábění je jakost povrchu obrobku ovlivněna hlavně obráběným materiálem, řeznými podmínkami (řezná rychlost, posuv na otáčku a hloubka řezu při podélném soustružení), geometrie nástroje a v neposlední řadě i druhem nástrojového materiálu. Dalším velmi důležitým činitelem, který ovlivňuje skutečnou drsnost obrobené plochy je průběh opotřebení nástroje, hlavně v případech, kdy dochází k prolomení výmolu na čele do vedlejšího ostří. Proto je sledování a vyhodnocování tohoto kritéria opotřebení velmi důležité zejména u dokončovacích operací, u kterých je nejsledovanějším parametrem jakost obrobené plochy a velikost úběru zde nehraje hlavní roli [2].

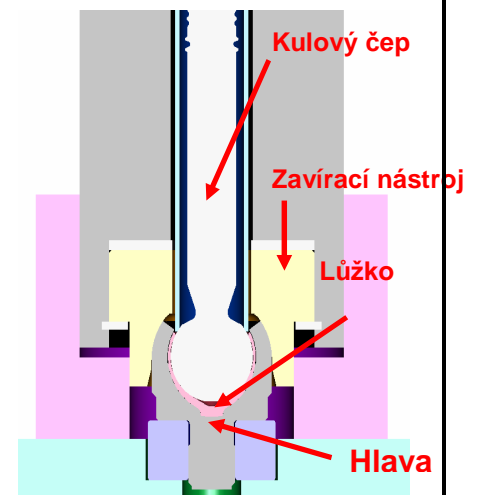
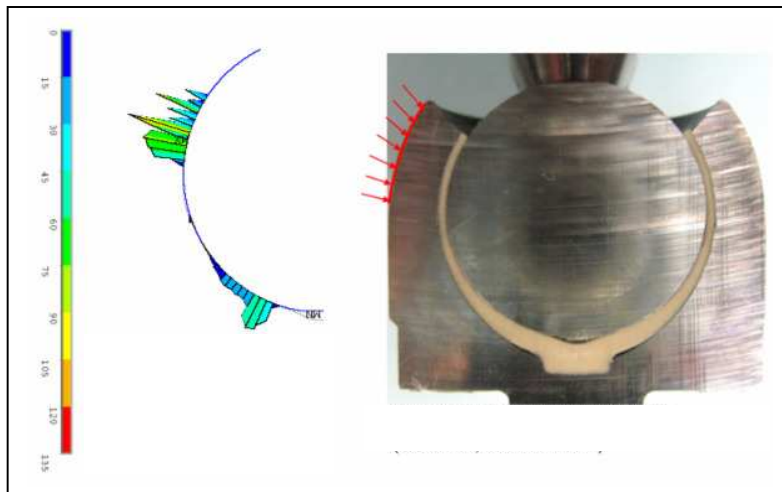
### 3.2 Vliv hlavy kulového kloubu na výkyvný moment

Materiálová charakteristika hlavy kulového kloubu řízení se řídí normou DIN-EN10263-2. Název ocele použité pro výrobu tohoto dílu je dle specifikace C15C (č. oceli 1.0234). Chemické složení a mechanické vlastnosti jsou upřesněny v tabulce č. 5.

Ocel č.	Symbol	Zastoupení jednotlivých prvků (%)						Mechanické vlastnosti	
		C	Si	Mn	P	S	Al	Rm [N/mm <sup>2</sup> ]	z [%]
1.0234	C15C	0,13 – 0,17	≤ 0,10	0,35 – 0,60	≤ 0,025	≤ 0,025	0,020 – 0,060	460	25

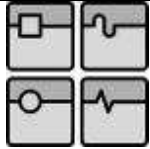
Tab. č.5: Chemické složení a mechanické vlastnosti ocele C15C [12]

Hlava kulového kloubu slouží především k uložení plastových lůžek, vliv na výkyvný moment je především v montáži a způsobu zaválcování kulového čepu do hlavy axiálního táhla. Zaválcovací tlak  $P_z$  pro sledovaný vzorek je 14MPa.



Obr.13: Kontaktní tlak při zaválcování koule – lůžko Obr.14: Schéma zaválcování IBJ

Vzhledem k pevně daným parametrům zaválcování v technologickém postupu a s ohledem na další případné negativní ovlivnění dalších funkčních vlastností kloubu se tato studie nebude dále zabývat jejich modifikací.



### 3.3 Chování polymerů– fyzikální podstata deformace

Mechanické vlastnosti polymerů jsou dány zejména strukturou ale také je velmi ovlivňuje teplota a prostředí. Jsou charakterizovány stejnými vlastnostmi jako kovy.

Z chemického hlediska jsou polymery makromolekulární látky. Molární hmotnost převyšuje 1000 a běžné plasty mají průměrnou molární hmotnost od 10000 výše. Plasty se vyznačují tím, že jejich molekula je v podstatě řetězec základních stavebních jednotek (monomerů), které jsou mezi sebou vázány pevnými kovalentními vazbami. Tyto řetězce se mohou větvit, navzájem propojovat a tvořit spolu prostorovou síť.

Vlastnosti makromolekul (tuhost v tahu i ohybu, pevnost, chemická stabilita) jsou dány především chemickou strukturou hlavního řetězce. Veškeré pozorované makroskopické deformační vlastnosti plastů jsou výsledkem jejich molekulární a nemolekulární struktury a jejich změn v průběhu silového zatížení. Elastická deformace těchto vazeb ve smyslu jejich natažení je velmi obtížná. Poněkud nižší tuhost řetězců směru podélném mají polymery, u nichž sousední vazby svírají úhel menší než  $180^\circ$  a deformace se uskutečňuje elastickou změnou vazebních úhlů. Meziřetězcové vazby jsou většinou van der Waalsova typu. Jsou řádově slabší než kovalentní vazby. Vnější silovým působením či zvýšenou teplotou je lze snadno překonat. Vyšší odolnosti můžeme očekávat jen v případě, že uspořádanost řetězců je natolik veliká, že při silovém namáhání vazeb dochází k deformaci více vazeb současně (krystalické materiály). V případě vysokých teplot, kdy jsou meziřetězcové vazby natolik překonány, že se mohou části řetězců po sobě volně posouvat, se chová plast podobně jako běžné kapaliny [20].



Obr. č. 15: Polyuretanové lůžko



Obr.č.16: Polyoxymethylové lůžko

### 3.3.1 Vlastnosti polyoxymethylenu, vliv na výkyvný moment axiálního táhla

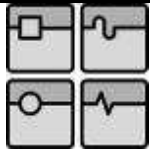
Polyoxymethyleny POM (paraformaldehydy) jsou tvořeny heterogenním řetězcem ve kterém se střídají atomy uhlíku a atomy kyslíku: ...-O-CH<sub>2</sub>-O-CH<sub>2</sub>-O-CH<sub>2</sub>-... Řadí se mezi tzv. termoplasty semikrystalické, tzn. tyto plasty mají částečně krystalickou strukturu. Mají makromolekuly v poloze částečné, jsou tedy ohebné a houževnaté. Dále do této skupiny kromě POM patří i polyamidy, polypropyleny, polyetylény, acetáty celulózy a další. Etherová vazby v polymerním řetězci předurčuje chování polymerů této skupiny v prostředí chemických činidel. Očekává se velmi dobrá odolnost proti působení nepolárních organických látek, proti roztokům hydroxidů alkalických kovů a vodě. Má výborné mechanické vlastnosti proto se z něho vyrábějí součásti různých strojů [17]. Homopolymer polyoxymethylenu (POM 01) jako materiál pro výrobu lůžka axiálního táhla řízení se řídí vnitropodnikovou normou společnosti TRW Automotive č. TRW EN-0035. Mechanické vlastnosti POM 01 ve stavu dodání tabulka č. 6, po hydrolýze (21 dní při 80°C), po testu cirkulujícím vzduchem (21 dní při 80°C) a po testu v lithném mazacím tuku jsou v tabulce č. 7.

Mechanické vlastnosti	Požadavek specifikace
Hustota $\rho$ [g.cm <sup>-3</sup> ]	1,42 ± 0,01
Tvrdość HSh dle Shorea	82 ± 3
Teplota tání [°C]	180 ± 3
Tvrdość dle Brinella HB 358/30 [HB]	≥ 120
Pevność v tahu Rm [N.mm <sup>-2</sup> ]	≥ 70
Tažność A [%]	≥ 20
Rázová houževnoť Rt [kJ.m <sup>-2</sup> ]	≥ 90
Vrubová houževnoť Rt [kJ.m <sup>-2</sup> ]	≥ 3
Oděr [mm <sup>3</sup> ]	≥ 50

Tab. č. 6: Mechanické vlastnosti polyoxymethylenu dle normy TRW EN-0035 [12]

Změna vlastnořtí	Hydrolýza - destil. voda (21 dní při 80°C)	Cirkulující vzduch (21 dní při 80°C)	Lithný mazací tuk (21 dní při 80°C)
Tvrdość dle Shorea HSh	± 8	± 4	± 2
Pevność v tahu Rm [%]	± 5	± 5	± 5
Tažność A [%]	+ 20 / - 70	+ 20 / - 60	+ 20 / - 60
Hmotność m [%]	± 2	± 2	± 1
Objem V [%]	± 2	-	± 2

Tab. č. 7: Změny mechanických vlastnořtí za daných podmínek [12]



### 3.3.2 Vlastnosti polyuretanu, vliv na výkyvný moment axiálního táhla

Termoplastický polyuretan patří do skupiny elastomerů. Jako všechny termoplastické elastomery je termoplastický polyuretan elastický a tepelně zpracovatelný nejběžnější za užití vstřikovacích, vakuových anebo lakovacích zařízení. Termoplastický polyuretan se od ostatních termoplastických elastomerů liší hlavně výrazným množstvím kombinací fyzikálních vlastností, což z něj dělá extrémně flexibilní materiál, který je možno adaptovat na nespočetné množství aplikací.

Termoplastický polyuretan TPU-03 jako materiál pro výrobu lůžka axiálního táhla řízení se řídí vnitropodnikovou normou společnosti TRW Automotive č. TRW EN-0062. Mechanické vlastnosti TPU-03 jsou popsány v tabulce č. 8, po hydrolyze (21 dní při 80°C), po testu cirkulujícím vzduchem (21 dní při 80°C) a po testu v lithném mazacím tuku jsou v tabulce č. 9.

Mechanické vlastnosti	Požadavek specifikace
Tvrдость dle Shorea HSh [SHE]	53 -59
Teplota tání [°C]	neupřesněno
Odrazová pružnost [%]	≥ 30
Pevnost v tahu Rm [N.mm <sup>-2</sup> ]	≥ 30
Tažnost A [%]	≥ 350
Zkouška pevnosti v trhu [N.mm <sup>-1</sup> ]	≥ 100
Tlaková deformace 24h při 70°C [%]	≤ 55
Stálost v chladu při -40°C	bez trhlin

Tab. č. 8: Mechanické vlastnosti termoplastického polyuretanu dle normy TRW EN-0062 [12]

Změna vlastností	Hydrolyza - destil. voda (21 dní při 80°C)	Cirkulující vzduch (100 h při 80°C)	Lithný mazací tuk (100 h při 70°C)
Tvrдость dle Shorea [SHE]	± 8	± 3	± 5
Pevnost v tahu [%]	- 50	- 10	- 20
Tažnost A [%]	- 20	- 20	- 20
Hmotnost [%]	± 3	-	± 3
Objem [%]	± 3	-	± 3

Tab. č. 9: Změny mechanických vlastností za daných podmínek [12]



### 3.3.3 Vliv mazacího tuku Molykote Longterm 2/78 G na výkyvný moment IBJ

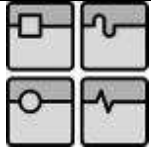
Molykote Longterm 2/78 G je vysoce účinný mazací tuk zejm. pro kombinace materiálů kov/kov pracujících při nízkých až mírných rychlostech a mírném až vysokém zatížení, kdy jsou plochy vystaveny třecí korozi, rýhování a vlhkosti. Proto je tedy vhodný pro použití v automobilech ve vedení řídicích pák, pohybové mechanizmy na podvozcích. Je velmi vhodný pro dlouhodobé mazání, neboť minimálně podléhá oxidaci, vyznačuje se vysokou odolností proti zadírání a dobrou ochranou proti korozi. Neobsahuje olovo a nikl. Jeho složení tvoří minerální olej, zahušťovadlo ve formě lithného mazacího mýdla, tuhého maziva, inhibitoru oxidace a inhibitoru koroze. Teplotní rozsah použití je od -35°C do +130°C (odolává tedy teplotám použitých při testu) [13]. Pro axiální táhlo řízení je množství tuku specifikováno na výkrese sestavy a to  $V = 0,8\text{cm}^3$ . Při montáži se tuk nanáší dvěma různými způsoby, buď jednobodově (sériové mazání) či šestibodově (manuální mazání) – viz obrázek 17. Dle interní normy firmy TRW Automotive jsou předepsány mezní odchylky od mechanických vlastností použitých plastů v závislosti na reakci použitého tuku (viz tab. č. 10).



