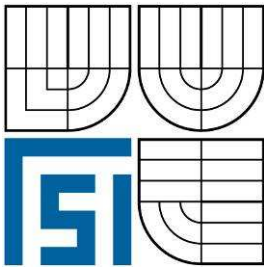


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VLIV ZMĚNY TEPLoty BĚHEM TECHNOLOGICKÉHO PROCESU NA KLOPNÝ A VÝKYVNÝ MOMENT AXIÁLNÍHO TÁHLA ŘÍZENÍ

An influence of temperature changes to articulation and rotation torque of the axial joint of the tie rod during the technological process

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

PETR NOVOTNÝ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Oskar Zemčík, Ph.D.

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie
Akademický rok: 2007/08

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Novotný Petr

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303R002)**

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 bakalářské práce:

Vliv změny teploty během technologického procesu na klopný a výkyvný moment axiálního táhla řízení.

v anglickém jazyce:

An influence of temperature changes to articulation and rotation torque of the axial joint tie rod during the technological process.

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce je zaměřena na zhodnocení vlivu teplotních změn během technologického procesu na funkční vlastnosti axiálního táhla řízení osobního automobilu, zejména na krouťací a výkyvný moment, dále pak vliv teplot na rozměry obráběných částí. Cílem práce je nalezení nejvhodnější kalibrační teploty, která zaručí takový výkyvný a rotační moment, který odpovídá požadavkům specifikací.

Cíle bakalářské práce:

- charakteristika problematiky
- teoretické předpoklady
- praktická měření
- vyhodnocení výsledků
- návrh řešení
- technicko-ekonomické zhodnocení

Seznam odborné literatury:

1. KOČMAN, Karel, PROKOP, Jaroslav. Technologie obrábění. 2. vyd. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 2005. 270 s. ISBN 80-214-3068-0.
2. MÁDL, Jan. Technologie obrábění. 1. vyd. Praha : ČVUT, 2000. ISBN 80-01-02-091-6
3. KAFKA, J., VRABEC, M. Technologie obrábění. Praha : ČVUT. 2006. 120 s. ISBN 80-01-01355-3
4. ŠTĚPEK, J., ZELINGER, J., KUTA, A. Technologie zpracování a vlastnosti plastů. Praha : SNTL, 1989.
5. LENFELD, P. Technologie II – 2. část, zpracování plastů. Skripta. Liberec : TU, leden 2006. 139 s. ISBN 80-7372-037-X


Vedoucí bakalářské práce: Ing. Oskar Zemčík, Ph.D.


Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2007/08.

V Brně, dne 24.10.2007

L.S.




doc. Ing. Miroslav Piška, CSc.
Ředitel ústavu


doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Účelem této bakalářské práce bylo nalézt optimální kalibrační teplotu k dosažení požadovaného povolovacího klopného a klopného momentu axiálního táhla řízení beze změny výrobního postupu.

Teoretická část práce je zaměřena na jednotlivé komponenty, které mají vliv na funkční vlastnosti kloubu. Taktéž zde popisují jednotlivá zařízení nezbytná k měření efektu jednotlivých teplot na axiální táhlo řízení.

Klíčová slova: axiální táhlo řízení, povolovací klopný moment, klopný moment

ABSTRACT

The purpose of this thesis was find the optimum calibration temperature to reach the designated breakaway articulation torque and articulation torque of the inner ball joint, without altering the production process.

The theoretical part of thesis is concern with the individual components inherent to the functioning of the ball joint. Also described is the equipment necessary to measure the effects of heat on the IBJ.

Keywords: inner ball joint, breakaway articulation torque, articulation torque

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce pana Ing. Oskara Zemčíka, Ph.D. a za použití uvedené literatury.

V Jemnici dne 10.5.2008

.....

Podpis

Poděkování:

Za vstřícnost a čas bych rád poděkoval panu Ing. Oskaru Zemčikovi, Ph.D., za cenné rady a odbornou pomoc panu Ing. Františku Rashovi , kolektivu Centra technické podpory společnosti TRW DAS a. s., ale hlavně své rodině za skvělé zázemí a trpělivost při mém studiu na vysoké škole.

OBSAH:

ÚVOD	8
1. SPOLEČNOST TRW	11
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
2. AXIÁLNÍ TÁHLO ŘÍZENÍ.....	14
2.1 Axiální táhlo jakou součást osobního automobilu.....	14
2.2 Axiální táhlo řízení	15
2.3 Jednotlivé komponenty axiálního táhla řízení pro Fiat Minicargo.....	16
3. KOMPONENTY AXIÁLNÍHO TÁHLA ŘÍZENÍ A MĚŘÍCÍ ZAŘÍZENÍ.....	17
3.1 Vliv kulového čepu na výkyvný moment a povolovací moment výkyvu	17
3.1.1 Materiálová charakteristika kulového čepu axiálního táhla řízení.....	17
3.1.2. Obrábění koule kulového čepu axiálního táhla řízení.....	18
3.2 Vliv hlavy kulového kloubu na výkyvný moment	19
3.3 Chování polymerů– fyzikální podstata deformace.....	19
3.3.1 Vlastnosti polyoxymethylenu, vliv na výkyvný moment axiálního táhla	21
3.3.2 Vlastnosti polyuretanu, vliv na výkyvný moment axiálního táhla	22
3.3.3 Vliv mazacího tuku Molykote Longterm 2/78 G na výkyvný moment axiálního táhla	23
3.4 Měřicí a klimatická zařízení.....	24
3.4.1 Rexroth Syeanl – univerzální měřicí stroj pro měření momentů	24
3.4.2 Teplotní a klimatická komora Vötsch	25
4. MOŽNOSTI OVLIVNĚNÍ KLOPNÉHO MOMENTU.....	26
4.1 Materiálová změna montovaných komponentů.....	26
4.2 Snížení zaválcovacího tlaku hlavy kulového kloubu	26

4.3	Zmenšení drsnosti povrchu koule kulového čepu.....	26
4.4	Zmenšení průměru koule kulového čepu.....	27
4.5	Dotváření plastových částí tepelným ovlivněním	27
5.	VLASTNÍ MĚŘENÍ.....	28
5.1	Pojmy výkyvný a povolovací klopný moment dle specifikace	28
5.1.1	Výkyvný moment	28
5.2	Postupy zkoušek klopného momentu a povolovacího momentu výkyvu	29
5.2.1	Postupy zkoušek povolovacího klopného momentu (MKL)	29
5.2.2	Postupy zkoušek měření klopného momentu	31
6.	VÝSLEDKY ZKOUŠEK A STATISTICKÁ VYHODNOCENÍ.....	32
6.1	Výsledky a statistická vyhodnocení měření povolovacího klopného momentu.....	32
6.2	Výsledky a statistická vyhodnocení měření klopného momentu	34
7.	TECHNICKO - EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	36
	ZÁVĚR	37
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	38
	POUŽITÉ SYMBOLY	39
	SEZNAM PŘÍLOH.....	39

ÚVOD

V počátcích se lidé pokoušeli sestrojít "něco", co by jim mohlo pomoci s prací na poli a nahradilo zvěř, která v té době tahala pluhy a jiná hospodářská zařízení.

A právě v těchto dnech uplyne přesně 122 let od doby, kdy se datuje vznik automobilismu. 29. ledna 1886 totiž Karl Benz získal patent na čtyřtákní tříkolku Benz patent Motorwagen (viz obr.1) V roce 1889 vznikla ve Francii první automobilová továrna Panhard a Levassor. Roku 1897 vyjíždí z automobilky v Kopřivnici první osobní automobil (Präsident) ve střední Evropě a již o rok později odtud vyjíždí automobil nákladní. Dalšími milníky jsou objevy dnes běžných součástí vozu jako pneumatika plněná vzduchem vynalezená zvěrolékařem Johnem Dunlopem (1888), motor spalující naftu Rudolfem Dieselem (1892), aplikace pásové výroby panem Henry Fordem (1913), autorádio Američanem Paulem Galvinem (1929), posilovač řízení (1951), klimatizace (1953), tříbodové bezpečnostní pásy (1959), katalyzátor (1976), protiblokovací brzdový systém ABS (1978) a např. hybridní automobil – japonská Toyota Prius, poháněná jak spalovacím motorem tak elektřinou (1997) [4].



Obr. 1: Benz patent Motorwagen (1886) [4]

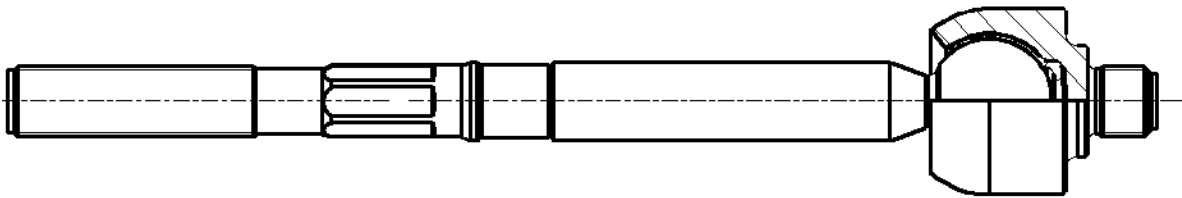
122 let



Obr. 2: Mercedes F700 (2008)

Před sto lety by si lidé sotva dovedli představit dnešní masové využívání automobilů, jejich dostupnost a hlavně zajištění bezpečnosti pro cestující. A právě proto se provádí důkladné měření a testování i těch nejmenších komponentů ve specializovaných zkušebnách. V roce 2004 jsem začal v jedné takové testovací laboratoři firmy TRW DAS a.s. Dačice pracovat. A právě zde jsme řešili zajímavý problém, který mne inspiroval jako téma mé bakalářské práce.

Pro axiálním táhlo řízení pro Fiat Minicargo (viz obr. 3) jsou předepsány tolerance a rozmezí pro funkční zkoušky jako je axiální elasticita (tuhost) kloubu, test vytržení čepu (jednoznačně nejdůležitější zkouška pro bezpečnost dílu) a v neposlední řadě i měření klopného a povolovacího klopného momentu. A právě výsledky zkoušek měření momentů se neshodly s požadavkem specifikací, kdy překračovaly horní mezní limit. Porovnání možností řešení tohoto problému bez zásadního zásahu do výrobního procesu a nalezení nejvhodnější varianty je úkolem této práce



Obr. 3: Axiální táhlo řízení osobního automobilu Fiat Minicargo

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 [5].

O rok později TRW uvádí na trh první elektronický parkovací brzdový systém v oblasti na voze Audi A8. U automobilu Volkswagen Phaeton je použit TRW adaptivní tempovat [5].

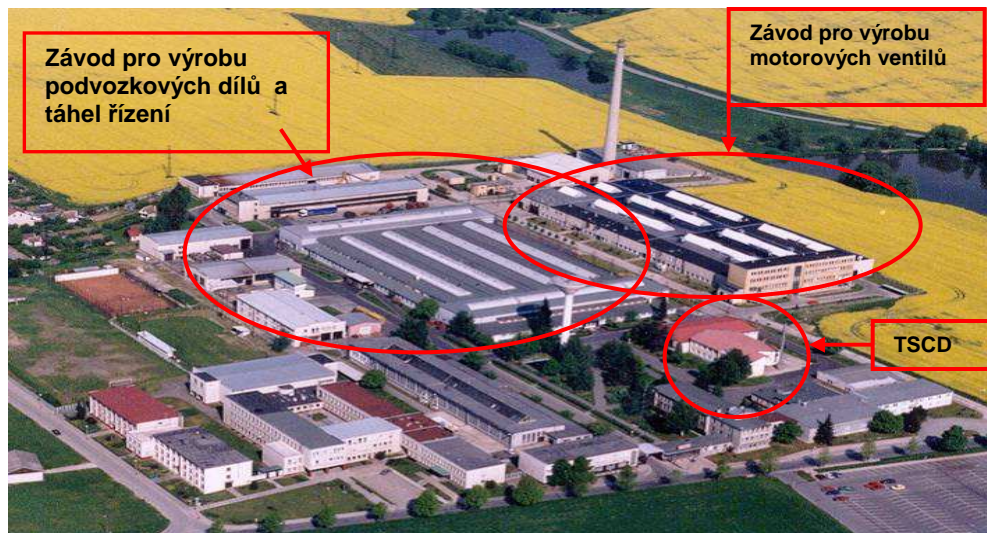
Celosvětově má TRW v současné době 60000 zaměstnanců, kteří pracují v síti 167 závodů. Mezi zákazníky se řadí takové značky jako Fiat, Alfa Romeo, Škoda Auto, BMW, VW, Porsche, Audi, Honda, Nissan, Mazda, Volvo, Land Rover, General Motors, Seat, Iveco, Lamborghini, DAF, Ford, Peugeot, Mercedes, Renault, Ferrari, Masserati, Scania, Magneti Marelli, Dephi 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 1990 byl založen samostatný státní podnik DAS, ale již o tři roky déle 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, certifikace ISO 9001, VDA 6.1, QS 9000. 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 [6].

Velkým mezníkem pro celý závod je rok 2002, kdy bylo založeno Testové a Validáční centrum, ze kterého se později vyvíjí a v roce 2006 buduje TSCD – centrum technické podpory.



Obr.4: Letecký snímek závodu TRW-DAS a. s. Dačice

1.3 TSCD (technical support center) – centrum technické podpory

V roce 2006 bylo založeno Centrum technické podpory, které se skládá z Testového a Validáčního 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 Validáční centrum provádí různorodé testy a služby pro TRW výrobky jako jsou: systémy vodicích tyčí a závěsů kol, hydraulická řízení, sloupky volantu. Testová laboratoř se rozkládá na více než 1800 m².

Zaměstnanci se dělí na 4 týmy - L&S (Linkage and Suspension) vodicí 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 vodicích 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 bakalářské práce.