Obr.č. 17: nanášení mazacího tuku při montáži

Změna vlastností při použití tuku Molykote 2/78 G a	Pevnost v tahu [%]	Protažení [%]	Hmotnost [%]	Objem [%]
Polyoxymetylen POM-01 (21 dní při 80°C)	-20	-20	3	3
Polyuretan TPU-03 (100 hodin při 70°C)	5	20 / -60	1	2

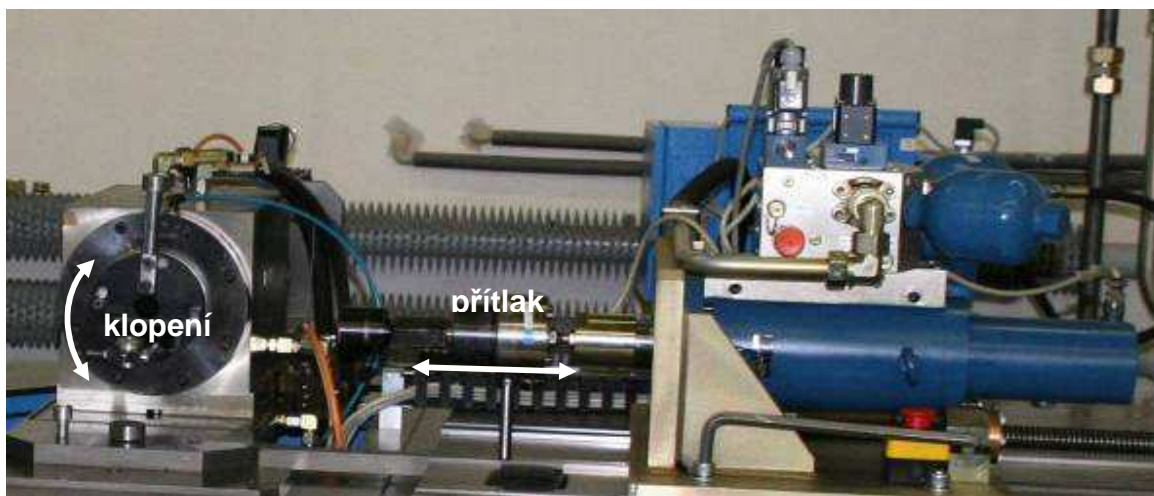
Tab. č. 10: Vliv tuku Molykote Longterm 2/78 G na mech. vlastnosti použitých plastů [12]



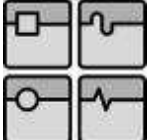
### 3.4 Měřicí a klimatická zařízení

#### 3.4.1 Rexroth Syeanl – univerzální měřicí stroj pro měření momentů

Veškerá měření prováděná na axiálním táhle řízení (klopný moment) byla prováděna na univerzálním měřicím stroji pro měření klopných a rotačních momentů, jehož možná využití jsou popsány v obrázku č. 18. Jde v podstatě o elektromechanicky ovládanou polohovací hřídel se snímačem krouticího momentu T5 od firmy HBM. Tento snímač je schopen měřit krouticí (výkyvný) moment v obou směrech a to v rozmezí od 0 – 20 Nm. Rexroth Syeanl je vyroben firmou Bosch Rexroth v kooperaci s firmou Mannesmann. Je vybaven hydraulickým válcem a samostatným hydraulickým agregátem pro případné měření momentu s axiálním či radiálním přitlakem (max. zatížení 10 kN). Celé zařízení je připojeno k počítači. Měření probíhá za pomoci softwaru Caesar a k vyhodnocování využíváme software Diadem od firmy National Instruments. National Instruments Diadem je software pro řízení, analýzu a prezentaci dat nashromážděných během získávání a/nebo generovaných během měření či simulace. NI Diadem je navržen tak, aby byl uživatel dostatečně informován a schopen učinit tak kvalifikovaná rozhodnutí a vyhovět tak požadavkům moderního měření a testování, které požaduje rychlý přístup k rozsáhlému objemu dat v souladu s názornou vizualizací. Diadem je optimalizován pro řízení a vyhodnocení dat z různorodých zdrojů a formátů [8].



Obr. č.18: Rexroth Syeanl – univerzální měřicí stroj

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 27
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

### 3.4.2 Teplotní a klimatická komora Vötsch

Po prvních měřeních byly jednotlivé kusy temperovány na dobu jedné hodiny pod teplotami 50°C, 80°C a 120°C. K teplotnímu ovlivnění došlo v teplotní a klimatické komoře Vötsch typ VTS 7060-5 (viz obr. 19).

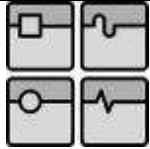
Firma Vötsch je světovou špičkou v oblasti komor pro simulaci teploty a klimatu. Na trhu Elektroniky v Mnichově v listopadu 2006 Vötsch představil novou, revoluční generaci komor pro testování v teplotách nebo klimatu. Komory nabízejí širokou paletu nových, unikátních prvků, které zatím žádný jiný výrobce nenabízí. Nový, vylepšený, dotykový panel umožňuje zobrazení provozních dat a diagnostických parametrů, které předstihuje vše, co zatím v tomto oboru bylo k vidění. Dříve nedosažitelné úrovně provedení a výkonu se dosáhlo podstatně vylepšeným chladícím systémem a autoadaptabilním systémem regulace.

Typ VTS 7060-5 nabízí testový systém pro variabilní způsoby teplotního ovlivnění, navíc i možnost teplotní regulace další komor prostřednictvím mobilních trubic, které lze



demontovat či využít k cirkulaci vzduchu. Množství cirkulujícího vzduchu se pohybuje od 300 – 800 m<sup>3</sup> / hod. Rozsah nastavitelných teplot je v rozmezí od -25°C do 150 °C. Vnitřní vlhkost se pohybuje mezi 10 do 80 %. Vnitřní objem klimatické komory je 1000 dm<sup>3</sup>. Dále komora disponuje vlastním dotekově ovládaným displayem, 32 bitovým řídicím mikroprocesorem, vzduchem regulovanou kondenzací, propojením na tiskárnu, 2 vstupní porty atd. Ovládací software se nazývá SIMPATI control software. Umožňuje naprogramování teplotních cyklů, pro účel této práce postačilo nastavení konstantní teploty [9].

Obr. č. 19: Klimatická komora Vötsch [9]



## 4 MOŽNOSTI OVLIVNĚNÍ KLOPNÉHO MOMENTU

Existuje celá řada postupů a operací, jak změnit (snížit) hodnotu klopného momentu axiálního táhla řízení.

- materiálová změna montovaných komponentů
- snížení zaválcovacího tlaku hlavy kulového kloubu
- snížení drsnosti povrchu koule kulového čepu
- zmenšení průměru koule kulového čepu
- dotvářením plastových součástí tepelným ovlivněním

### 4.1 Materiálová změna montovaných komponentů

Jedná se především o výměnu plastových misek z polyurethanu a polyoxymethylenu za jiný materiál s lepšími kluznými vlastnostmi. Tato varianta je možná ale pouze za cenu zvýšení ceny výrobku. Z toho důvodu se tento způsob nejeví jako nejvhodnější. Obdobný problém nastává i v případě maziva.

### 4.2 Snížení zaválcovacího tlaku hlavy kulového kloubu

Tento poměrně radikální zásah do výrobního postupu je taktéž možný, ale má negativní vliv na další funkční zkoušky axiálního táhla. Zejména může dojít ke snížení odolnosti proti vytažení čepu z hlavy a tím možné snížení bezpečnosti dílu. Zmenšení zaválcovacího tlaku by mohlo mít také za důsledek možné zvýšení axiální elasticity nad přípustnou hodnotu, která je pro tento případ dle tab. 1 maximálně 0,08 mm.

### 4.3 Zmenšení drsnosti povrchu koule kulového čepu

Podle výrobního výkresu kulového čepu je předepsána drsnost povrchu  $R_z = 3 \mu\text{m}$ . Tento povrch se docílí válcováním v jedné operaci společně se soustružením načisto. Další požadavek na snížení drsnosti povrchu by měl za důsledek technologické problémy výroby a prodloužení operačního času. Obě skutečnosti by měl přímý vliv na další navyšování ceny vyrobeného dílu.

#### 4.4 Zmenšení průměru koule kulového čepu

Změnou tohoto parametru bychom docílili snížení hodnot klopných momentů axiálního táhla. Tento důležitý funkční rozměr má přímý vliv jak na další výše zmíněné funkční zkoušky tak i na parametry jednotlivých montážních operací. Změna výkresové hodnoty by vedla k další změně indexu modifikace výkresu, kterou nutně provází nová validace dílu a tudíž i opoždění dodávek, prodražení procesu atd.

#### 4.5 Dotváření plastových částí tepelným ovlivněním

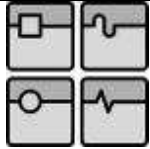
Během procesu zaválcování nastanou v kloubovém spoji nežádoucí napětí, která se projevují nedokonalým přilnutím plastových částí ke kouli čepu. Aby se tato napětí eliminovala, existuje možnost dotváření plastových misek vlivem tzv. kalibrační teploty. Oba použité plasty jsou termoplasty, při různých teplotách mění své vlastnosti.

Změny mechanických vlastností těchto plastů za působení teploty jsou uvedeny v tabulkách č. 7 a č. 9. Tato metoda se v podobných případech uplatňovala již v dřívějšku a dle interní studie nemá tepelné ovlivnění přímý důsledek na velikost axiální elasticity. Vzhledem k poměrně nízkým používaným teplotám nedochází k zásadnímu ovlivnění ocelových částí dílu. Z tohoto důvodu jsem se dále nezabýval myšlenou např. opakovaného ovlivnění.

Obdobnými testy, vypracované v interní studii společnosti TRW ve spolupráci s vývojovým střediskem TSCD bylo zjištěno, že je postačující doba tepelného ovlivnění 1 hodina. Při delším ponechání při konstatní teplotě nedochází k dalším změnám povolených, klopných ale i rotačních momentů.

Vzhledem k minimálnímu zásahu do výrobního procesu a relativně nízkému navýšení nákladů (o spotřebu elektrické energie) se jeví tato varianta oproti výše zmíněným jako nejvýhodnější. Zbývá nalézt nejvhodnější kalibrační teplotu.

S ohledem na vlastnosti termoplastů a jejich dostatečného ovlivnění jsem si vytýčil teploty 50°C, 80°C a 120°C. V případě nevyhovujících výsledků lze otestovat i teploty další.

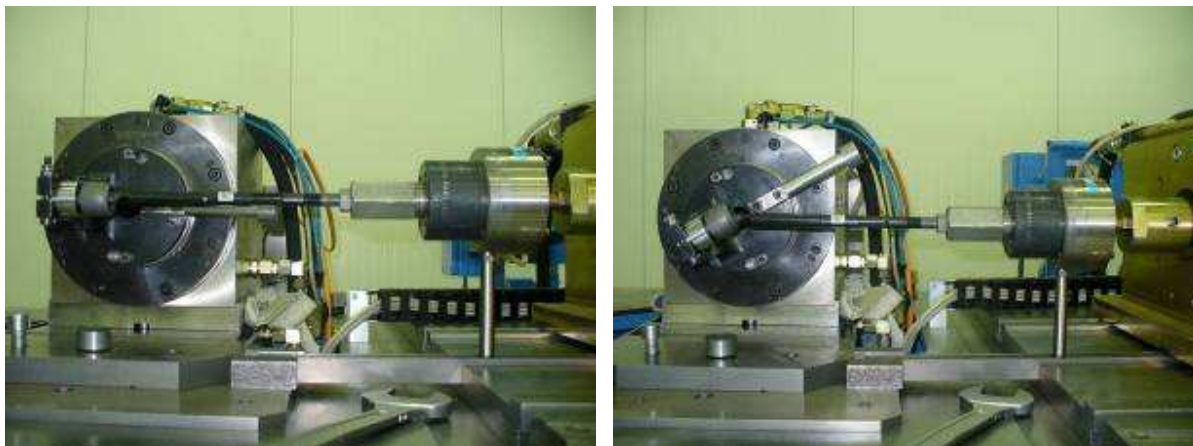


## 5 VLASTNÍ MĚŘENÍ

### 5.1 Pojem výkyvný moment dle specifikace

### 5.2 Výkyvný moment

Měření výkyvného momentu pro axiální táhlo se řídí interní specifikací AK-LH 14 (1995). Zkoušky se uskutečňují v nulové poloze a nebo z nulové polohy vycházejí. Funkce kloubu při upnutí hlavy táhla nesmí být pozměněna proti stavu při zamontování do vozidla. Požadavky musí být splněny nezávisle na směru rotace či výkyvu. Pro úplné promazání kloubu je třeba provést následující přípravné činnosti a to: 5 klopných pohybů přes celkový rozsah z nulové polohy a 5 kuželových pohybů okolo hlavní osy až do maximálního klopného úhlu [12]. Při vlastním měření namontujeme kloub do měřicího zařízení Rexroth Syeanl za pomoci přípravků.

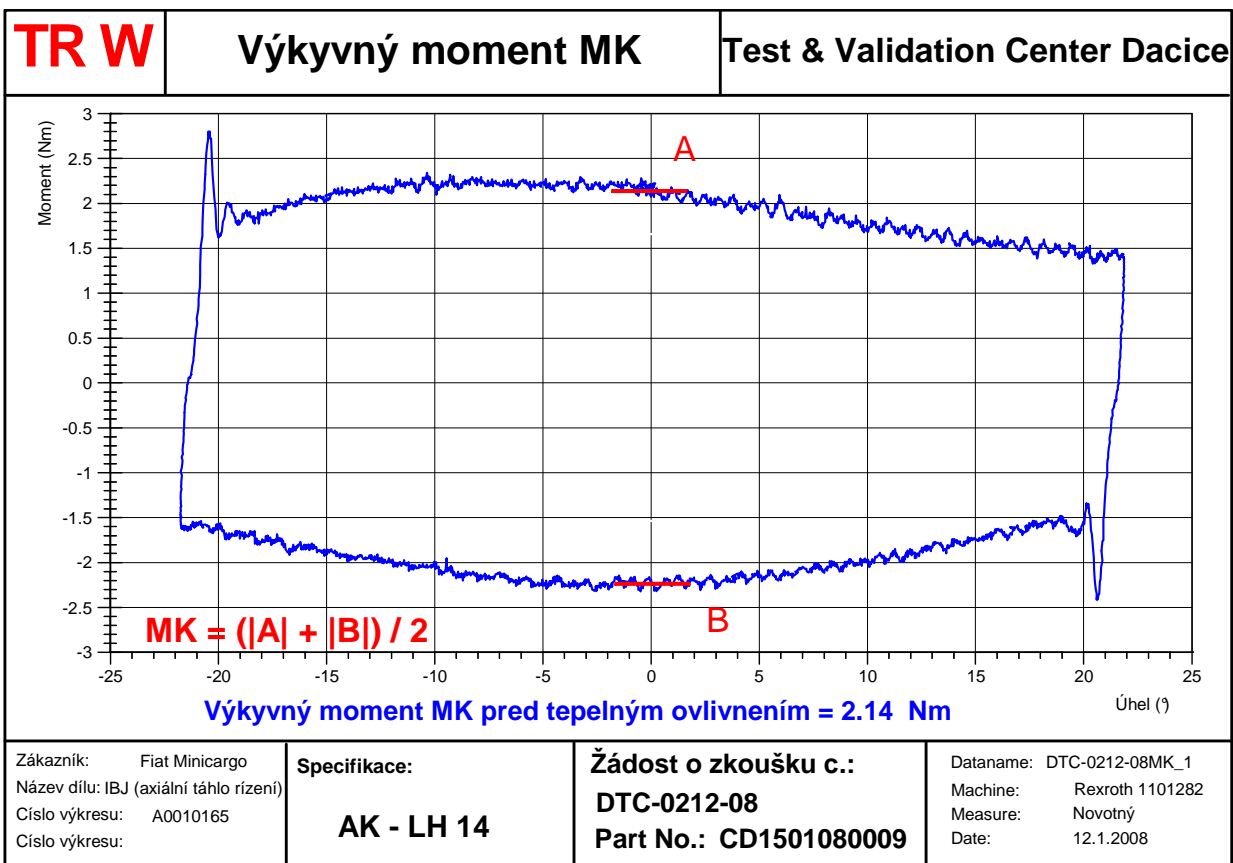


Obr.č. 20: Sestavení funkční zkoušky měření klopného momentu na axiálním táhle

Následně se provede promazání kloubu jak bylo specifikováno výše a po spuštění měřicího programu stroj provede: 5 klopných pohybů přes 80% úhlu, což je v případě sledovaného axiálního táhla řízení  $46^\circ$  čili  $\pm 23^\circ$ , poté byl zaznamenán a vyhodnocen šestý cyklus. Při měření klopného momentu byla použita úhlová rychlost  $30^\circ \cdot \text{sec}^{-1}$ . Vyhodnocení klopného momentu se provádí v nulové poloze aritmetickým průměrem momentů při průchodu nulou (viz obr. 21) za pomoci autosekvence vyhodnocovacího softwaru Diadem.

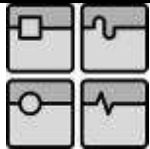
### 5.3 Postupy zkoušek měření klopného momentu

Pro ilustrační účel pouze zástupce měřeného kusu č. 1 před teplotní kalibrací (dle interního značení Testového a Validačního centra společnosti TRW – DAS Dačice a. s. se opět jedná o kus číslo CD150108009).



Obr. č.21: Prezentační graf z měření klopného momentu

Vzhledem k tomu, že je kus rozhýbán těsně před zkouškou a navíc je zde vyobrazen a dle specifikace vyhodnocen šestý cyklus, tak se nezaznamená žádný povolovací moment, ale stejně jak v kapitole 4.3.1 se po dosažení úhlu výkyvu + 23 ° se pohyb uskutečňuje přes nulovou pozici do úhlu vyklopení o úhel - 23° a opět dosahuje přes nulovou pozici úhlu + 23°, ze kterého se vrací zpět do nulové pozice a zkouška končí.



## 6 PRŮBĚH A VÝSLEDKY ZKOUŠEK

### 6.1 Průběh zkoušky

Dne 18. 4. 2010 byla provedena měření 60 vzorků axiálního táhla řízení s příliš vysokým klopným momentem. Hodnoty byly zaznamenány.

Pro prvotní výzkum byly předem vytipovány 3 různé varianty kalibračních teplot a to : 50, 80, 120 °C. Dne 18.4.2010 byla provedena tepelná kalibrace dílů a to po dobu jedné hodiny dle výše uvedených teploty. Po té byly díly ponechány 48 hodin v klidové poloze do úplného vychladnutí. Dne 20.4.2010 byl provedena opakovaná měření. Výsledky měření uvedeny v dalších kapitolách.

### 6.2 Výsledky měření klopného momentu

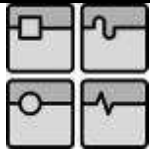
Nejistota měření vypočtena v kapitole 7.3

číslo vzorku	před kalibrací (0,35 -1,5 Nm)	po 50°C (0,35 -1,5 Nm)	po 80°C (0,35 -1,5 Nm)	po 120°C (0,35 -1,5 Nm)
CD1501080009	2,14	1,82	*	*
CD1501080010	1,59	1,31	*	*
CD1501080011	1,58	1,45	*	*
CD1501080012	1,3	1,06	*	*
CD1501080013	1,88	1,68	*	*
CD1501080014	1,67	1,48	*	*
CD1501080015	1,63	1,43	*	*
CD1501080016	1,7	1,45	*	*
CD1501080017	1,5	1,25	*	*
CD1501080018	1,69	1,39	*	*
CD1501080019	1,81	1,54	*	*
CD1501080020	1,43	1,23	*	*
CD1501080021	1,82	1,62	*	*
CD1501080022	1,77	1,54	*	*
CD1501080023	1,61	1,38	*	*
CD1501080024	1,59	1,35	*	*
CD1501080025	1,52	1,26	*	*
CD1501080026	1,35	1,11	*	*
CD1501080027	1,71	1,42	*	*
CD1501080028	1,65	1,34	*	*
CD1501080029	1,38	*	0,82	*
CD1501080030	1,34	*	0,78	*
CD1501080031	1,85	*	1,01	*
CD1501080032	1,68	*	0,92	*
CD1501080033	1,78	*	0,98	*
CD1501080034	1,54	*	0,92	*

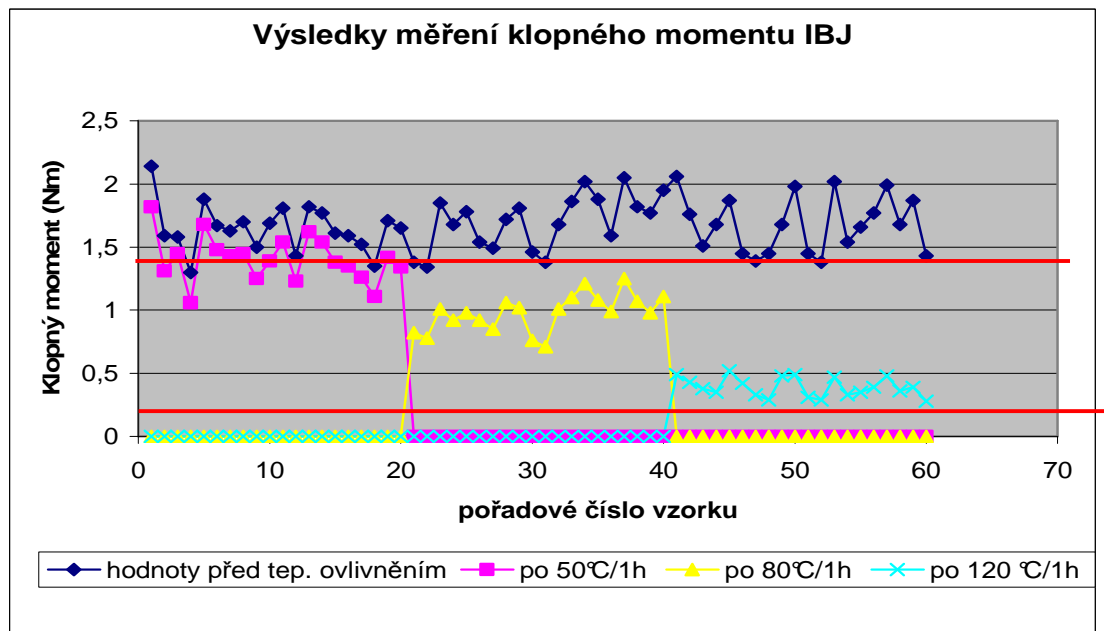


číslo vzorku	před kalibrací (0,35 -1,5 Nm)	po 50°C (0,35 -1,5 Nm)	po 80°C (0,35 -1,5 Nm)	po 120°C (0,35 -1,5 Nm)
CD1501080035	1,49	*	0,85	*
CD1501080036	1,72	*	1,06	*
CD1501080037	1,81	*	1,02	*
CD1501080038	1,46	*	0,76	*
CD1501080039	1,38	*	0,71	*
CD1501080040	1,68	*	1,01	*
CD1501080041	1,86	*	1,1	*
CD1501080042	2,02	*	1,21	*
CD1501080043	1,88	*	1,08	*
CD1501080044	1,59	*	0,99	*
CD1501080045	2,05	*	1,25	*
CD1501080046	1,82	*	1,07	*
CD1501080047	1,77	*	0,98	*
CD1501080048	1,95	*	1,11	*
CD1501080049	2,06	*	*	0,49
CD1501080050	1,76	*	*	0,43
CD1501080051	1,51	*	*	0,38
CD1501080052	1,68	*	*	0,35
CD1501080053	1,87	*	*	0,52
CD1501080054	1,45	*	*	0,42
CD1501080055	1,39	*	*	0,33
CD1501080056	1,45	*	*	0,29
CD1501080057	1,68	*	*	0,48
CD1501080058	1,98	*	*	0,49
CD1501080059	1,45	*	*	0,31
CD1501080060	1,38	*	*	0,29
CD1501080061	2,02	*	*	0,47
CD1501080062	1,54	*	*	0,33
CD1501080063	1,66	*	*	0,35
CD1501080064	1,77	*	*	0,39
CD1501080065	1,99	*	*	0,48
CD1501080066	1,68	*	*	0,36
CD1501080067	1,87	*	*	0,39
CD1501080068	1,43	*	*	0,28
směrodat.odchylka s	0,21	0,18	0,14	0,08
průměr	1,68	1,41	0,98	0,39
min	1,30	1,06	0,71	0,28
max	1,68	1,41	0,98	0,39
rozpětí	0,38	0,35	0,27	0,11