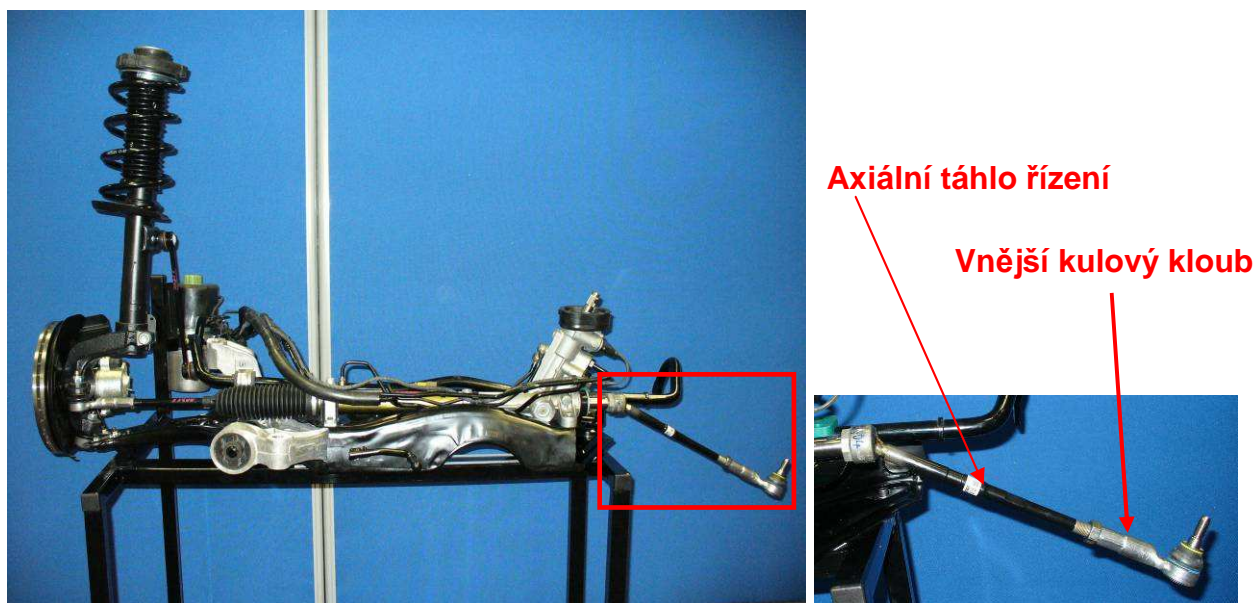


Obr. 5 a 6: Testovací laboratoř v centru technické podpory

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. 7) i nákladních automobilů. Spolu s vnějším kulovým kloubem tvoří montážní celek – kompletní táhlo řízení (viz obr. 8).



Obr. 7: Náprava Škody Fabie se systémem řízení a detail kompletního táhla řízení

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 propružení kola (např. při brždění, průjezdu zatáčkou atd.). Vnější kulový kloub dovoluje jak pohyb kývavý (kompenzace proružení 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 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.

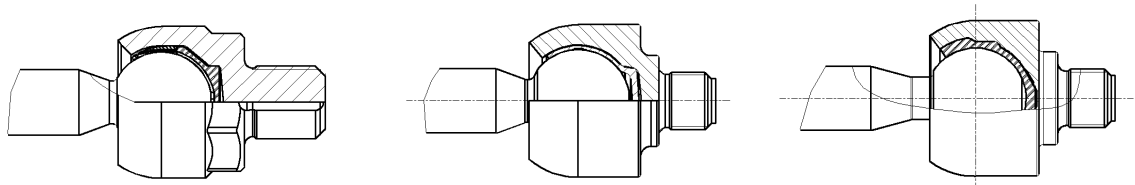
Bez ohledu na to, jaký typ automobilu máte, táhlo se časem opotřebovává, což se projeví vůlí ve vnějším, ale zejm. ve vnitřním kulovém kloubu, což může způsobit problémy s řízením vozidla. Vůle se projevuje klapacím zvukem a může vést k výrazně vyššímu opotřebení desénu na pneumatikách.

Je proto vhodné kontrolovat (i pouhým okem) stav závitů, těžší opotřebením 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 opotřebením (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

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. 8).



Obr. 8: a) dvojitě 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).

	Dvojitě lůžko	Jednoduché lůžko s teplotním zprac.	Jednoduché lůžko
Povolovací moment (M_{KL})	= 2,5 – 10 Nm	<= 8 Nm	<= 8 Nm
Výkyvný moment (M_K)	0,5-2,0 Nm	0,3-2,2 Nm	0,5-2,5 Nm
Axiální elasticita (E_A)	0,03-0,08 at +/-1KN	0,03-0,09 at +/-3KN	<=0,1 at +/-3KN
Síla na vytržení čepu (F_z)	>= 30KN	>=30KN	>=30KN
Max. úhel výkyvu (A_A)	>=64°	>=64°	>=60°
Výhody	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
Nevýhody	Vyšší axiální elasticita (v případě, že není požadována)	Složitější výroba vzhledem k nižšímu rozsahu elasticity	Potřeba dvou druhů maziva Horší manipulace vzhledem k přítomnosti tuku u krčku čepu
	Vyšší tendence k hlučnosti kloubu	100% měření E_A Vyšší náklady (vzhledem k teplotnímu zpracování)	

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

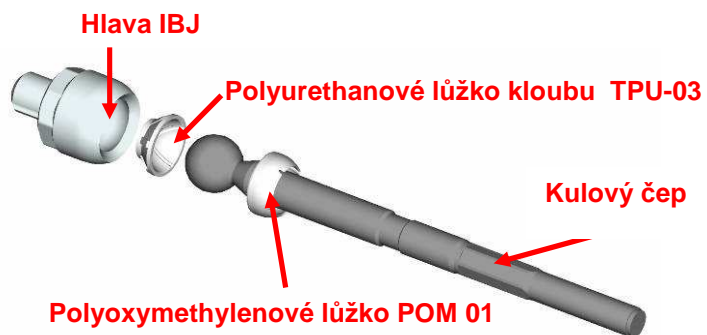
Tato práce se zabývá axiálním táhlem řízení pro Fiat Minicargo (viz obr. 9) s dvojitým lůžkem a průměrem koule 25 mm.

2.3 Jednotlivé komponenty axiálního táhla řízení pro Fiat Minicargo

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



Obr. 9: Fiat Minicargo



Obr. 10: Axiální táhlo k Fiatu Minicargo

3. KOMPONENTY AXIÁLNÍHO TÁHLA ŘÍZENÍ A MĚŘÍCÍ ZAŘÍZENÍ

3.1 Vliv kulového čepu na výkyvný moment a povolovací moment výkyvu

Výroba kulového čepu Fiat Minicargo se řídí interním technologickým postupem společnosti TRW-DAS Dačice a. s. Vzhledem k tomu, že největší vliv na výkyvný moment a povolovací moment výkyvu 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 interní 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 přidavkem 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 ²]	Rm [N/mm ²]	A [%]	z [%]	Tvrдость [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 pro Fiat Minicargo se řídí interním technologickým postupem firmy TRW – DAS Dačice a. s. Veškeré rozměry a tolerance jsou uvedeny na výrobním výkrese. 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 obroběných součástí je důležité zejména s ohledem na velmi úzkou souvislost těchto parametrů s chováním 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 obroběné plochy je průběh opotřebení nástroje, hlavně v případech, kdy dochází k prolomení výmolů 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 obroběné plochy a velikost úběru zde nehraje hlavní roli [2].

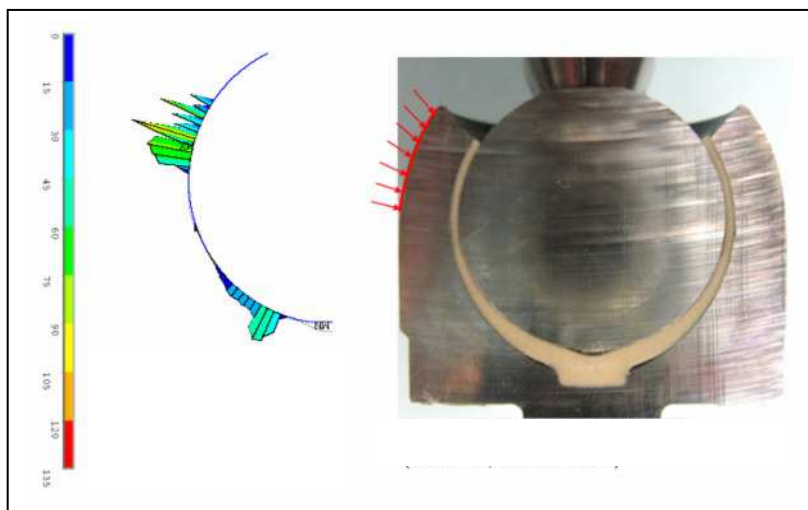
3.2 Vliv hlavy kulového kloubu na výkyvný moment

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.

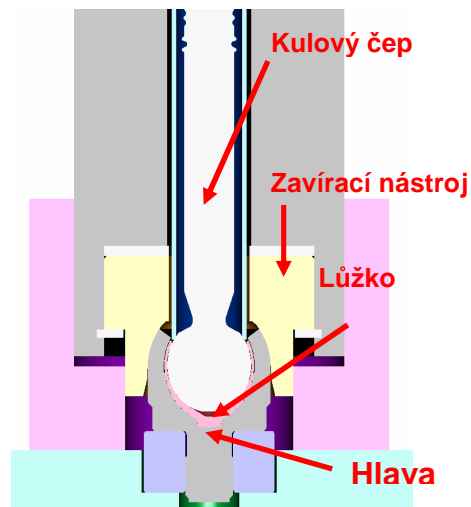
Ocel č.	Symbol	Zastoupení jednotlivých prvků (%)						Mechanické vlastnosti	
		C	Si	Mn	P	S	Al	Rm [N/mm ²]	z [%]
1.0234	C15C	0,13 – 0,17	≤ 0,10	0,35 – 0,60	≤ 0,025	≤ 0,025	0,020 – 0,060	460	25

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 IBJ Fiat Minicargo 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° 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 [3].



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-CH₂-O-CH₂-O-CH₂-... 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 [1].

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 ρ [g.cm ⁻³]	1,42 ± 0,01
Tvrdość HSh dle Shorea [SHE]	82 ± 3
Teplota tání [°C]	180 ± 3
Tvrdość dle Brinella HB 358/30 [HB]	≥ 120
Pevnosť v tahu Rm [N.mm ⁻²]	≥ 70
Tažnosť A [%]	≥ 20
Rázová houževnatost Rt [kJ.m ⁻²]	≥ 90
Vrubová houževnatost Rt [kJ.m ⁻²]	≥ 3
Oděr [mm ³]	≥ 50

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

Změna vlastností	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 [SHE]	± 8	± 4	± 2
Pevnosť v tahu Rm [%]	± 5	± 5	± 5
Tažnosť A [%]	+ 20 / - 70	+ 20 / - 60	+ 20 / - 60
Hmotnosť m [%]	± 2	± 2	± 1
Objem V [%]	± 2	-	± 2

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

3.3.2 Vlastnosti polyuretanu, vliv na výkyvný moment axiálního táhla

Termoplastický polyuretan se vyznačuje vynikajícími izolačními vlastnostmi a schopnostmi, má vynikající přilnavost a nízkou nasákavost, nepatrnou hmotnost. Polyuretan je materiál „naprogramovatelný“, podle jeho chemického složení a vytvoření může vzniknout celá řada zcela odlišných typů. Od měkkých pěn přes tvrdé pěny až po strukturální PUR pro výroby stavebního a spotřebního průmyslu, od běžně hořlavého polyuretanu přes samozhášivé typy až po těžko hořlavé až nehořlavé, s teplotní odolností běžnou (120 °C) až po teplotně odolné při 300 °C atp. Odolnost polyuretanů proti povětrnostnímu stárnutí je do značné míry závislá na složení surovin použitých k jejich přípravě. Polyuretanová vlákna mají vyšší odolnosti proti povětrnostnímu stárnutí než vlákna polyamidová. Stárnutí polyuretanů je velmi složitý proces, jehož mechanismus nebyl dosud plně prozkoumán a prokázán [7]. 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 ⁻²]	≥ 30
Tažnost A [%]	≥ 350
Zkouška pevnosti v trhu [N.mm ⁻¹]	≥ 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 axiálního táhla

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

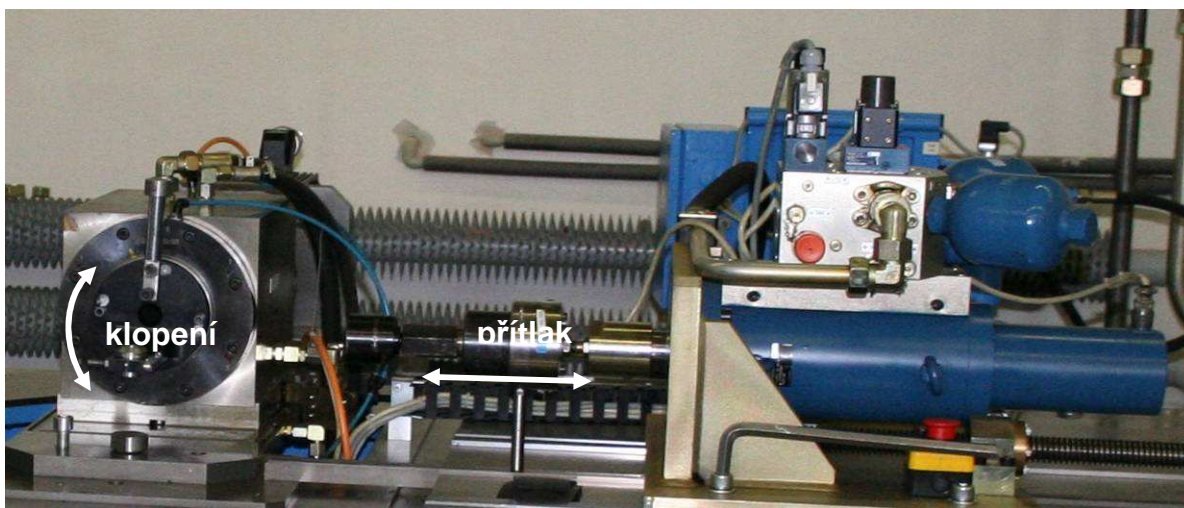
Tab. č. 10: Vliv tuku Molykote Longterm 2/78 G na mech. vlastnosti použitých plastů [12]

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 a povolovací 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

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 m³ / 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 dm³ . 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 a povolovacího klopného momentu axiálního táhla řízení Fiat Minicargo.