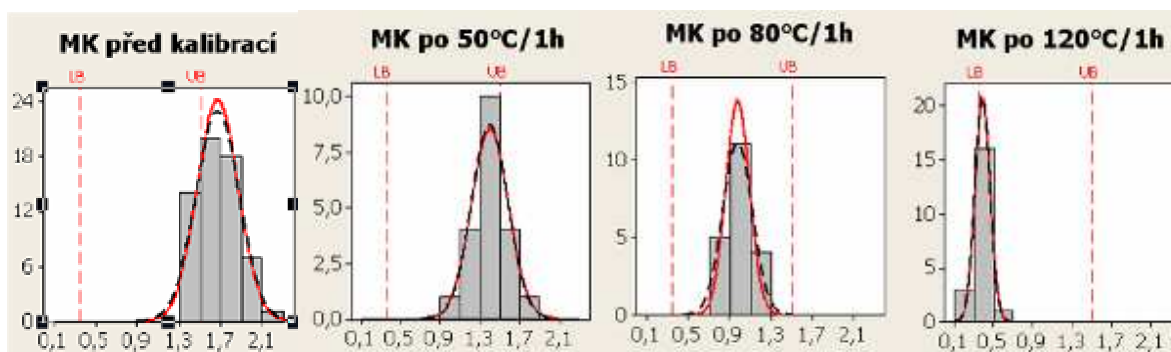
Tab. č. 11 – výsledky měření klopného momentu



## 6.3 Výsledky měření klopného momentu – graficky



Obr. č. 22 Výsledky měření – graficky



Obr. č. 23 vliv kalibrační teploty na klopný moment

S ohledem na specifikační meze, které jsou pro tento případ od 0,35 Nm – 1,5 Nm jasně vidíme, že nejvhodnější kalibrační teplota ze tří testovaných je teplota 80°C. Než byly vytvořeny způsobilostní histogramy, byla provedena analýza normality dat. Zde neuvedena.

#### **6.4 Základní metrologické pojmy**

V této studii se pracuje s mnoha metrologickými pojmy. Jejich definice uvedeny níže.

##### **6.4.1 Přesnost měření**

Přesnost měření je těsnost shody mezi naměřenou hodnotou veličiny a pravou hodnotou veličiny. [6]

##### **6.4.2 Pravá hodnota veličiny**

Je hodnota veličiny, která je ve shodě s definicí veličiny. [23]

##### **6.4.3 Podmínka opakovatelnosti měření**

Podmínka měření ze souboru podmínek, který zahrnuje stejný postup měření, stejnou obsluhu, stejný měřicí systém, stejné pracovní podmínky a stejné místo, a opakování měření na stejném nebo podobných objektech v krátké časové periodě. [23]

##### **6.4.4 Opakovatelnost měření**

Preciznost měření za souboru podmínek opakovatelnosti měření. [23]

##### **6.4.5 Podmínka reprodukovatelnosti měření**

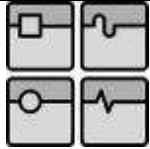
Podmínka měření za souboru podmínek, který zahrnuje různá místa, obsluhu, měřicí systémy a opakování měření na stejném nebo podobných objektech. [23]

##### **6.4.6 Reprodukovatelnost**

Preciznost měření za souboru podmínek reprodukovatelnosti měření. [23]

##### **6.4.7 Preciznost měření**

Těsnost shody mezi indikacemi nebo naměřenými hodnotami veličiny získanými opakovanými měřeními na stejném nebo podobných objektech za specifikovaných podmínek. Je obvykle vyjádřena číselně mírami nepřesnosti, např směrodatnou odchylkou, rozptylem nebo variačním koeficientem za specifikovaných podmínek měření. [23]



#### 6.4.8 Stabilita

Je celková variabilita měření, získaných systémem měření na stejném měřeném kusu (stejných součástech) při měření jediného znaku v **delším časovém období**. Tato veličina, zvaná také drift postihuje integrálně vliv mnoha faktorů, které mohou působit na průběh a výsledky měření. [19]

#### 6.5 Základní statistické pojmy

V této studii se operuje s mnoha statistickými pojmy. Jejich definice a rovnice uvedeny níže.

##### 6.4.1 Odhad střední hodnoty

Při statistické interpretaci výsledků měření se setkáváme nejčastěji se třemi typy odhadů středních hodnot:

- **aritmetický průměr** (jednotlivé hodnoty se sečtou a dělí se jejich počtem)

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \quad (1)$$

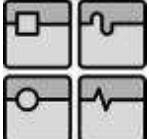
- **modus** (nejčetnější hodnota)

- **medián** (prostřední hodnota – má nad i pod sebou stejný počet hodnot)

Aritmetický průměr používáme nejčastěji (používán v této práci), má ale nevýhodu, že zvláště při malém počtu hodnot je silně ovlivnitelný ojedinělými extrémními hodnotami [1]

##### 6.4.2 Variabilita hodnot

Informace o střední hodnotě souboru sledovaných hodnot musí být doplněna o parametr rozptylu kolem střední hodnoty. Jednoduchým parametrem je

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 37
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

- **rozpětí (R)** (nevýhodou tohoto parametru je, že neříká nic o tom, jak jsou jednotlivé hodnoty rozptýleny kolem průměru), nebezpečí zkreslení vlivem ojedinělých extrémních hodnot

$$R = x_{max} - x_{min} \quad (2)$$

- **směrodatná odchylka ( $\sigma$ )** je mírou rozptylu, která je úměrná střední hodnotě vzdálenosti jednotlivých hodnot od aritmetického průměru. U statistického souboru je tato střední hodnota vždy rovna 0. Proto se počítá rozdíly  $(x_i - \bar{x})^2$ , které jsou vždy kladné. Odhad směrodatné odchylky je tedy (3). [1]

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \times \sum (x_i - \bar{x})^2} \quad (3)$$

- **rozptyl ( $\sigma^2$ )** - charakterizuje rozmístění hodnot v souboru kolem průměru. Rozptyl je průměr druhých mocnin odchylek jednotlivých hodnot od zjištěného aritmetického průměru:

$$\sigma^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n} \quad (4)$$

$\sigma^2$  ... rozptyl,

$x_i$  ... i-tá hodnota statistického souboru,

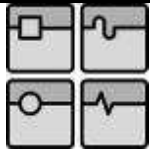
$n$  ... celkový počet hodnot.

## 7 ANALÝZA SYSTÉMU MĚŘENÍ KLOPNÉHO MOMENTU

### 7.1 Potenciální vlivy na systém měření

#### 7.1.1 Ishikawův diagram – analýzy příčin a následků

Princip této metody vychází ze základního zákona - každý následek (problém) má svou příčinu nebo kombinaci příčin. Účelem této metody je stanovení nepravděpodobnější příčiny problému, který řešíme. Aby se snáze našlo řešení problému,

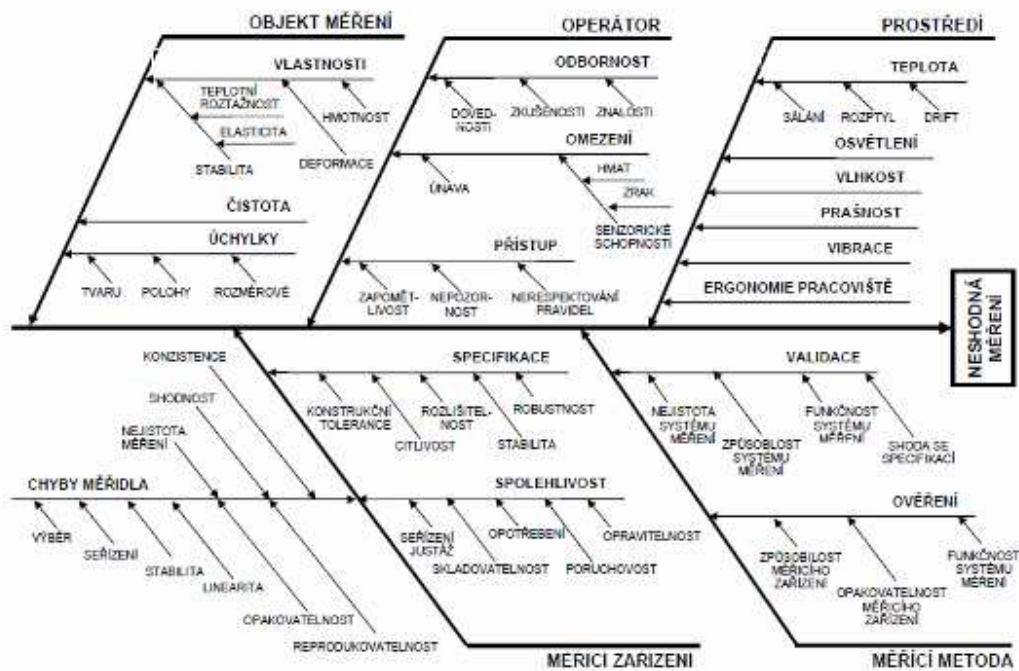


znázorňují se příčiny do diagramu. Někdy se těmto diagramům říká též diagram „rybí kostra“ nebo P-D diagramy.

Jméno dostaly podle Prof. Kaoru Ishikawy, který je používal v procesech zdokonalování systémů řízení jakosti.

Diagram umožňuje analyzovat příčinné souvislosti, mechanismus vzniku nákladů, vyhledávat kritické faktory, vymezit správnou hierarchii při řešení problémů, řešit komplikované problémy, vytvořit řetězec příčin a následků.

Použití Ishikawova diagramu čerpá z výsledků Paretovy analýzy. [15]



Obr. č. 24 Ishikawův diagram příčin neshodných měření [14]

Z obecného Ishikawova diagramu bylo na základě zkušeností, pozorování a analýzy procesu měření jako celku byla vybrána následující kritéria, která nejvíce ovlivňují právě proces měření kloubového momentu axiálního táhla řízení.:

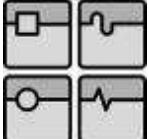
**Objekt měření** – stabilita

**Prostředí** – teplota

**Chyby měřidla** – nejistota měření, reprodukovatelnost

**Měřicí zařízení** – rozlišitelnost, stabilita, citlivost

**Měřicí metoda** – nejistota systému měření, opakovatelnost měřícího zařízení

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 39
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

## 7.2 Gage R&R studie

Jak studie R&R pracuje? Je nutné zvolit výrobky pro měření takovým způsobem, aby plně pokrývaly rozsah variability výrobního procesu.

Systém měření je obvykle přesnější v některé části rozsahu variability nežli ve zbytku, a proto je nutné provést hodnocení přes celý rozsah variability.

Každý operátor musí provést opakovaná měření, pro potřeby programu Minitab musí každý operátor provést tentýž počet opakování měření. Je důrazně doporučováno znáhodnit pořadí měření výrobků a operátor by neměl znát, který výrobek zrovna měří. Minitab sleduje celkovou variabilitu na měřených výrobcích.

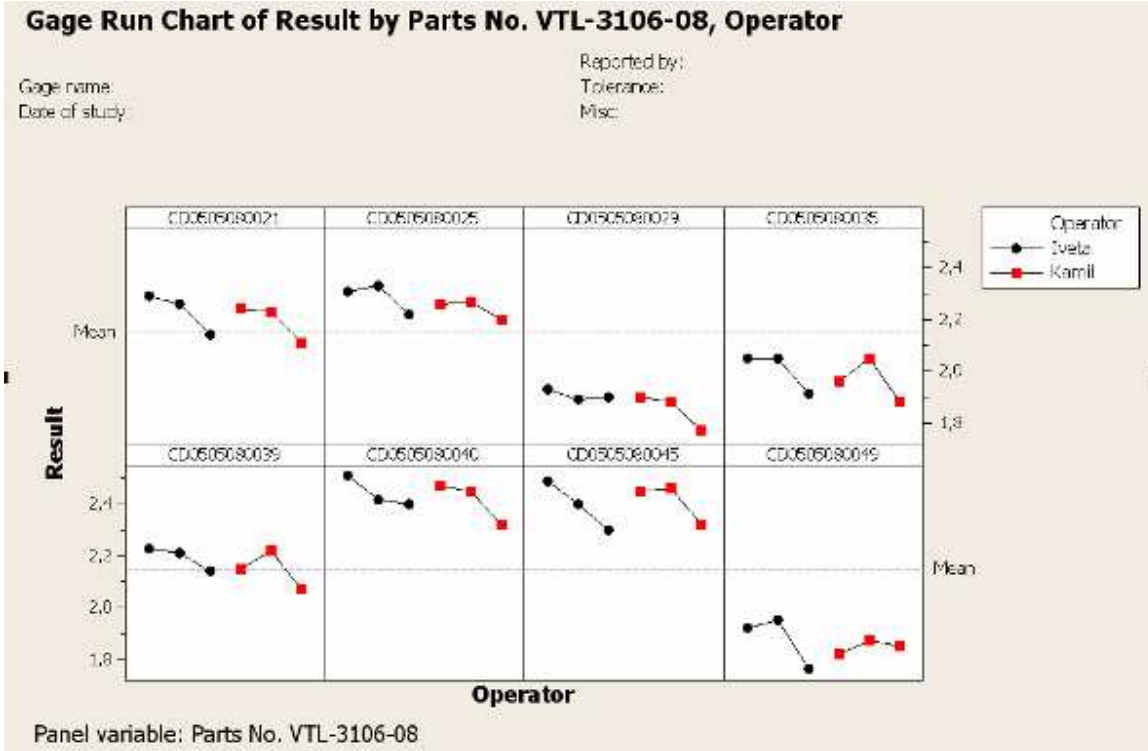
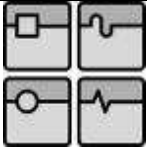
Pro odpovídající systém měření odpovídá: většina variability je vysvětlitelná rozdíly mezi jednotlivými měřeními výrobky (různé typy výrobků) Ostatní zdroje variability jsou malé. Systém měření musí být dostatečně přesný, aby rozlišil alespoň čtyři skupiny či kategorie měření. [16]

### 7.1.2 Výsledky Gage R&R studie

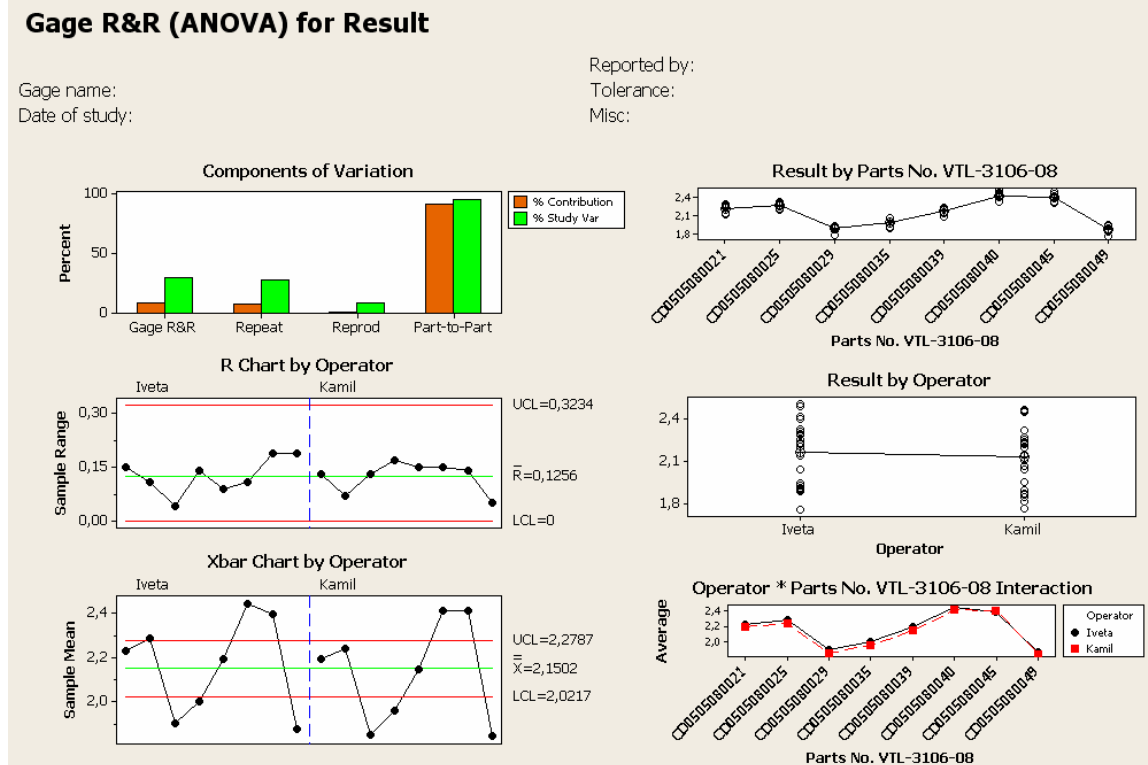
Níže uvedené výsledky jsou výstupem programu Minitab 15.

Minitab představuje balík statistických metod určených pro analýzy dat. Byl vyvinut na Pensylvánské státní universitě (Pensylvania State University) týmem vědců v roce 1972. Jmenovitě Barbarou F. Ryan, Thomasem A. Ryan, Jr. and Brian L. Joiner. Minitab začal jako zjednodušená verze OMNITABu, programu na statistické analýzy od NIST.

Program je určen pro uživatele jak z oblasti praxe, tak z vysokých škol. Software nabízí řešení pro uživatele všech úrovní znalostí statistiky. Původně byl určen pro podporu výuky statistiky. V současné době je používán na více než 4000 vysokých školách a univerzitách po celém světě. V současnosti existuje také více jak 300 publikací, které se problematikou Minitabu zabývají. Protože Minitab nabízí přesné a přizpůsobitelné nástroje pro kontrolu kvality, plánování experimentu a základních statistických metod, našel si cestu do praxe a je používán v různých společnostech po celém světě. Minitab je považován za standardní nástroj pro analýzu dat u společností jež aplikovaly metodiku Six Sigma. [3]



Obr. č. 25: Průměrné výsledky dle operátorů



Obr. č. 26: Grafické výsledky Gage R&R studie



### 7.1.3 Vyhodnocení Gage R&R studie

Studie byla provedena dvěma operátory za použití 8 testovaných vzorků axiálního táhla řízení. Každý z operátorů opakoval měření celkem třikrát.

Z grafu „**Components of Variation**“ vidíme, že hlavní podíl na variabilitě patří vlivu díl/díl. To znamená, že různost výsledků je zapříčiněna zejména sledovanými vzorky, což je správně.

Z grafu „**R-chart by operator**“ je zjevné, že rozpětí pro jednotlivá měření každého operátora se pohybují okolo 0,10 Nm. Červené hranice označují kontrolní limity.

Z grafu „**Xbar chart by operator**“ je patrné, že průměry jednotlivých měření pro dané vzorky dosahují vysoké variability. To dokazuje, že jsme dosáhli dostatečně reprezentativní výběr měřených kusů .

Graf „**Results by part**“ vidíme výsledky vzorků dle jejich označení.

Graf „**Results by operator**“ přehledně vyobrazuje jednotlivá měření a jejich průměry dle operátorů. Operátor „Kamil“ dle tohoto grafu měří přibližně o desetinu Nm „níže“.

Graf „**Operator\*part**“ vyobrazuje průměrné naměřené hodnoty dle jednotlivých operátorů. U kusů 1 – 6 je skutečně vidět, že operátor „Kamil“ naměřil hodnoty nižší, má vliv na výpočet reprodukovatelnosti systému měření, uvedeno v kapitole Nejistota měření.

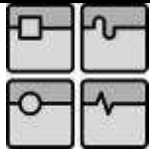
#### Results for: GAGE.MTW

#### Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0,0045965	<b>8,67</b>
Repeatability	0,0042021	7,93
Reproducibility	0,0003944	0,74
Operator	0,0003944	0,74
Part-To-Part	0,0484127	91,33
Total Variation	0,0530092	100,00

Source	StdDev (SD)	Study Var (2 * SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0,067798	0,135595	<b>29,45</b>
Repeatability	0,064823	0,129647	28,16
Reproducibility	0,019861	0,039721	8,63
Operator	0,019861	0,039721	8,63
Part-To-Part	0,220029	0,440058	95,57
Total Variation	0,230237	0,460475	100,00

Number of Distinct Categories = 4



Z výše uvedených výsledků je zřejmé, že Total Gage R&R je 8,67%. To znamená, že podíl na variabilitě, kterou vnáší do výsledků měření operátor je právě tato hodnota. Variabilitu vlivu vzorku vůči vzorku je 91,33%.

Ve druhé části je důležitý zejména výsledek 29,45 %. Ten je směrodatný pro vyhodnocení studie. Každá organizace si může stanovit hranici, za kterou je pro právě její konkrétní případ výsledek nevyhovující. Společnost TRW má stanoven limit 35%. Proces měření je tedy **vyhovující** z hlediska studie Gage R&R.