- 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 konstantní teplotě nedochází k dalším změnám povolovacích, 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.

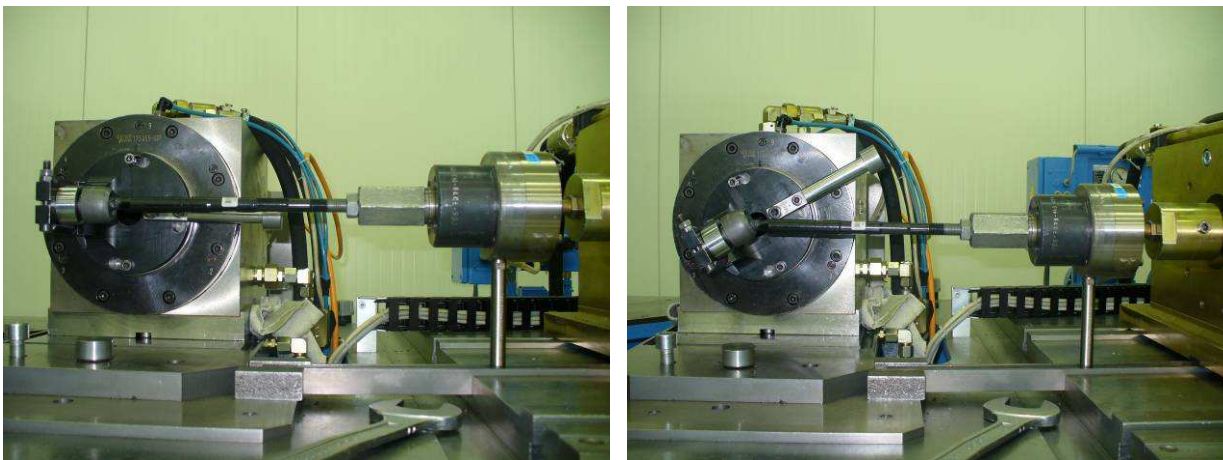
S ohledem na vlastnosti termoplastů a jejich dostatečného ovlivnění jsem si vytýčil teploty 50°C, 80°C a 120°C. V případě nevyhovujících výsledků lze otestovat i teploty další.

5. VLASTNÍ MĚŘENÍ

5.1 Pojmy výkyvný a povolovací klopný moment dle specifikace

5.1.1 Výkyvný moment

Měření výkyvného momentu pro axiální táhlo Fiat Minicargo 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.

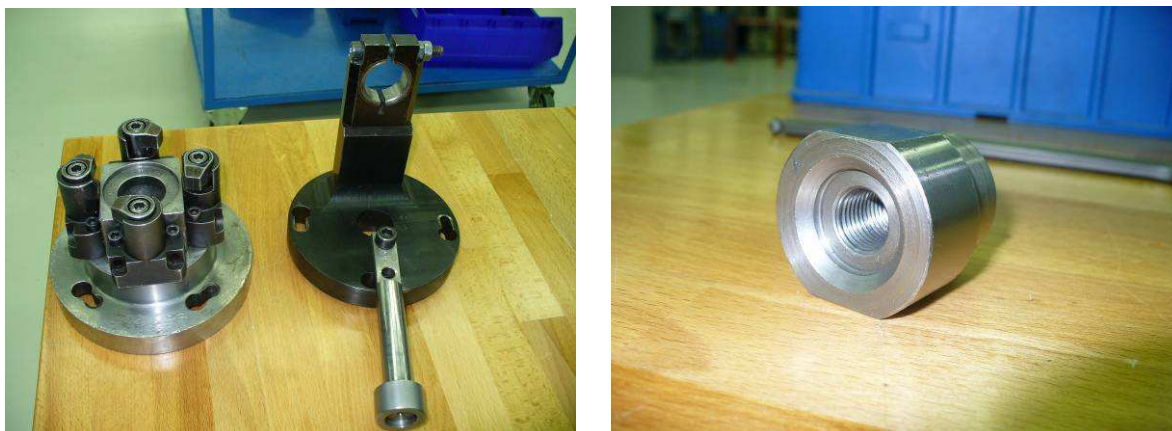


Obr.č. 20: Sestavení funkční zkoušky měření krouticího momentu na axiálním táhle

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 axiálního táhla řízení pro Fiat Minicargo 46° 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.

5.1.1 Povolovací moment výkyvu

Pro měření povolovacího momentů výkyvu se test sestaví naprosto shodně se sestavou pro měření klopného momentu (viz obr. č.20). Stejně tak se měření řídí interní specifikací AK-LH 14 za použití shodných přípravků (viz. obr. 21).



Obr. č.21: Univerzální hlavy pro měření rotačního a klopného momentu, závitový adaptér M14x1,5

Před vlastním měřením povolovacího klopného momentu se dle specifikace provedou přípravné pohyby, tedy 5 klopných pohybů přes celý rozsah z nulové polohy a 5 kuželových pohybů okolo hlavní osy kloubu. Poté se táhla ponechají v klidovém stavu po dobu min. 24 hodin. Poté se při úhlové rychlosti $\omega = 30^\circ \cdot s^{-1}$ stanoví povolovací moment (neboli moment utržení).

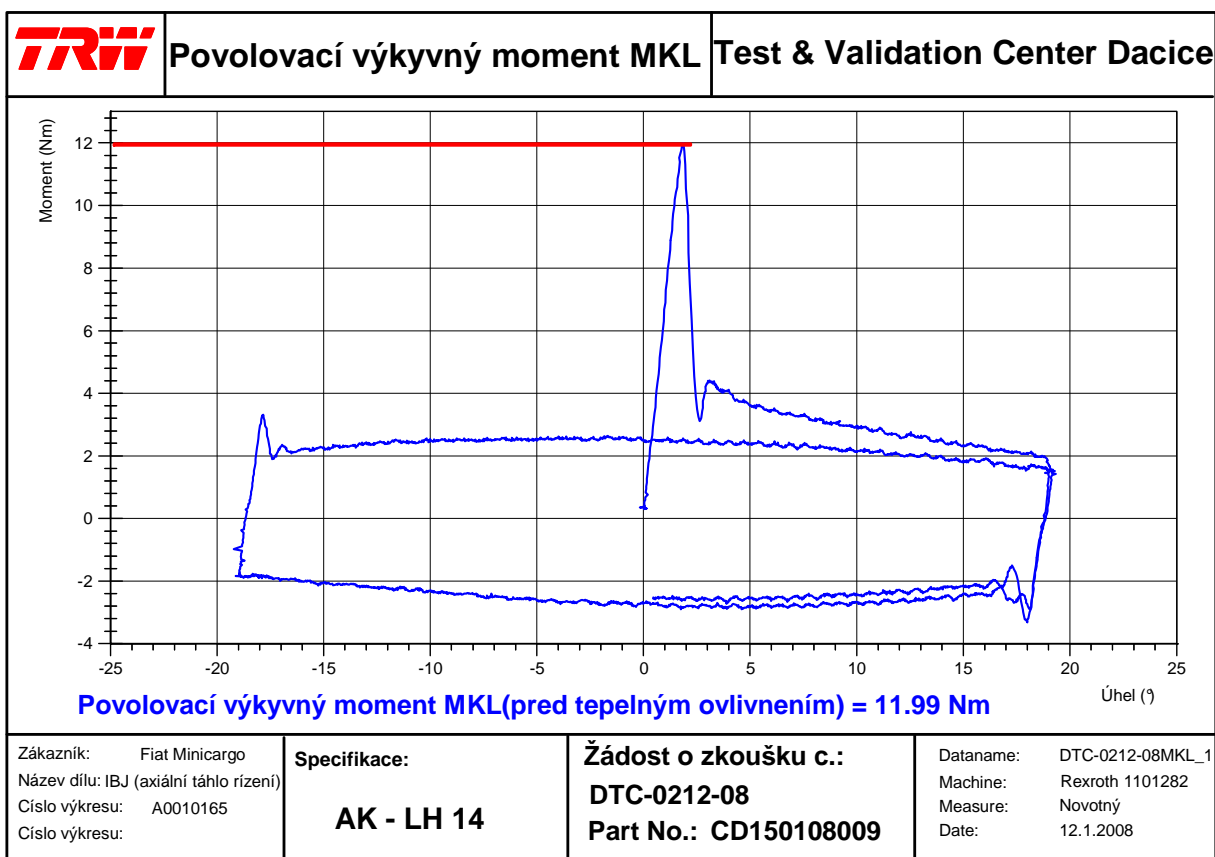
5.2 Postupy zkoušek klopného momentu a povolovacího momentu výkyvu

5.2.1 Postupy zkoušek povolovacího klopného momentu (MKL)

Pro zjištění vhodné kalibrační teploty bylo použito 18 kusů, z nichž pak po šesti kusech bylo použito k termální ovlivnění. Doba tepelné kalibrace byla 1 hodina, neboť dle interních studií společnosti TRW Automotive, je tato doba postačující.

Jak již bylo uvedeno v předchozích kapitolách, měření povolovacího klopného momentu axiálního táhla řízení Fiatu Minicargo se provádělo na univerzálním měřícím stroji Rexroth Syeanl za pomoci ovládacího softwaru Caesar a jednotlivá měření byla vyhodnocena softwarem Diadem. Prezentační grafy softwaru Diadem pro každé

měření jsou uvedeny v příloze této práce. Pro ilustrační účel této kapitoly postačí pouze zástupce měřeného kusu č. 1 před teplotní kalibrací (dle interního značení Testového a Validacího centra společnosti TRW – DAS Dačice a. s. se jedná o kus číslo CD150108009).

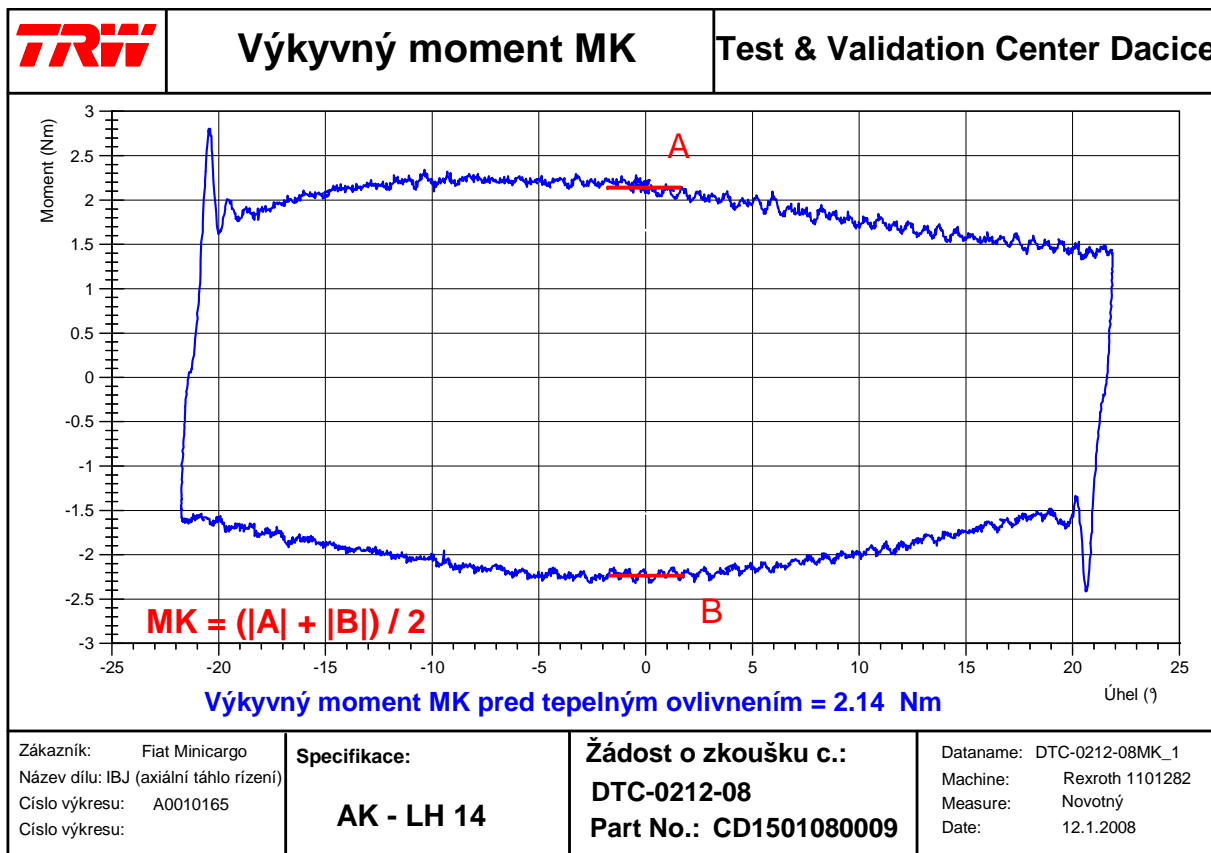


Obr. č.22: Prezentační graf z měření povolovacího klopného momentu

Jak je z grafu patrné, že se klopný moment prudce zvedá z nuly na 11,99 Nm a poté dochází k povolení kloubu a tedy následný pokles momentu na hodnotu zhruba 2 Nm. 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. Povolovací výkyvný moment či moment utržení několikrát násobně překračuje hodnotu klasického výkyvného momentu. Veškeré výsledky měření výkyvného povolovacího momentu před a po teplotní kalibraci jsou uvedeny v tabulce č. 11.