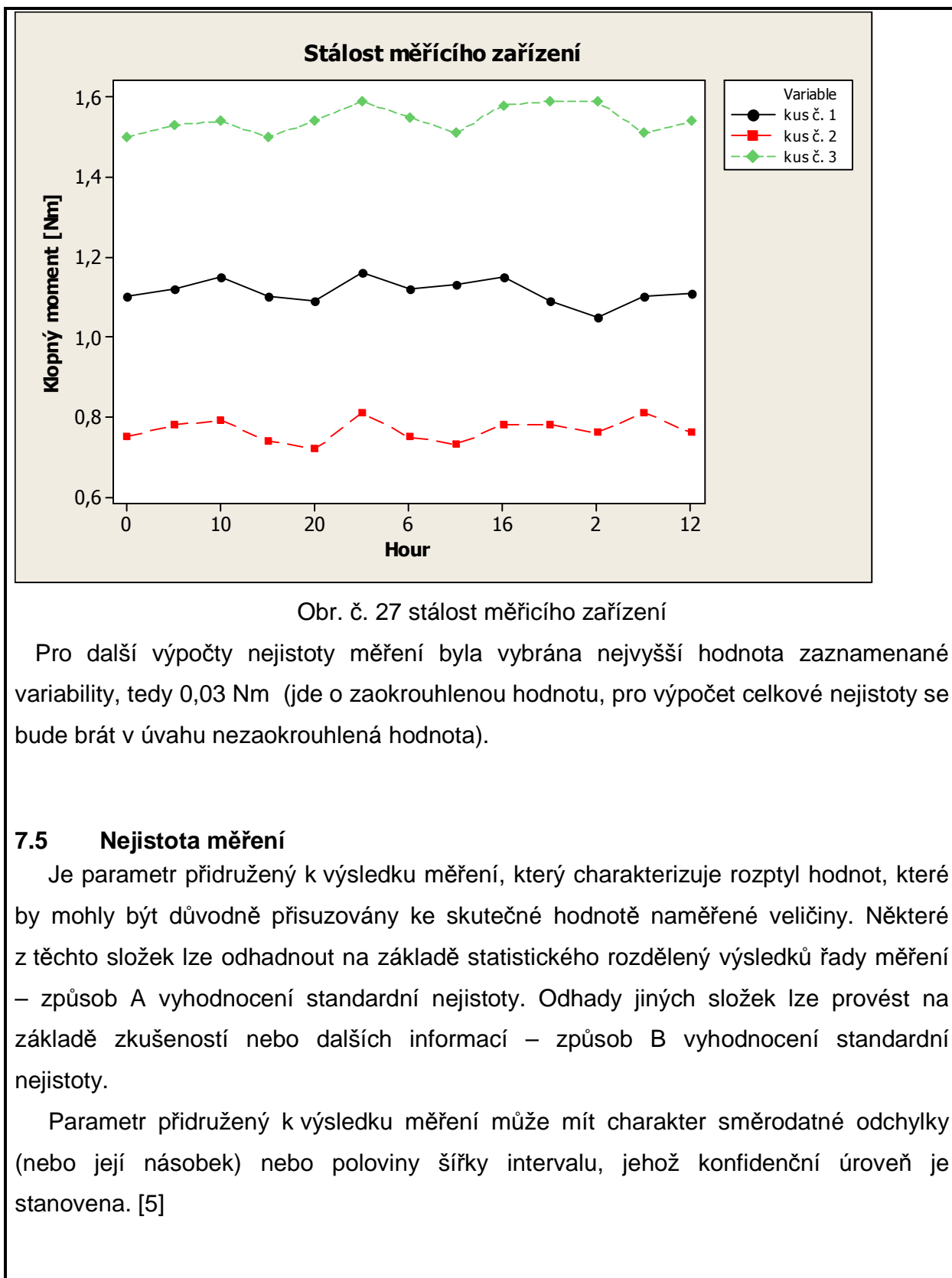
### 7.3 Stabilita měřícího zařízení

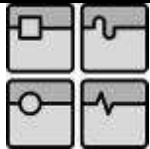
Jak již bylo uvedeno v kapitole 6.3.6 je stabilita měření je celková variabilita měření, získaných systémem měření na stejném měřeném kusu (stejných součástech) při měření jediného znaku v delším časovém období. [19]

Pro případ této studie byly vybrány 3 kusy axiálního táhla řízení s různě velkými momenty. Každý z těchto dílů byl měřen vždy po 5 hodinách, hodnota byla zapsána. Celková doba trvala 60 hodin, stejně jako doba, po kterou jsme měřili zkoumané vzorky.

čas (hod.)	kus č. 1 (Nm)	kus č. 2 (Nm)	kus č. 3 (Nm)
0	1,10	0,75	1,50
5	1,12	0,78	1,53
10	1,15	0,79	1,54
15	1,10	0,74	1,50
20	1,09	0,72	1,54
25	1,16	0,81	1,59
30	1,12	0,75	1,55
35	1,13	0,73	1,51
40	1,15	0,78	1,58
45	1,09	0,78	1,59
50	1,05	0,76	1,59
55	1,10	0,81	1,51
60	1,11	0,76	1,54
$\bar{x}$	1,11	0,77	1,54
$\sigma$	0,03	0,02	0,03

Tab. č. 12 – Stabilita zařízení – výsledky měření





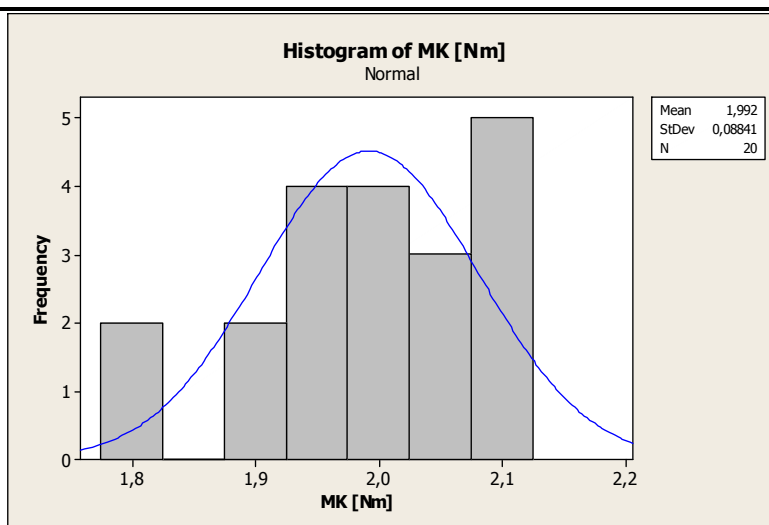
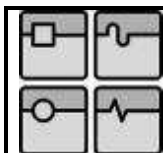
### 7.6 Postup výpočtu nejistoty měření

Provedou se opakovaná měření (viz. tab. č. 12) a zaznamenají se hodnoty ovlivňujících veličin (teplota, tlak, vlhkost), které jsou složkami nejistoty typu B. Na odečtené hodnoty se aplikují veškeré nutné korekce. [21]

V tomto případě bylo provedeno za podmínek opakovatelnosti měření klopného momentu jednoho kusu axiálního táhla řízení a bylo opakováno celkem dvacetkrát. Doba měření byla 2 hodiny a 20 minut. Teplota v laboratoři během této doby klesla o 1°C. Dle specifičního listu HBM, výrobce snímače rotačního momentu, je celkový efekt na snímač při změně teploty o 10 °C maximálně  $\pm 0,1 \%$ . Pokud budeme uvažovat o lineární závislosti, pak pro 1°C jde tedy o hodnotu  $\pm 0,01 \%$ , což je pro další výpočet nejistoty měření zanedbatelné. Systematická chyba pro odečet korekce nebyla zjištěna.

měření č.	klopný moment (Nm)
1	1,82
2	2,11
3	1,94
4	1,90
5	2,11
6	1,98
7	1,96
8	2,09
9	1,99
10	2,02
11	2,07
12	2,09
13	1,93
14	2,04
15	2,08
16	1,96
17	1,91
18	1,99
19	1,82
20	2,03
$\sigma$	0,09
$\bar{x}$	1,90

Tab. 12: Výsledky opakovaných měření



Obr. č. 28: Výsledky opakovaných měření - histogram

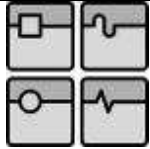
Stanoví se hodnota korigovaných odečtů a nejistota typu A. Dle tabulky č. 12 je hodnota  $\sigma$  rovna 0,09. Pro účely výpočtu je však nezbytné pracovat s hodnotami nezaokrouhlenými a konečné zaokrouhlení provádíme až u konečného výsledku.

Určí se všechny zdroje nejistoty typu B. (viz tab.č 13). Pro každý z těchto zdrojů se určí jeho krajní meze, mezi nimiž by se měla nacházet skutečná hodnota. Pro každý zdroj nejistoty typu B se určí předpokládané rozdělení pravděpodobnosti výskytu jeho hodnot mezi krajními mezemi. Dle kap. 7.1.1 byly vybrány následující zdroje nejistot typu B a bylo určeno jejich rozdělení (viz. tab. 13).

zdroj nejistoty	odhad odchylek	Rozdělení pravděpodobnosti (X)	Nejistota (UBI=zmax/X)
$u_A$ nejistota typu A	0,088	rovnoměrné ( $\sqrt{3}$ )	0,088 Nm
$u_{BK}$ kalibrace čidla (dle KL)	0,040	normální (3)	0,013 Nm
$u_{BT}$ teplotní odchylka	0,002	rovnoměrné ( $\sqrt{3}$ )	0,001 Nm
$u_{BR}$ reprodukovatelnost	0,173	rovnoměrné ( $\sqrt{3}$ )	0,099 Nm
$u_{BS}$ stabilita měření	0,034	rovnoměrné ( $\sqrt{3}$ )	0,019 Nm
$u_{BC}$ citlivost přístroje	0,008	rovnoměrné ( $\sqrt{3}$ )	0,005 Nm
$u_{CL}$ linearita přístroje	0,004	rovnoměrné ( $\sqrt{3}$ )	0,002 Nm
$u_{BP}$ stálost měřeného vzorku	0,050	rovnoměrné ( $\sqrt{3}$ )	0,029 Nm

Tab. č. 13 – zdroje nejistoty

**Nejistota typu A** byla vypočtena z hodnot opakovaného měření za podmínek opakovatelnosti.



**Nejistoty typu B** -  $U_{BK}$  dle kalibračního listu,  $u_{BT}$  – dle kalibrační listu,  $u_{BR}$  – výsledek Gage R&R studie,  $u_{BS}$  dle studie stability měření měřicího stroje (viz kap. 7.3),  $U_{BC}$  dle specifikace výrobce čidla,  $u_{BL}$  dle specifikace výrobce čidla (HBM), stálost měřeného vzorku – hodnota byla určena na základě zkušeností odborného pracovníka.

Pomocí koeficientu X pro určená rozdělení se přepočtou krajní meze na hodnoty směrodatných odchylek jak míry nejistoty (tab. 13). Pro jednotlivé složky nejistoty typu B (případně též nejistoty typu A u nepřímých měření) se určí převodní (citlivostní) koeficienty vyjadřující vazbu mezi zdrojem nejistoty a měřenou veličinou. Posoudí se vzájemná vazba mezi jednotlivými zdroji nejistota a pokud je významná, určí se korelační koeficienty pro každý pár vzájemně se ovlivňujících se složek. [1] Žádná taková zásadní vazba však nebyla pro účely této práce nalezena.

V případě nepřímých metod, kdy se určuje veličina  $y$  na základě vztahu, ve kterém vystupuje jedna či více přímo měřených veličin  $x_1 \dots x_n$  a konstant  $C_1 \dots C_n$  tj.  $y = f(x_1 \dots x_n, C_1 \dots C_n)$ , pro výpočet chyby platí  $\Delta(y)$  zákon šíření chyb.(5) Pro účely této práce nebylo užito žádné nepřímé měření.

$$U_c(y) = \sqrt{\left(\frac{\partial y}{\partial x_1}\right)^2 u^2(x_1) + \left(\frac{\partial y}{\partial x_2}\right)^2 u^2(x_2) + \dots + \left(\frac{\partial y}{\partial x_n}\right)^2 u^2(x_n)} \quad (5)$$

Pomocí Gaussova (případně rozšířeného) zákona šíření nejistot se vypočítá kombinovaná nejistoty typu B (viz rov. č.6) a obdobně i kombinovaná standardní nejistota (viz rov. č. 6).

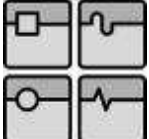
$$u_B = \sqrt{\sum (u_{BI})^2} = \sqrt{0,013^2 + 0,001^2 + 0,099^2 + 0,019^2 + 0,005^2 + 0,002^2 + 0,029^2} = 0,106 Nm \quad (6)$$

$$U_C = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = \sqrt{0,088^2 + 0,106^2} = 0,137 Nm \quad (7)$$

Určí se koeficient rozšíření požadovanou pravděpodobností pokrytí (95%) a určí se rozšířená nejistota. (viz rovnice č. 7)

$$U_{(95\%, k=2)} = k \cdot U_C = 2,0 \cdot 0,137 = 0,274 Nm \quad (8)$$

Celková nejistota měření je  **$\pm 0,27 Nm$**

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 47
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

## 8 PROKÁZÁNÍ SHODY SE SPECIFIKACE DLE ČSN EN ISO 142543-1

### 8.1 Předmět normy

Tato část normy EN ISO 14253 stanoví pravidla rozhodování o prokazování shody nebo neshody součást nebo měřidla se stanovenými tolerancemi u obrobku nebo mezemi největších dovolených chyb (u měřidla) s ohledem na nejistotu měření. [5]

### 8.2 Základní pojmy nezbytné pro prokázání shody se specifikacemi

**Tolerance** – rozdíl mezi horní a dolní mezní hodnotou. [22]

**Toleranční pole** – proměnné hodnoty znaku mezi mezními hodnotami včetně těchto mezí [22]

**Meze dané specifikací** – specifikované hodnoty znaku udávající horní a/nebo dolní hranice dovolených hodnot [22]

**Specifikace** – tolerance charakterizující obrobek nebo největší dovolená chyba, MPE, charakterizující měřidlo [22]

**Horní mez specifikace** – specifikovaná hodnota, která udává buď – horní hranici tolerančních mezí obrobku nebo horní hranici chyb měřidla [22]

**Dolní mez specifikace** – specifikovaná hodnota, která udává buď - dolní hranici tolerančních mezí obrobku, nebo dolní hranici chyb měřidla [22]

**Výsledek měření , úplný údaj** – výsledek měření včetně rozšířené nejistoty, U

**Shoda** – splnění specifikovaných požadavků [22]

**Pole shody** – specifikovaná pole, zmenšené o rozšířenou nejistotu měření, [22]

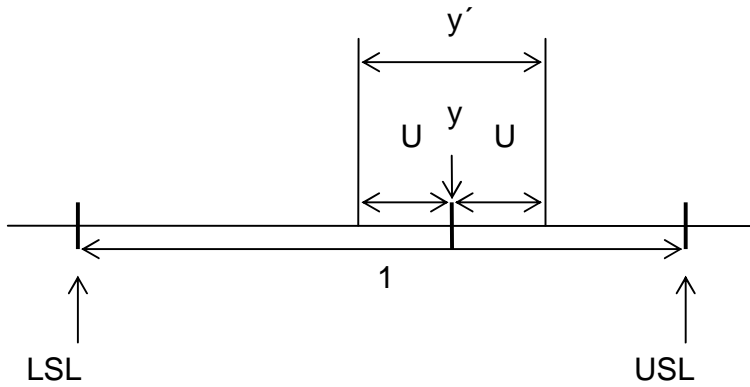
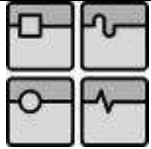
### 8.3 Pravidlo prokazování shody se specifikacemi

Shoda se specifikací je prokázána, pokud je výsledek měření, kompletní údaj  $y'$ , v tolerančním poli charakterizující obrobek nebo v rozsahu největší dovolené chyby charakterizující měřidlo. [22]

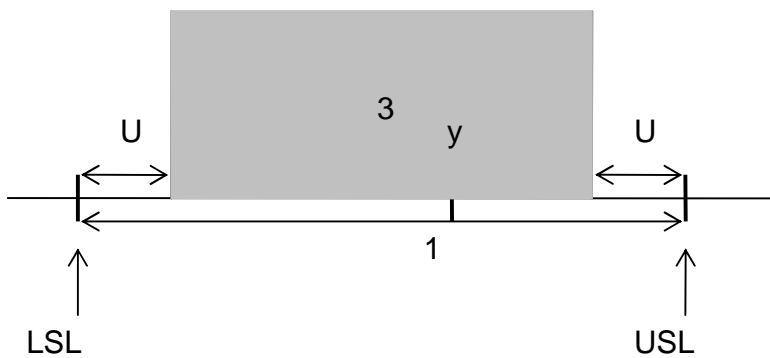
$$LSL < y - U \text{ a } y + U < USL \quad (8)$$

Podobně může být shoda prokázána, pokud je výsledek měření,  $y$ , v rozsahu tolerančního pole charakterizující obrobek nebo u charakteristik měřidel v rozsahu největší dovolené chyby, která je zmenšena o rozšířenou nejistotu, U. [22]

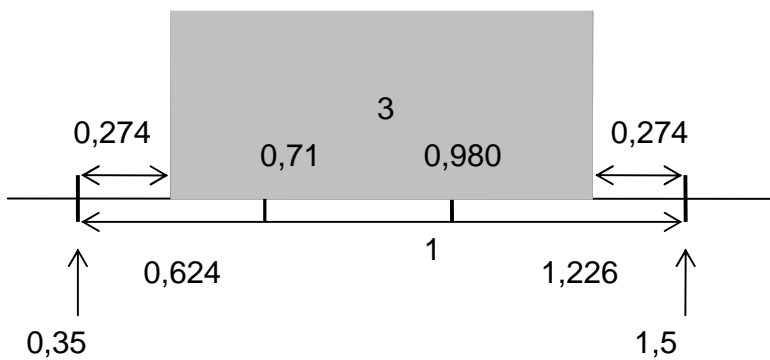
$$LSL + U < y < USL - U \quad (9)$$



Obr. č. 29 Shoda se specifikací prokázána (zp.1) [22]



Obr. č. 30 Shoda se specifikací prokázána (zp.2) [22]



Obr. č. 31 shoda se specifikací dle vypočtených výsledků prokázána

LSL – spodní specifikační limit

USL – horní specifikační limit

U – rozšířená nejistota měření

y – výsledek měření

y' - výsledek měření, úplný údaj

1 – pole specifikace

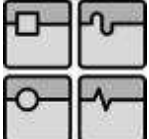
3 – pole shody

Specifikační limity určeny dle zákaznické specifikace.

Použita vypočtená rozšířená nejistota měření

Jako výsledky měření byly použity vzorky s extrémní (nejvyšší a nejnižší) hodnotou



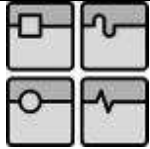
	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 49
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

## 9 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Dle uvedených výpočtů byla prokázána shoda se zákaznickou specifikací. Jako nejvhodnější kalibrační teplota pro snížení klopného momentu byla vybrána teplota 80°C.

Termální kalibrace je metoda velmi jednoduchá, relativně časově nenáročná a v neposlední je její přínos v tom, že nemusíme razantně zasahovat do technologického procesu. Je aplikovatelná i na výrobky obdobného charakteru, nicméně vzhledem k jiným použitým materiálům je nutné provést nový výzkum hledání nejvhodnější kalibrační teploty.

Analýza měření klopného momentu může dále sloužit jako interní postup pro výpočet nejistoty měření pro dané měřicí zařízení (Rexroth Syeanl), lze použít i na jiné speciální měřicí stroje.

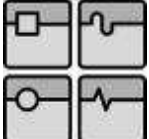


## ZÁVĚR

Na prvním místě je nutno uvést, že axiální táhlo řízení je bezpečnostní součástí automobilu. Jeho nejfatálnějším selháním – vytržením čepu z hlavy táhla – se stává vozidlo neovladatelným. Proto se testům a měřením součásti věnuje obrovská pozornost. Dlužno podotknout, že jednou z nejdůležitějších zkoušek prováděné na táhle je test vytržení kulového čepu z hlavy kloubového spoje. Pro plynulou jízdu a dlouhodobou odolnost jsou na táhlo kladeny i další přísné požadavky zákazníka. Měření axiální elasticity, dlouhodobé testy opotřebení i při obrovských rozdílech okolních teplot, testování materiálové odolnosti zejm. vůči běžným vlivům jako je přítomnost vody, soli, nečistot, simulace extrémních provozních podmínek apod. Jedním z požadavků je i požadavek na stanovený moment klopného momentu axiálního táhla řízení. Jeho možné ovlivnění je možné řadou technologických postupů. Nicméně se osvědčila metoda tepelného ovlivnění.

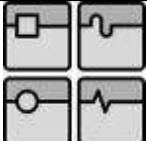
Metoda spočívá v ponechání výrobků určitý čas při konkrétní teplotě. Po opětovném vychladnutí se moment klopného momentu sníží. Jak dlouho a při jaké teplotě ponechat tak, aby žádaná hodnota ležela v přijatelném rozmezí specifikačních podmínek zákazníka, to byla primární otázka technologické části této práce. Pro začátek byla použita doba 1 hodina a 3 různé teploty 50, 80 a 120 °C. Doba se 1 hod. se ukázala být dostačující, stejně tak z testu vyplynula nevhodnější teplota 80 °C jako kalibrační teplota pro dosažení žádaných funkčních vlastností táhla.

V části věnované metrologii a analýze měření klopného momentu bylo primárním úkolem vyřešit problém nejistoty měření a zejm. se zjištěním zdrojů a velikostí nejistoty. Kromě stanovení nejistoty typu A, další zdroje vyplynuly z kalibračního listu, specifikace výrobce čidla, studie Gage R&R, stálost měřícího zařízení, měřeného vzorku. Na těchto základech byla vypočtena nejistota měření. Pro měřené hodnoty se jednalo o nejistotu  $\pm 0,274\text{Nm}$  při 95% rozdělení pravděpodobnosti. Bylo zjištěno, že po tepelné kalibraci dochází k ustálení hodnot vyhovujícím potřebám zákazníka i při zjištěné nejistotě měření měřícího systému.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 51
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] PERNIKÁŘ, J., TYKAL, M. Strojírenská metrologie II. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. 180 s. ISBN 80-214-3338-2.
- [2] HUMÁR, Anton., R. *Slinuté karbidy a řezná keramika*, 1.vydání. Brno: CCB s.r.o., ISBN 80-85825-10-4, 1978. 256 s.
- [3] FIALA, A.: Statistické řízení procesů. Prostředky a nástroje pro řízení a zlepšování procesů. VUT v Brně, 1997. ISBN 80-214-0895-2
- [4] [http://auto.idnes.cz/auto\\_ojetiny.asp?r=auto\\_ojetiny&c=A060127\\_172200\\_auto\\_ojetiny\\_fdv](http://auto.idnes.cz/auto_ojetiny.asp?r=auto_ojetiny&c=A060127_172200_auto_ojetiny_fdv)
- [5] Koška, P.: Stanovení nejistoty výsledku zkoušky. Studijní materiál pro předmět XZK – zkušebnictví
- [6] [http://gps.fme.vutbr.cz/STAH\\_INFO/0809-seminar/7\\_Pospisil\\_VIM\\_2008.pdf](http://gps.fme.vutbr.cz/STAH_INFO/0809-seminar/7_Pospisil_VIM_2008.pdf)
- [7] [http://sk.wikipedia.org/wiki/Termoplastický\\_polyuretán](http://sk.wikipedia.org/wiki/Termoplastický_polyuretán)
- [8] <http://www.ni.com/diadem/>
- [9] [http://www.kaitrade.cz/index.php?src=product\\_detail&cat\\_id=25&lang=cz&id=147](http://www.kaitrade.cz/index.php?src=product_detail&cat_id=25&lang=cz&id=147)
- [10] [http://cs.wikipedia.org/wiki/Aritmetick%C3%BD\\_pr%C5%AFm%C4%9Br](http://cs.wikipedia.org/wiki/Aritmetick%C3%BD_pr%C5%AFm%C4%9Br)
- [11] [http://cs.wikipedia.org/wiki/Sm%C4%9Brodavn%C3%A1\\_1\\_odchylka](http://cs.wikipedia.org/wiki/Sm%C4%9Brodavn%C3%A1_1_odchylka)
- [12] <http://www.dusde.trw.com/NetitWeb/kunden-normen/>
- [13] [http://www.dolezal-pe.cz/\\_SitePublic/attachments/doc331/Molykote.pdf](http://www.dolezal-pe.cz/_SitePublic/attachments/doc331/Molykote.pdf)
- [14] <http://www.komora-khk.cz/business/documents/?soubor=moduly/5-jakost/12-neustale-zlepsovani/priloha-fmea-07.pdf>
- [15] [www.kvic.cz/showFile.asp?ID=2112](http://www.kvic.cz/showFile.asp?ID=2112)
- [16] TRW příručka 6σ
- [17] DOLEŽEL, Břetislav, J. *Odolnost plastů a pryží*. 1.vydání. Praha: SNTL, 1981. 712 s.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 52
DIPLOMOVÁ PRÁCE		

- [18] ČSN 01 0115 Mezinárodní slovník základních termínů v metrologii
- [19] POKLUDA, J., KROUPA, F. , OBDRŽÁLEK, L., *Mechanické vlastnosti a struktura pevných látek (kovy, keramika, plasty)*, 1. vydání. Brno: Vydavatelství VUT, 1994. 385 s., ISBN 80-214-0575-9
- [20] <http://cs.wikipedia.org/wiki/Minitab>
- [21] [http://www.trw.com/who\\_we\\_are/history](http://www.trw.com/who_we_are/history)
- [22] ČSN EN ISO 14253-1 Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Zkoušení obrobků a měřidel měřením – část 1: Pravidla rozhodování o prokazování shody nebo neshody se specifikacemi
- [23] [http://www.trwauto.cz/02\\_index.html](http://www.trwauto.cz/02_index.html)

## POUŽITÉ SYMBOLY

IBJ	[-]	axiální táhlo řízení (z angl. inner ball joint)
Fz	[N]	síla na vytržení čepu z hlavy kulového kloubu
E <sub>A</sub>	[mm]	axiální elasticita
A <sub>A</sub>	[°]	úhel výkyvu (z angl. articulation angle)
POM	[-]	polyoxymethylen
TPU	[-]	polyuretan
M <sub>K</sub>	[Nm]	výkyvný moment
M <sub>KL</sub>	[Nm]	povolovací výkyvný moment
Pz	[Pa]	zaválcovací tlak
ρ	[kg.m <sup>-3</sup> ]	hustota materiálu
HSh	[SHE]	tvrdost dle Shorea
HB	[HB]	tvrdost dle Brinella
Rm	[N.mm <sup>-2</sup> ]	pevnost v tahu
A	[%]	tažnost
Rt	[kJ.m <sup>-2</sup> ]	rázová houževnatost
m	[kg]	hmotnost
V	[m <sup>3</sup> ]	objem
ω	[°s <sup>-1</sup> ]	úhlová rychlost



## SEZNAM PŘÍLOH

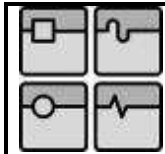
Kalibrační list stroje Rexroth Syeanl

Specifikační list výrobce snímače kroučícího momentu od firmy HBM

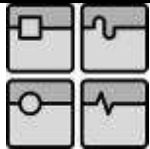
Certifikáty společnosti TRW DAS Dačice, a. s.