5.2.2 Postupy zkoušek měření klopného momentu

Prezentační grafy softwaru Diadem pro každé měření jsou uvedeny v příloze této práce. Stejně jako v kapitole č. 4.3.1 použijeme pro ilustrační účel pouze zástupce měřeného kusu č. 1 před teplotní kalibrací (dle interního značení Testového a Validáčního centra společnosti TRW – DAS Dačice a. s. se opět jedná o kus číslo CD150108009).



Obr. č.23: 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. VÝSLEDKY ZKOUŠEK A STATISTICKÁ VYHODNOCENÍ

Výsledky a statistická vyhodnocení měření povolovacího klopného momentu

Veškerá měření byla provedena na stroji Rexroth Syeanl. V tabulkách č. 11 a 12 jsou uvedeny kromě výsledků i statistické veličiny, které byly vyhodnoceny. Mezi ně patří:

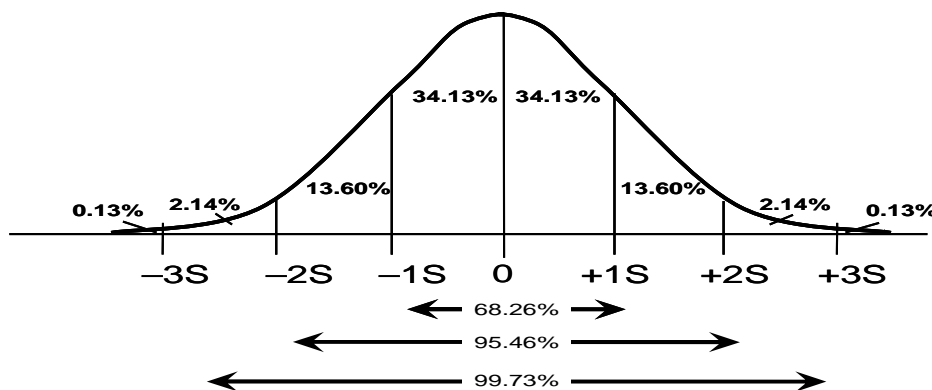
Aritmetický průměr je statistická veličina, která v jistém smyslu vyjadřuje typickou hodnotu popisující soubor mnoha hodnot. Aritmetický průměr se obvykle značí vodorovným pruhem [10].

Vypočítá se vzorce: $\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$ (1)

Směrodatná odchylka je v teorii pravděpodobnosti a statistice často používanou mírou statistické disperze. Jedná se o kvadratický průměr odchylek hodnot znaku od jejich aritmetického průměru. Zhruba řečeno vypovídá o tom, jak moc se od sebe navzájem liší typické případy v souboru zkoumaných čísel. Je-li malá, jsou si prvky souboru většinou navzájem podobné, a naopak velká směrodatná odchylka signalizuje velké vzájemné odlišnosti. Pomocí pravidel 1s a 2s (viz níže) lze přibližně určit, jak daleko jsou čísla v souboru vzdálená od průměru, resp. hodnoty náhodné veličiny vzdálené od střední hodnoty. Směrodatná odchylka je nejužívanější míra variability [11].

Vypočítá se vzorce: $S = \sqrt{\frac{1}{n} \times \sum (x_i - \bar{x})^2}$ (2)

Hodnoty $\bar{x} + 3s$ a $\bar{x} - 3s$ slouží k určení dle křivky pravděpodobnosti (obr. č. 24), že uvedené výsledky se budou nacházet právě v toleranci (+3s,-3s) s pravděpodobností 99,73 %. Zde se tedy pohybujeme v řádu 6 s. Cílem společnosti TRW je dostat se do pásma 12 s, které by znamenalo, že počet nevyhovujících dílů se pohybuje okolo 3,5 ks z množství 1 000 000 vyrobených kusů.



Obr. 24: Křivka pravděpodobnosti

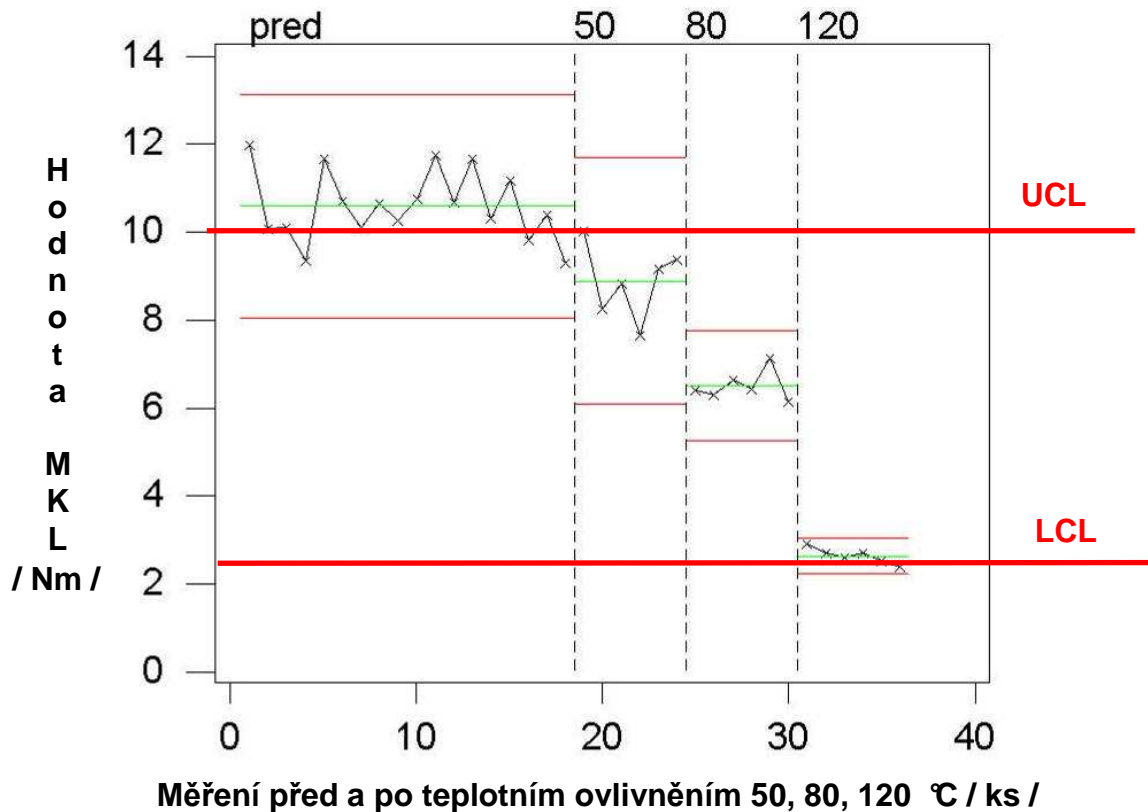
Uvedené vzorce (1, 2) byly použity pro výpočet statistických údajů v tabulce 11 a 12.

Pro přehled jsou výsledky a přípustné tolerance uvedeny v obr. č. 22.

Veškerá data vycházejí z prováděných měření, jsou vypsána v tabulce 11 a jejich grafy se nacházejí v příloze této práce.

Pořadové číslo	Interní značení	MKL před teplotním ovlivněním [2,5 - 10 Nm]	MKL po 50°C/1hod. [2,5 - 10 Nm]	MKL po 80°C/1hod. [2,5 - 10 Nm]	MKL po 120°C/1hod. [2,5 - 10 Nm]
1	CD1501080009	11,99	10,04	-	-
2	CD1501080010	10,08	8,26	-	-
3	CD1501080011	10,10	8,84	-	-
4	CD1501080012	9,35	7,66	-	-
5	CD1501080013	11,67	9,17	-	-
6	CD1501080014	10,70	9,39	-	-
7	CD1501080015	10,10	-	6,40	-
8	CD1501080016	10,65	-	6,30	-
9	CD1501080017	10,27	-	6,65	-
10	CD1501080018	10,75	-	6,43	-
11	CD1501080019	11,74	-	7,14	-
12	CD1501080020	10,68	-	6,16	-
13	CD1501080021	11,66	-	-	2,92
14	CD1501080022	10,32	-	-	2,70
15	CD1501080023	11,18	-	-	2,60
16	CD1501080024	9,82	-	-	2,71
17	CD1501080025	10,39	-	-	2,53
18	CD1501080026	9,30	-	-	2,40
Počet hodnot n		18,00	6,00	6,00	6,00
Součet všech hodnot $\sum X_i$		190,75	53,36	39,08	21,86
Průměr \bar{x}		10,60	8,89	6,51	2,64
Směrodatná odchylka s		0,79	0,84	0,35	0,18
$\bar{x} + 3s$		12,98	11,43	7,55	3,18
$\bar{x} - 3s$		8,21	6,36	5,47	2,11

Tab. 11: Výsledky a statistická vyhodnocení výsledků povolovacího klopného momentu



Obr. č. 25: Grafické vyhodnocení MKL před a po tepelném ovlivnění

Z grafu na obrázku č. 23 a tabulky č. 11 jednoznačně vyplývá, že pro hodnotu povolovacího klopného momentu, která splňuje požadavek na dodržení tolerance 2,5 – 10 Nm, je nejvhodnější použít tepelné ovlivnění 80°C. Navíc se ustálil i rozptyl naměřených hodnot. U teploty 120°C se sice rozptyl hodnot ustálil také, dokonce se naměřené hodnoty pohybují v rozmezí 0,5 Nm, ale hodnota 2,4 Nm již nevyhovuje předepsané toleranci.

Výsledky a statistická vyhodnocení měření klopného momentu

Veškerá data vycházejí z prováděných měření, jsou vypsána v tabulce 12 a jejich grafy se nacházejí v příloze této práce.

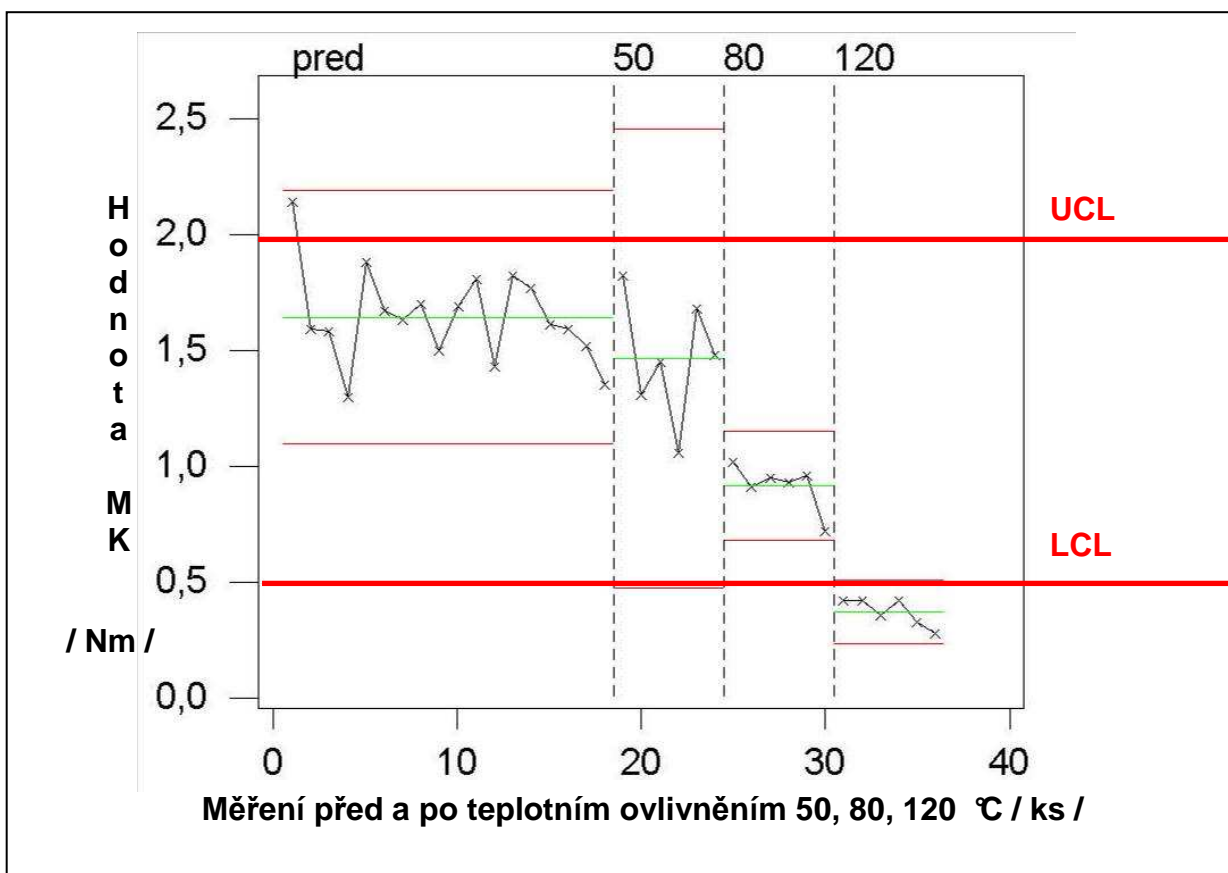
Pořadové číslo	Interní značení	MK před teplotním ovlivněním [0,5 - 2,0 Nm]	MK po 50°C/1hod. [0,5 - 2,0 Nm]	MK po 80°C/1hod. [0,5 - 2,0 Nm]	MK po 120°C/1hod. [0,5 - 2,0 Nm]
1	CD1501080009	2,14	1,82	-	-
2	CD1501080010	1,59	1,31	-	-
3	CD1501080011	1,58	1,45	-	-
4	CD1501080012	1,30	1,06	-	-
5	CD1501080013	1,88	1,68	-	-
6	CD1501080014	1,67	1,48	-	-
7	CD1501080015	1,63	-	1,02	-
8	CD1501080016	1,70	-	0,91	-
9	CD1501080017	1,50	-	0,95	-
10	CD1501080018	1,69	-	0,93	-
11	CD1501080019	1,81	-	0,96	-
12	CD1501080020	1,43	-	0,72	-
13	CD1501080021	1,82	-	-	0,42
14	CD1501080022	1,77	-	-	0,42
15	CD1501080023	1,61	-	-	0,36
16	CD1501080024	1,59	-	-	0,42
17	CD1501080025	1,52	-	-	0,33
18	CD1501080026	1,35	-	-	0,28
Počet hodnot n		18,00	6,00	6,00	6,00
Součet všech hodnot $\sum X_i$		29,58	8,80	5,49	8,23
Průměr \bar{x}		1,64	1,47	0,92	0,37
Směrodatná odchylka s		0,20	0,27	0,10	0,06
$\bar{x} + 3s$		2,24	2,27	1,22	0,55
$\bar{x} - 3s$		1,04	0,66	0,61	0,20

Tab. 12: Výsledky a statistická vyhodnocení výsledků klopného momentu

Definice a rovnice pro výpočty statistických údajů jsou uvedeny v kapitole 5.1. Stejně jako v předchozí kapitole, je pro názornost vytvořen graf hodnot klopného momentu před a po tepelném ovlivnění.

Z obrázku č. 22 a tabulky č. 12 vyplývá, že jedinou vhodnou teplotou, která umožní dosažení klopného momentu v mezích tolerance požadované specifikací teplota 80°C. S ohledem na vyhodnocení jak povolovacího tak klopného momentu lze tedy jednoznačně doporučit kalibrační teplotu 80°C.

V technologickém postupu je tato operace zařazena mezi montáž a výstupní kontrolu.



Obr. č. 22: Grafické vyhodnocení MKL před a po tepelném ovlivnění

7. TECHNICKO - EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Nalezené řešení (ovlivnění axiálního táhla řízení teplotou 80°C po dobu jedné hodiny) je možné aplikovat na velké série kusů za poměrně nízkých nákladů a s minimálním zásahem do výrobního postupu. Bylo docíleno vyhovujících a ustálených předepsaných hodnot povolovacího klopného a klopného momentu. Tím je však splněna jen dílčí část celé řady požadavků na vlastnosti a životnosti axiálního táhla řízení. Součástí validace je i testování dalších funkčních vlastností, zejm. test na vytržení čepu z hlavy kloubu či axiální elasticitu. Testují se jednotlivé komponenty sestavy dle interních i zákaznických požadavků, zejm. test v solné mlze. Simuluje se opotřebení kloubu, kdy díl musí zachovat předepsané vlastnosti i po zátěžovém testu. Zjišťuje se doba životnosti kloubu, po které se na dílu projeví vůle či překročená nejvyšší dovolená axiální elasticita.

ZÁVĚR

Ve své bakalářské práci jsem se zabýval vyřešením problému s příliš vysokým povolovacím a povolovacím klopným momentem axiálního táhla řízení. Snahou bylo nalézt co nejlepší a zejm. nejekonomičtější řešení vedoucí ke snížení klopných momentů. V úvahu jsou brány možnosti zásahu do výrobního procesu, možnosti změny materiálu případně vlivu různých teplot na funkční vlastnosti, osmnácti sériově vyrobených axiálních táhel řízení pro Fiat Minicargo. S ohledem na případné problémy s validací či složitého schvalování navržených řešení dodavatelem jsem se začal zabývat nejprve ovlivněním momentů různými kalibračními teplotami.

Jako vzorek jsem si vybral 18 ks sériově vyrobených axiálních táhel řízení, která jsem funkčně proměřil na zkušební stroji Rexroth. Syeanl a výsledky klopných momentů porovnal s požadavkem zákazníka.

Vzhledem k nevyhovujícím výsledkům jsem se snažil tyto vlastnosti táhla ovlivnit působením teplot 50°, 80° a 120°C po dobu jedné hodiny na třech skupinách po šesti kusech. Jedna hodina byla vybrána dle jiné studie, kdy se ukázalo, že opakované či delší působení teploty již nemá zásadní vliv za změnu funkčních vlastností. Po důkladném ochlazení kusů (24 hodin při pokojové teplotě) byla axiální táhla znovu přeměřena statisticky vyhodnocena. Jako nejvhodnější se ukázala teplota 80°C, po které nejen výsledky vyhověly, ale došlo i k ustálení rozptylu naměřených hodnot.

V teoretické části své práce jsem se zaměřil jak na možné vlivy na hodnotu klopných momentů (povrch koule čepu, zaválcování hlavy kloubu, vlastnostmi použitých plastů a maziva a jejich chování při tepelném ovlivnění), tak i popisem jednotného postupu měření dle specifikace a stručným popisem měřících a termálních zařízení.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] DOLEŽEL, Břetislav, J. *Odolnost plastů a pryží*. 1.vydání. Praha: SNTL, 1981. 712 s.
- [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] 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
- [4] http://auto.idnes.cz/auto_ojetiny.asp?r=auto_ojetiny&c=A060127_172200_auto_ojetiny_fdv
- [5] http://www.trw.com/whoweare/main/0,,1_516^2^516^516,00+en-USS_01DBC.html
- [6] http://www.trwauto.cz/02_index.html
- [7] <http://www.sweb.cz/pur.asociace/pritazlivy.htm>
- [8] <http://www.ni.com/diadem/>
- [9] 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
- [11] http://cs.wikipedia.org/wiki/Sm%C4%9Brodatn%C3%A1_odchylka
- [12] <http://www.dusde.trw.com/NetitWeb/kunden-normen/>
- [13] http://www.dolezal-pe.cz/_SitePublic/attachments/doc331/Molykote.pdf

POUŽITÉ SYMBOLY

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

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1: Grafický záznam zkoušek klopného momentu před teplotním ovlivněním

Příloha č. 2: Grafický záznam zkoušek povolovacího klopného momentu před teplotním ovlivněním

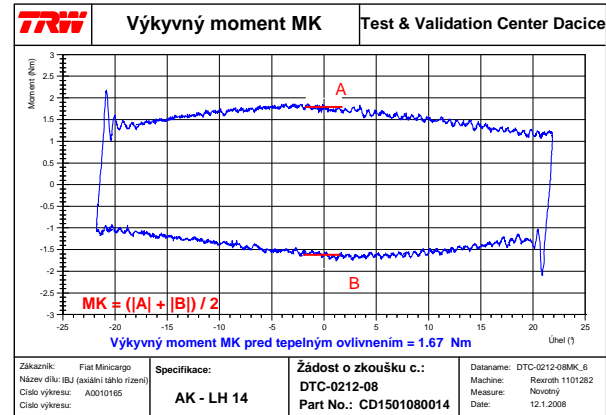
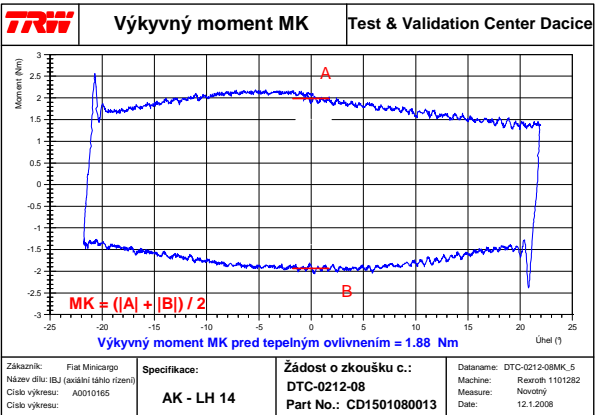
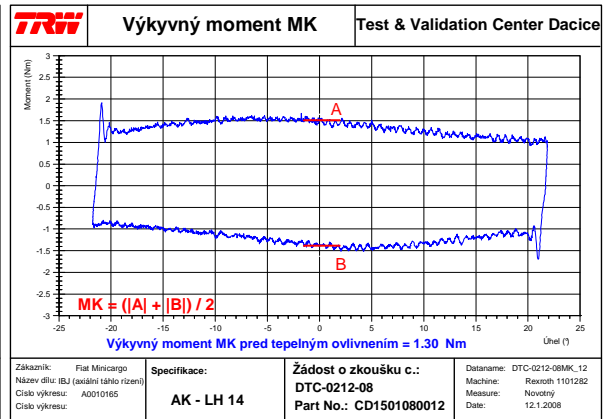
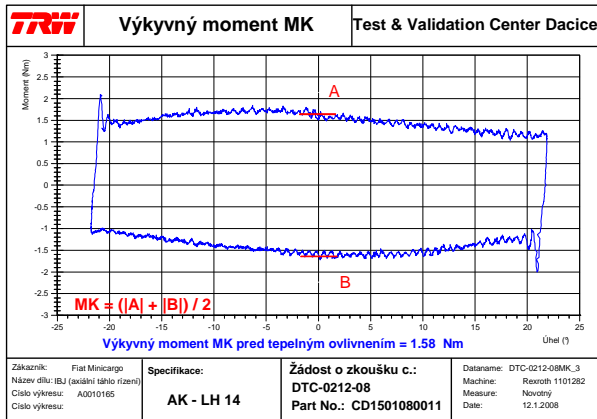
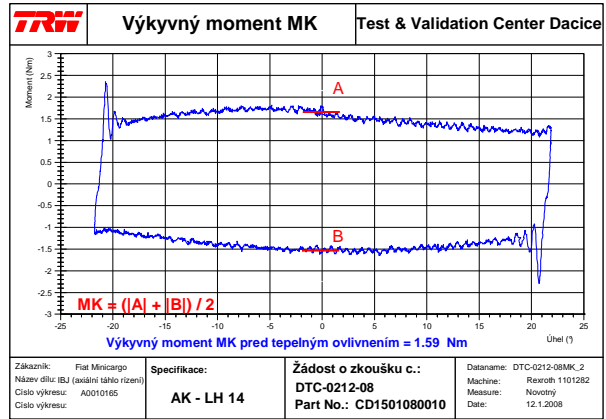
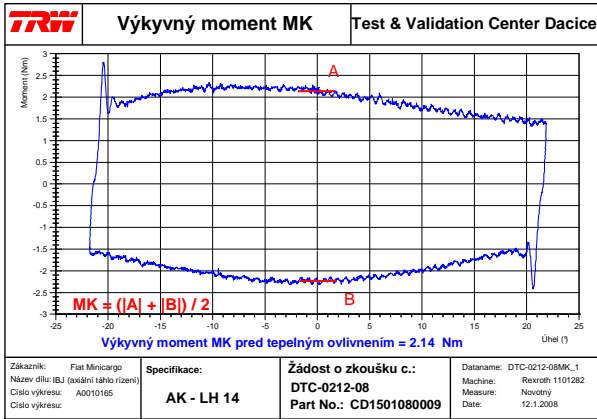
Příloha č. 3: Grafický záznam zkoušek klopného momentu po teplotním ovlivnění