Fotodokumentace měření

Fotodokumentace zkušební laboratoře



PŘÍLOHY



## DIPLOMOVÁ PRÁCE

Příloha č.12

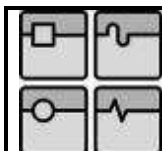
Směrnice podniku E 430-01

F.č. 31/94

<b>TRW - DAS</b> Dačice a.s.	<b>PROTOKOL O KALIBRACI</b> TRW-DAS a.s. , kontrolní měrové středisko	Číslo : 38/09			
<b>Zákazník:</b> TRW-DAS a.s.					
<b>Název měřidla :</b> Moment kroučící - na přístroji Rexroth A 140	<b>Evidenční číslo :</b> Mk 44/204	<b>Datum přijetí :</b> 29.09.09			
<b>Kalibrace provedena :</b> <b>Kalibrace platí do :</b>	29.9.2009 29.9.2010				
<b>Použitý etalon :</b> <b>Evidenční číslo :</b> <b>Číslo protokolu :</b>	Hlavní etalon MK 1/120                      500 Nm 8011-KL-M083,84,85-09				
<b>VÝSLEDEK MĚŘENÍ :</b>					
<b>LH</b>					
<b>Etalon</b>		<b>Měřidlo</b>		<b>Ø</b>	<b>Error</b>
0,5	0,50	0,52	0,51	0,51	2,0 %
1,0	1,02	1,03	1,01	1,02	2,0 %
1,5	1,54	1,52	1,52	1,53	1,8 %
2,0	2,05	2,04	2,03	2,04	2,0 %
3,0	3,02	3,03	3,04	3,03	1,0 %
4,0	4,04	4,03	4,02	4,03	0,8 %
5,0	5,08	5,06	5,04	5,06	1,2 %
10,0	10,02	10,06	10,05	10,04	0,4 %
15,0	15,04	15,05	15,04	15,04	0,3 %
20,0	20,03	20,04	20,03	20,03	0,2 %
<b>RH</b>					
<b>Etalon</b>		<b>Měřidlo</b>		<b>Ø</b>	<b>Error</b>
0,5	0,50	0,51	0,51	0,51	1,3 %
1,0	1,02	1,03	1,02	1,02	2,3 %
1,5	1,53	1,52	1,51	1,52	1,3 %
2,0	2,05	2,03	2,04	2,04	2,0 %
3,0	3,02	3,03	3,02	3,02	0,8 %
4,0	4,02	4,03	4,04	4,03	0,8 %
5,0	5,03	5,02	5,04	5,03	0,6 %
10,0	10,05	10,05	10,07	10,06	0,6 %
15,0	15,08	15,06	15,04	15,06	0,4 %
20,0	20,05	20,06	20,04	20,05	0,3 %
<b>Datum vystavení protokolu :</b>	29.9.2009	<b>Měřil :</b>	Karpíšek		
<b>Podpis:</b> .....		<b>Razítko a podpis ved. KMS :</b>			
(Souhlas zákazníka s provedeným rozsahem a způsobem kalibrace)					

Příloha č. 1: Kalibrační list stroje Rexroth Syeanl





Specifications

Type		T5				
Accuracy class		0,1				
Nominal torque	N m	10	20	50	100	200
Nominal sensitivity (nominal output signal at nominal torque)	mV/V	2				
Sensitivity tolerance	%	< ± 0,2				
Temperature effect per 10 K in the nominal temperature range	%	< ± 0,1				
On output signal (related to actual value)	%	< ± 0,1				
On zero signal (related to nominal sensitivity)	%	< ± 0,1				
Linearity deviation, including hysteresis, related to nominal sensitivity	%	< ± 0,1				
Relative standard deviation of reproducibility according to DIN 1319 (related to variation of output signal)	%	< ± 0,05				
Input resistance at reference temperature	Ω	350 ± 1,8				
Output resistance at the reference temperature	Ω	350 ± 1,5				
Maximum permissible excitation voltage	V	20				
Nominal range of the excitation voltage	V	0,5...12				
Reference temperature	°C [°F]	+23 [-73,4]				
Nominal temperature range	°C [°F]	+10...+60 [+50...+140]				
Service temperature range	°C [°F]	-10...+60 [-14...+140]				
Storage temperature range	°C [°F]	-50...+70 [-13...+158]				
<b>Mechanical values (related to nominal torque)</b>						
Static limit load	%	150				
Static breaking load	%	300				
Bending limit moment <sup>1)</sup>	N·m	1,2	2,3	6	11	23
Axial limit force <sup>1)</sup>	kN	0,6	1,9	3,5	5,5	8,8
Lateral limit force <sup>1)</sup>	N	9	26	50	90	125
Torsion angle at nominal torque, approx.	degrees			0,85		
Moment of inertia	kg·m <sup>2</sup> × 10 <sup>-3</sup>	0,041			0,047	
Maximum permissible speed	rpm	4000				
Service life of the slipping system, approx.	revol.	3 × 10 <sup>8</sup>				
Vibration amplitude to ISO/R 373 (related to the nominal torque M <sub>N</sub> ) <sup>2)</sup>	%	70 (Peak to peak)				
<b>Additional reliability data</b>						
Mechanical impact test, degree of precision to IEC 68-2-27-1987						
Number	n	1000				
Duration	ms	3				
Acceleration	m/s <sup>2</sup>	500				
Vibration stress test, degree of precision to IEC 68-2-6-1982						
Frequency range	Hz	5...65				
Duration	h	1,5				
Acceleration	m/s <sup>2</sup>	50				
Protection class according to EN 60529		IP50				
Weight, approx.	kg	0,5		0,6		

<sup>1)</sup> Each type of irregular stress can only be permitted with its given limit value (bending moment, side load or axial load, exceeding the nominal speed) if none of the others can occur. Otherwise the limit values must be reduced, if for instance 30 % of the bending moment and also 30 % of the side load are present, only 40 % of the axial load are permitted, provided that the nominal torque is not exceeded. With maximum additional loading, measuring errors of the order of 1 % of the nominal torque can occur.

<sup>2)</sup> The nominal torque must not then be exceeded.

**Accessories (to be ordered separately):**

Connecting cable Kab 139A-6, length 6 m (423-free ends)

Modifications reserved.  
All details describe our products in general form only. They are not to be understood as express warranty and do not constitute any liability whatsoever.

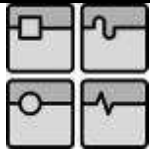
Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH

Postfach 10 01 51, D-64201 Darmstadt  
Im Tiefen See 45, D-64293 Darmstadt  
Tel.: +49/61 51/ 8 03-0; Fax: +49/61 51/ 8039100  
E-mail: support@hbm.com www.hbm.com



measurement with confidence

B0071-1.2 en



# C E R T I F I C A T E

**DQS GmbH**

Deutsche Gesellschaft zur Zertifizierung von Managementsystemen

hereby certifies that the company

**TRW - DAS, a.s.**

Strojírenská 160/III  
380 17 Dačice  
Czech Republic

for the scope

Design and development of steering, column and suspension parts as well as production of steering and linkage components and suspension systems for the automotive industry in connection with the remote locations listed in the appendix

has implemented and maintains a

**Quality Management System.**

An audit, conducted in accordance with the "Rules for certification bodies to ISO/TS 16949:2002 Second Edition" and documented in a report, has verified that this quality management system fulfils the requirements of the following ISO Technical Specification:

**ISO/TS 16949:2002**

Second Edition March 2002

(with product design)

Certification audit	2007-06-06 - 2007-06-08
Certification decision	2007-08-06
This certificate is valid until	2010-08-05
Certificate Registration No.	306164 TS2
IATF No.	0055168
Main Certificate Registration No.	002675 TS2
Issued in Frankfurt am Main, Germany	2008-06-12

Ass. iur. M. Drechsel

MANAGING DIRECTORS

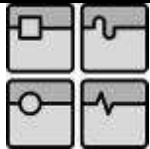
Dipl.-Ing. S. Heinitz

60433 Frankfurt am Main, August-Schanz-Straße 21  
(Tel. +49-69-95 42 70), Germany

2-IAQ-QMC-01001

	<h1>CERTIFICATE</h1>						
	<p><b>DQS GmbH</b> Deutsche Gesellschaft zur Zertifizierung von Managementsystemen</p> <p>hereby certifies that the company</p> <p><b>TRW - DAS a.s.</b> Strojrenská 160 380 17 Dačice III Czech Republic</p> <p>has implemented and maintains an <b>Environmental Management System</b>.</p> <p>Scope: Design and development of steering, column and suspension parts as well as production of steering and linkage components and suspension systems for the automotive industry</p> <p>Through an audit, documented in a report, it was verified that the management system fulfills the requirements of the following standard:</p> <p><b>ISO 14001 : 2004</b></p> <div style="border: 1px solid black; width: 150px; height: 15px; margin: 10px auto;"></div> <table> <tr> <td>Certificate registration no.</td> <td>305154 UM</td> <td rowspan="3"> <p>TQA-ZM-02-90</p> </td> </tr> <tr> <td>Date of certification</td> <td>2009-05-20</td> </tr> <tr> <td>Valid until</td> <td>2012-05-19</td> </tr> </table> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 20px;"> <div style="text-align: center;"> <p>Michael Drechsel Managing Director</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>Jan Böge Managing Director</p> </div> </div> <p style="text-align: center; margin-top: 10px;">August-Schanz-Straße 21, 60433 Frankfurt am Main</p>	Certificate registration no.	305154 UM	<p>TQA-ZM-02-90</p>	Date of certification	2009-05-20	Valid until
Certificate registration no.	305154 UM	<p>TQA-ZM-02-90</p>					
Date of certification	2009-05-20						
Valid until	2012-05-19						

Příloha č. 4: Certifikát TRW DAS Dačice a. s. EMS – ISO 14001:2004



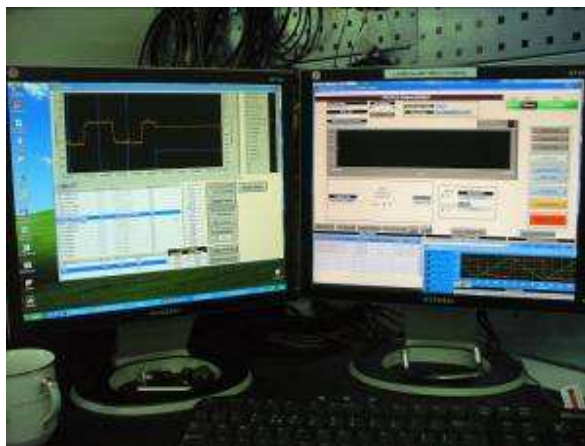
Kanceláře TSCD



Stroj pro funkční měření sloupku volantu



Torque to failure rig – destruktivní zk.



Osciloskop dlouhodobého testu opotřebení



Bosch šroubovák



Stroj pro funkční měření sloupku volantu



Solné komory



Testované díly – viditelná bílá koroze



Test opotřebení táhla řízení



Fotostůl



INOVA test rig – test opotřebení řízení



JOHANSSON 3D měřicí stroj