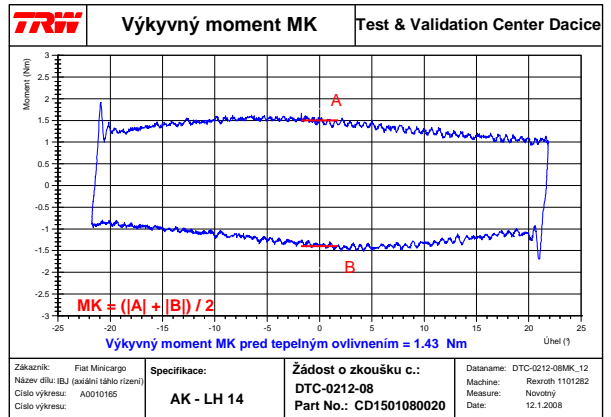
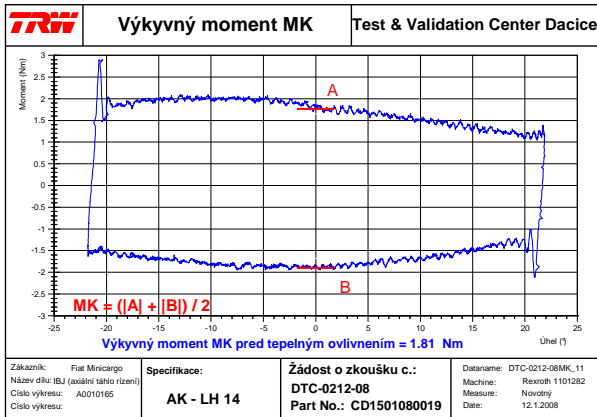
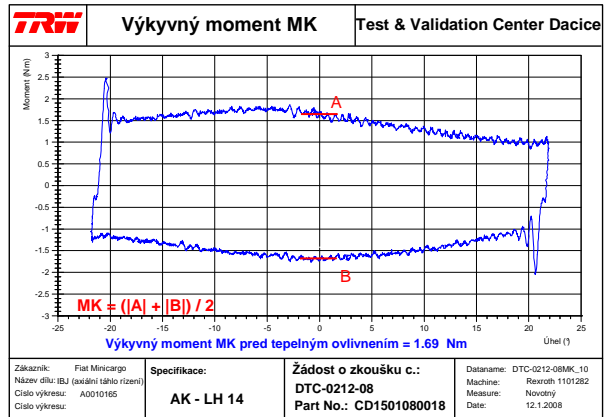
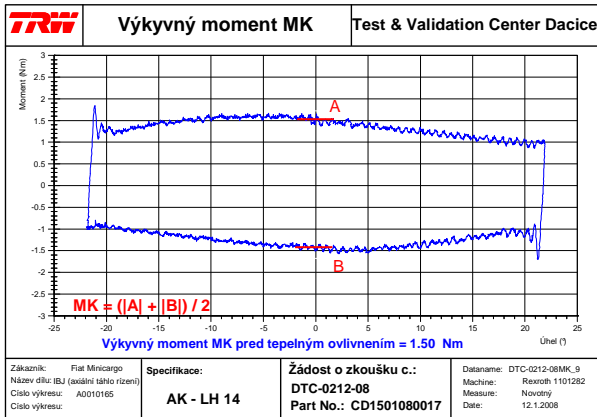
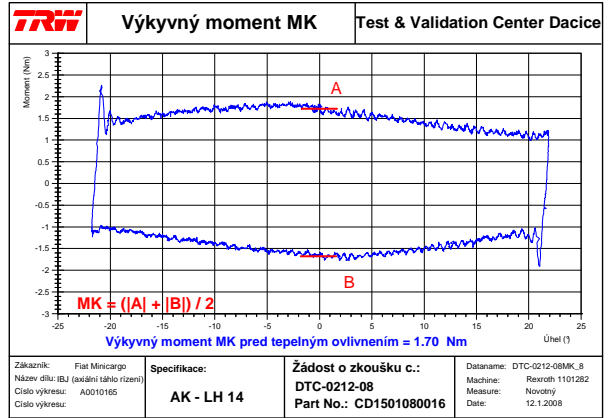
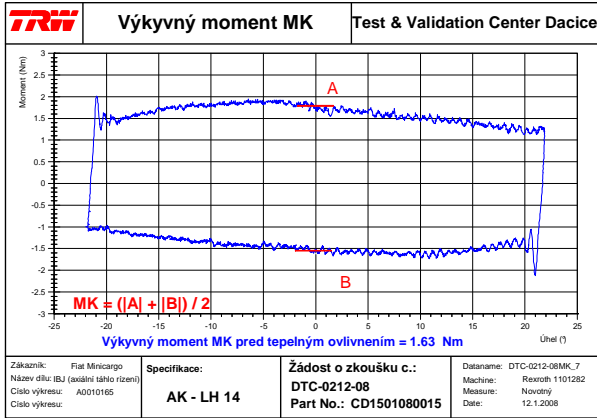
Příloha č. 4: Grafický záznam zkoušek povolovacího klopného momentu po teplotním ovlivnění

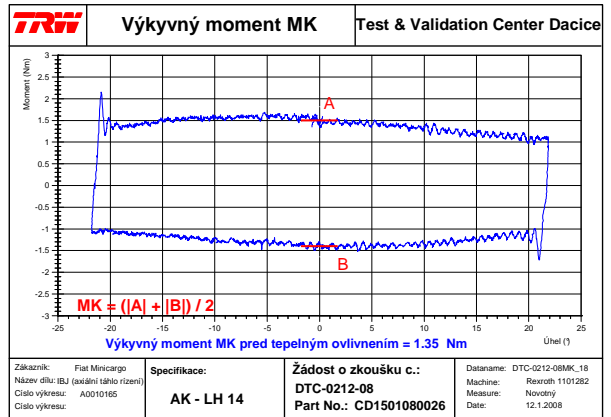
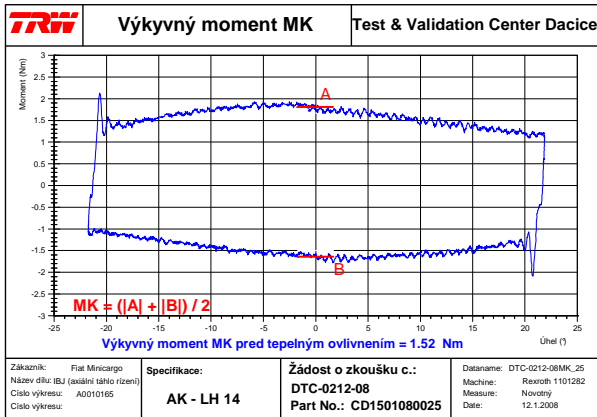
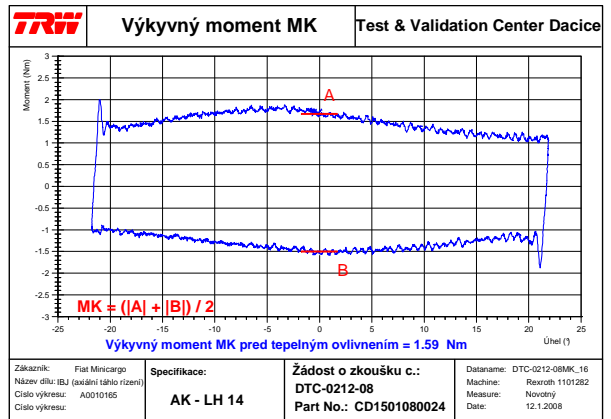
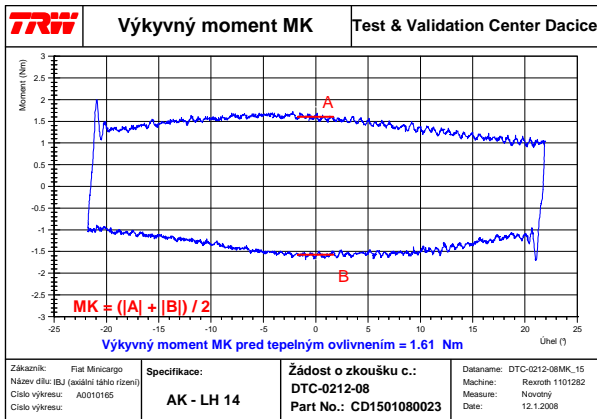
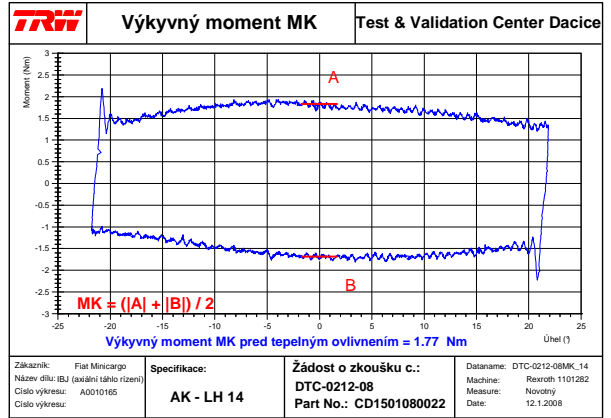
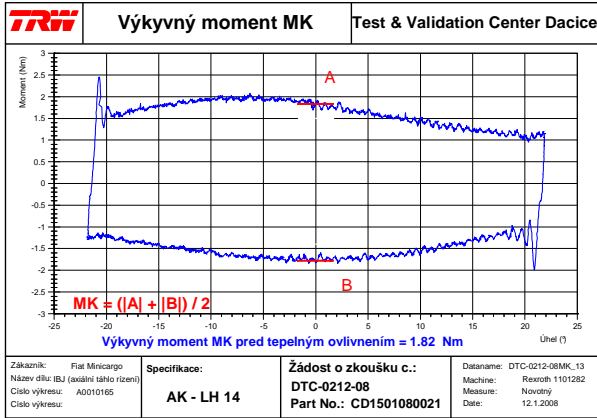
PŘÍLOHY

Příloha č. 1

Grafický záznam zkoušek klopného momentu před teplotním ovlivněním

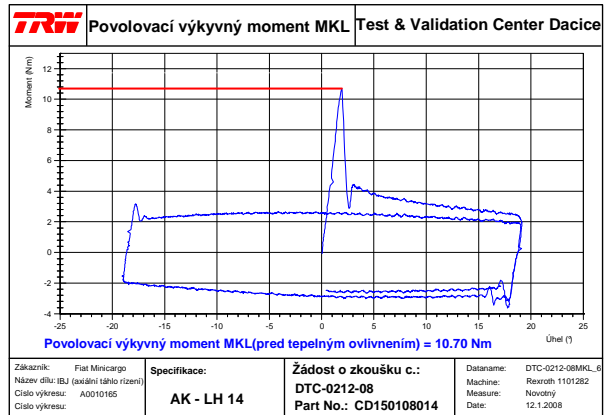
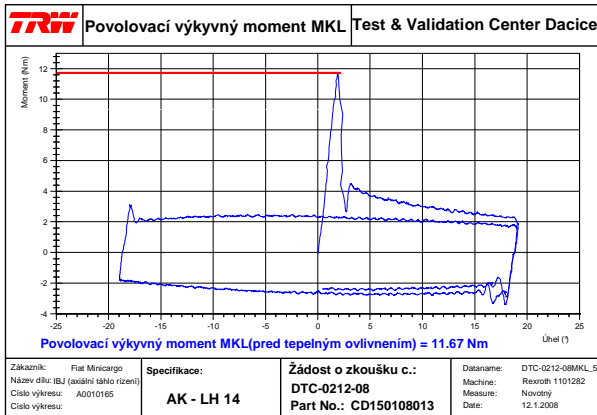
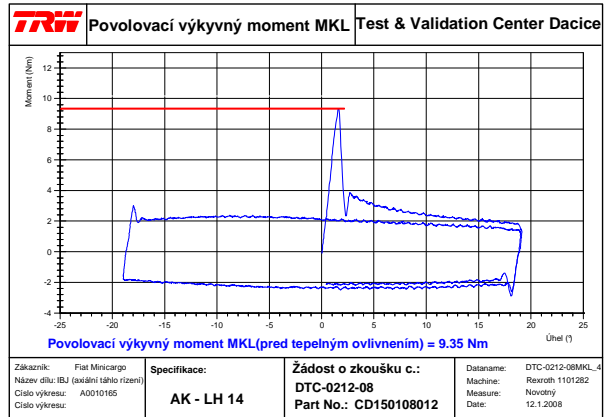
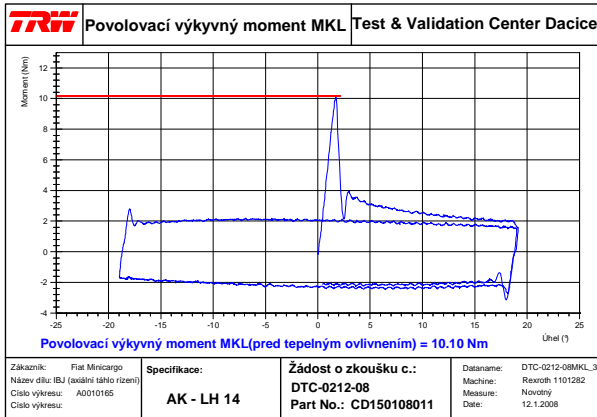
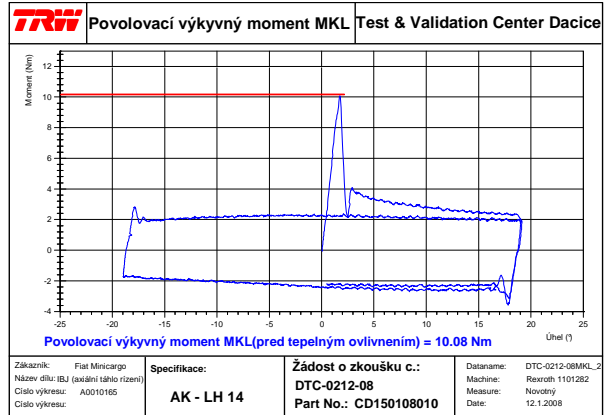
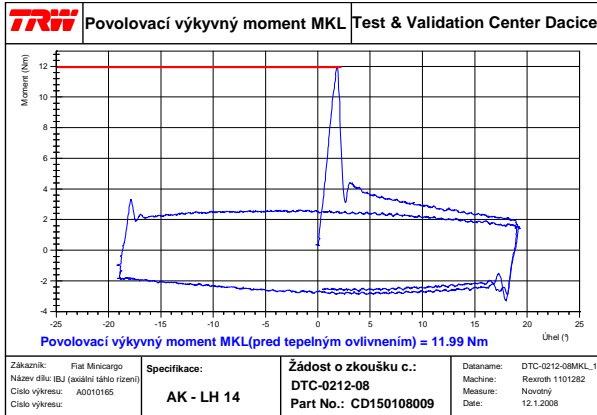


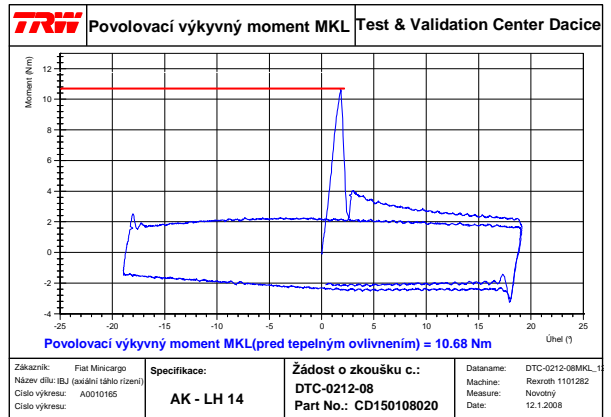
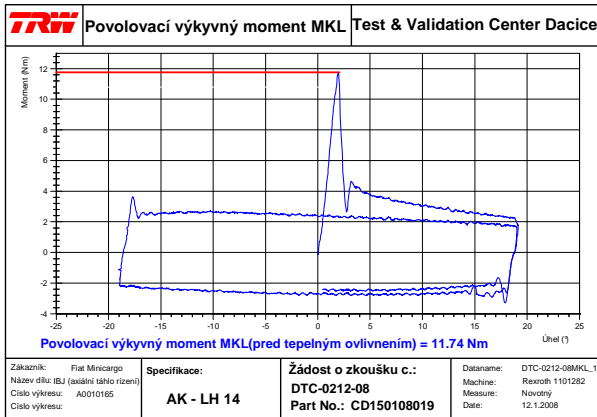
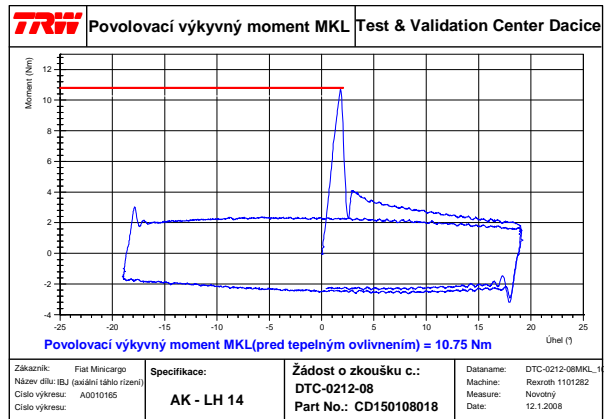
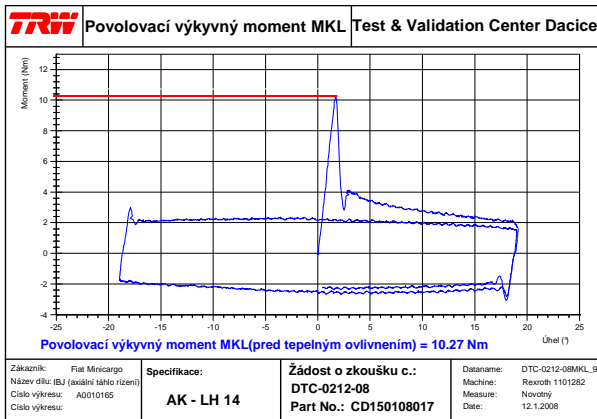
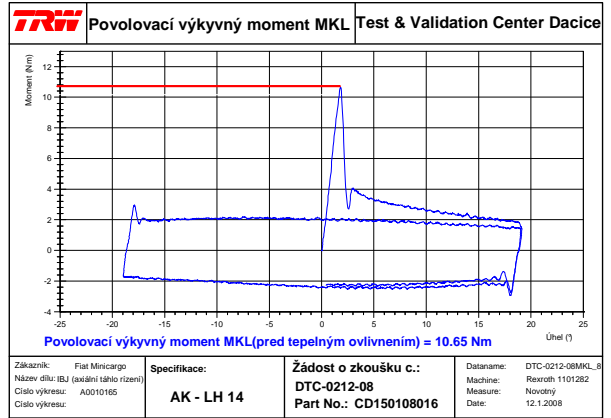
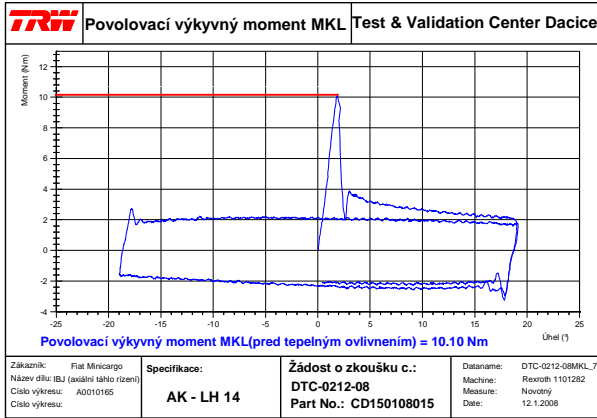


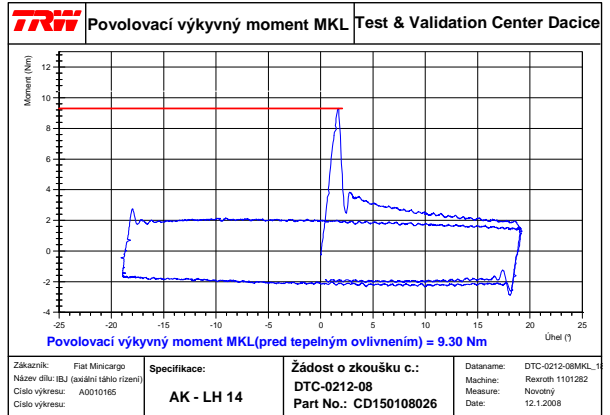
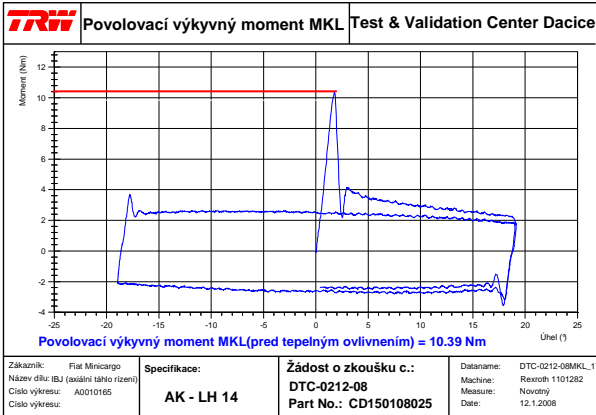
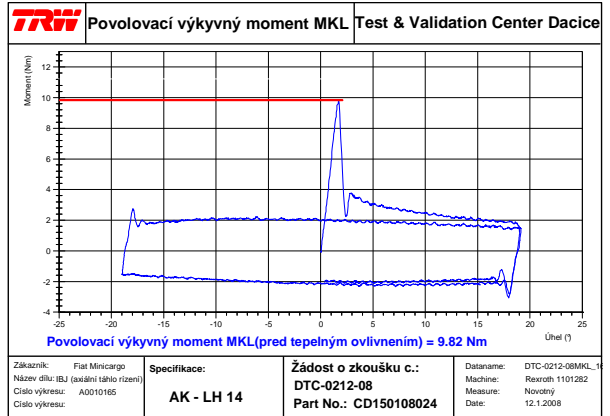
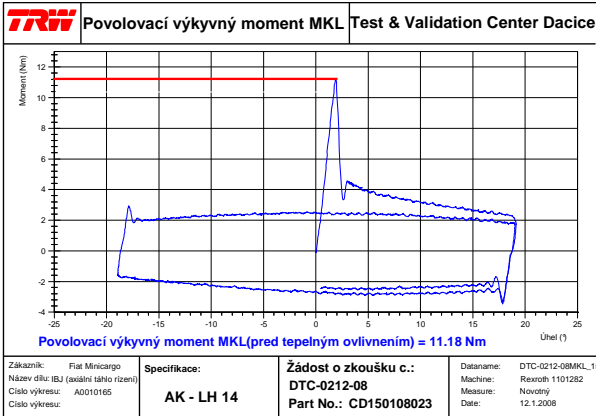
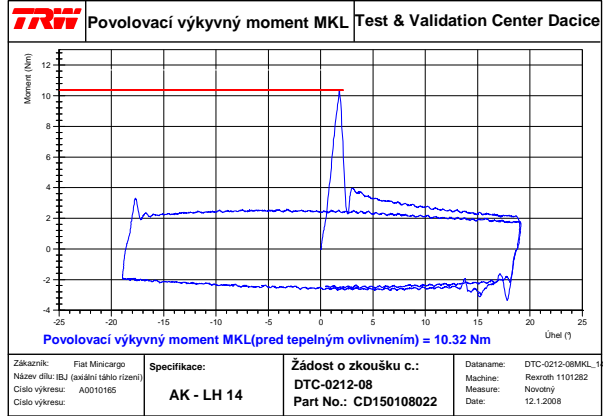
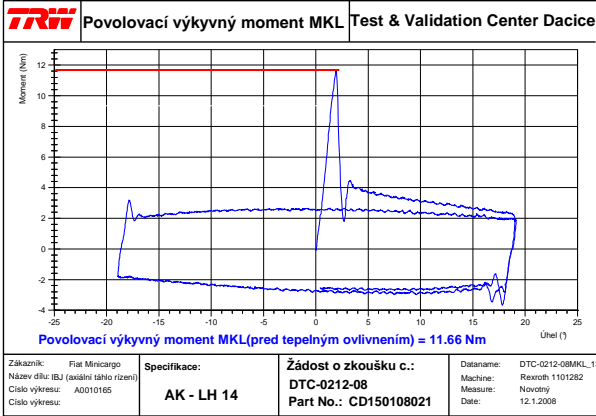


Příloha č. 2

Grafický záznam zkoušek povolovacího klopného momentu před teplotním ovlivněním



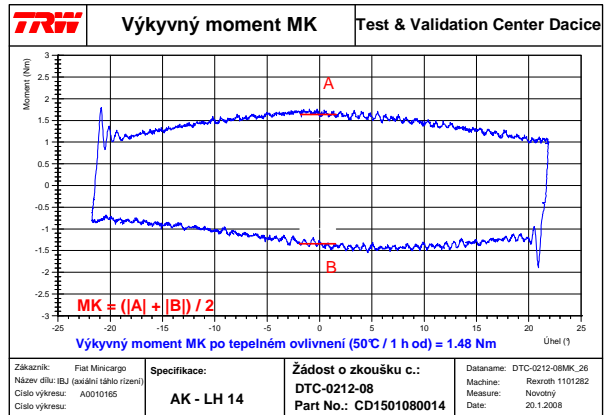
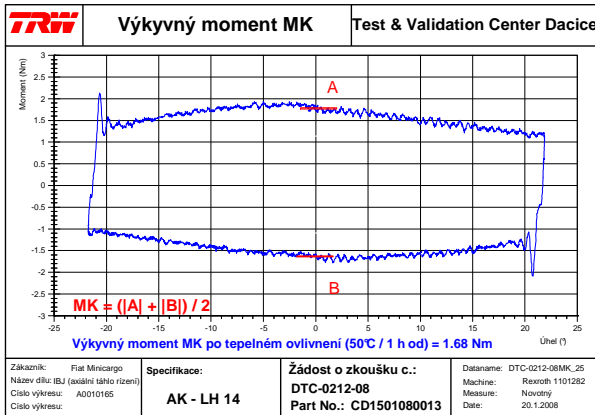
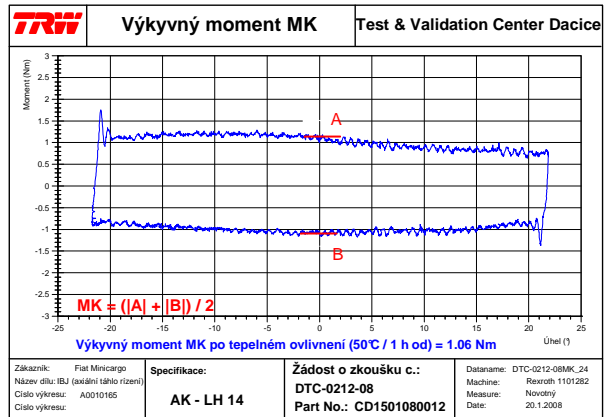
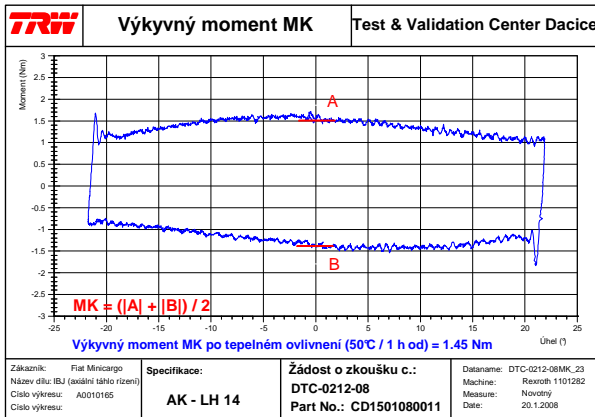
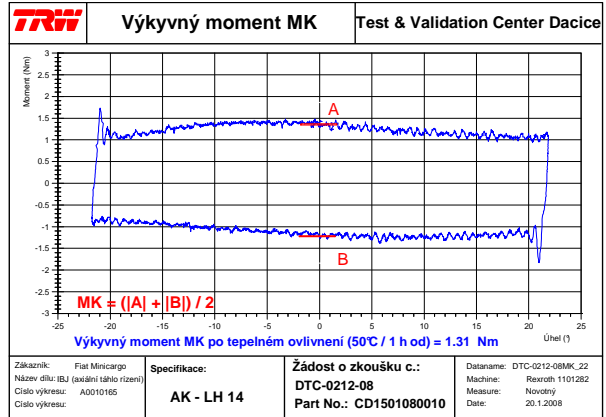
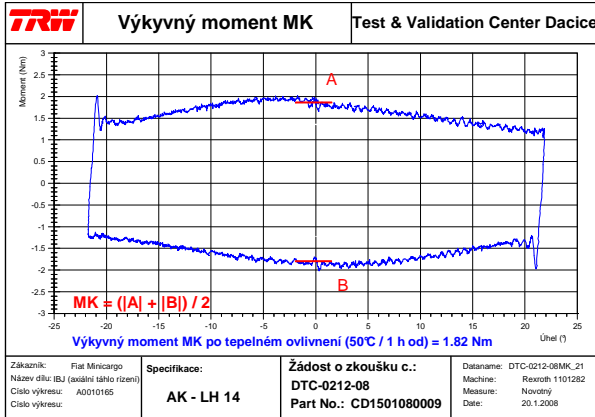




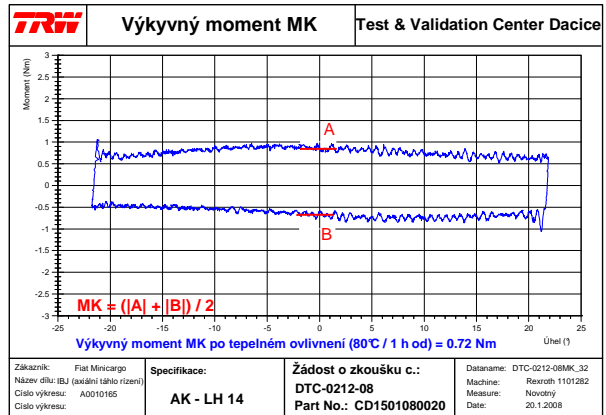
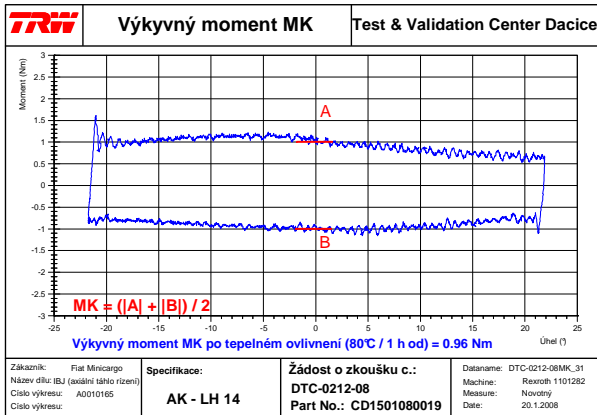
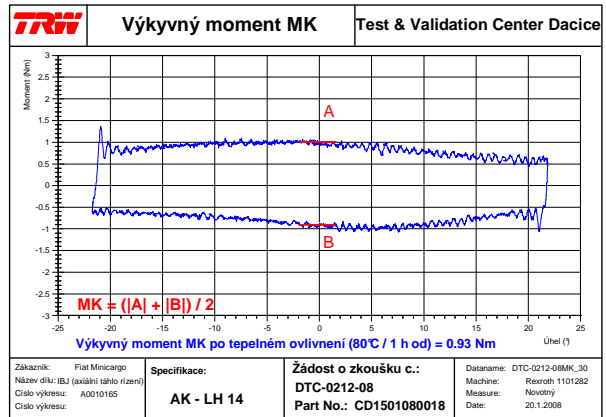
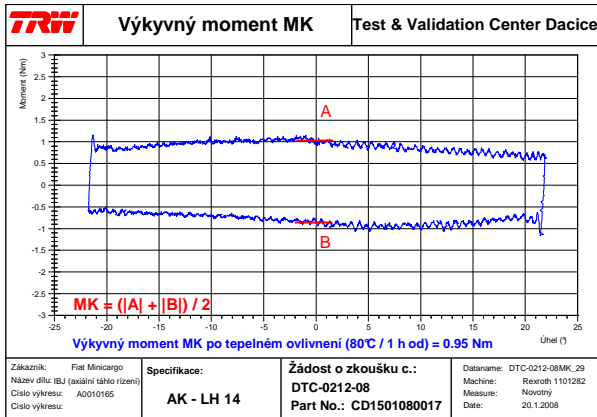
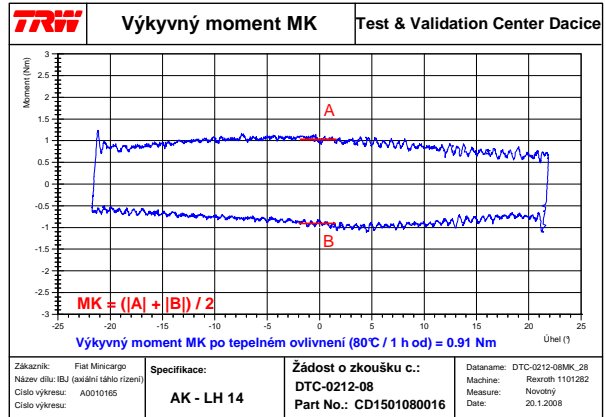
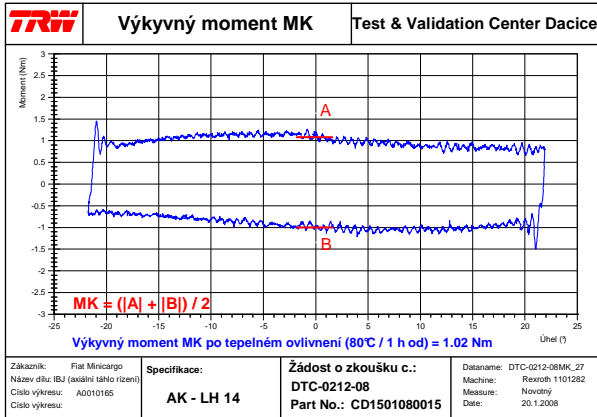
Příloha č. 3

Grafický záznam zkoušek klopného momentu po teplotním ovlivnění

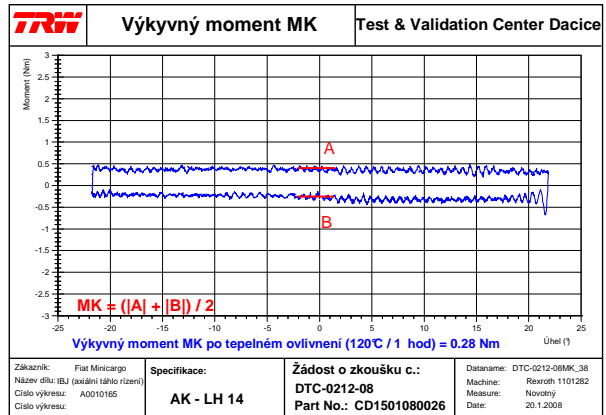
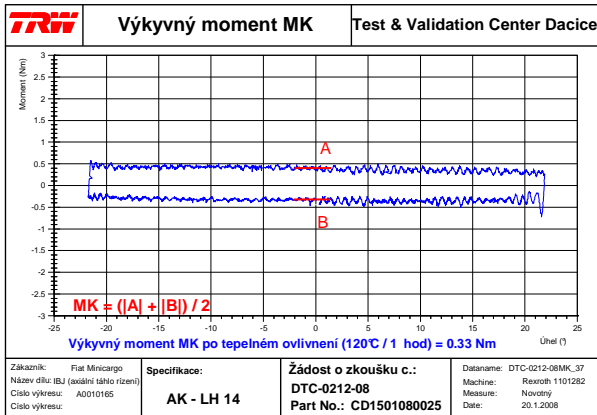
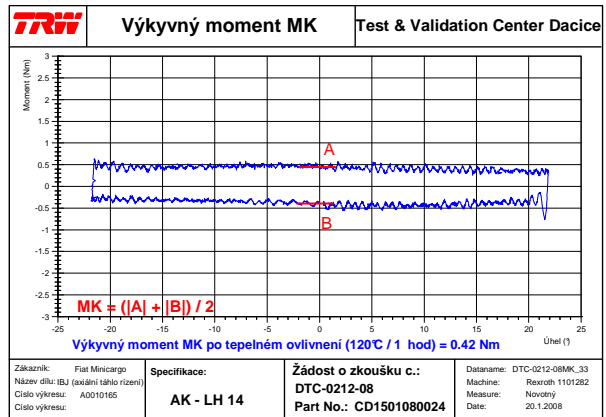
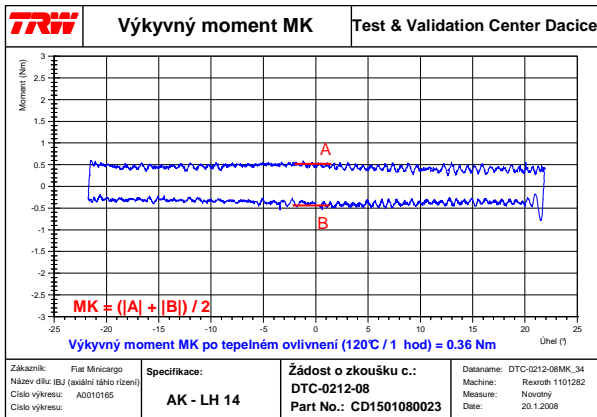
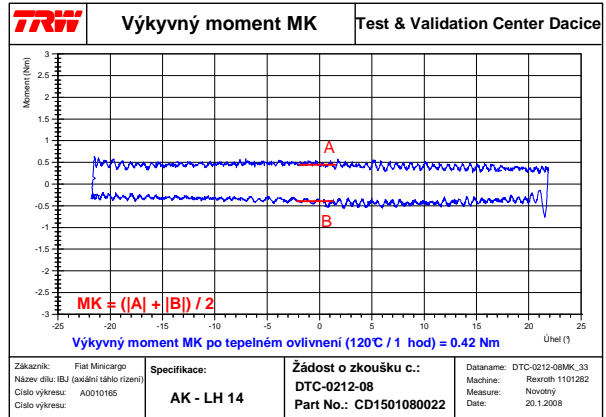
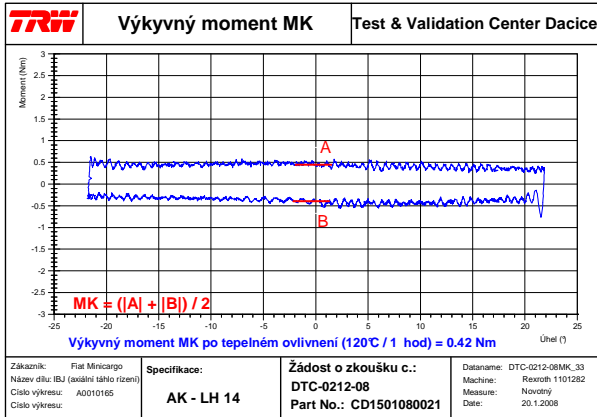
50°C po dobu jedné hodiny



80°C po dobu jedné hodiny



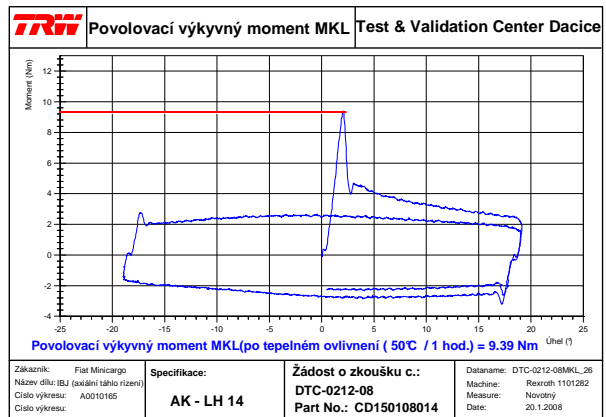
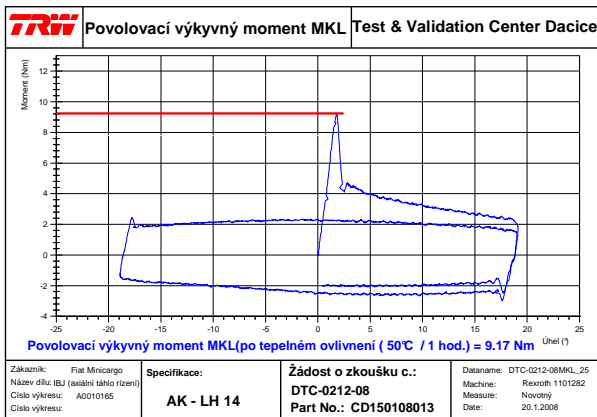
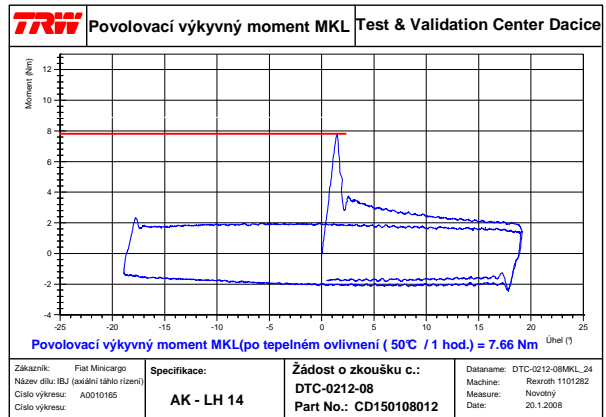
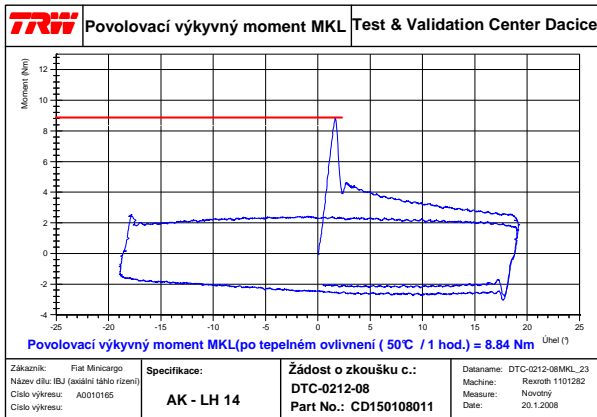
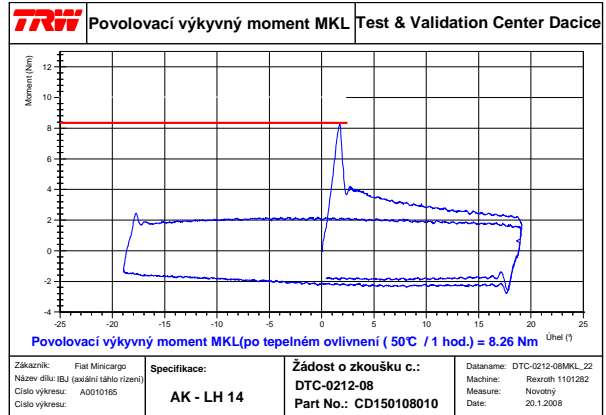
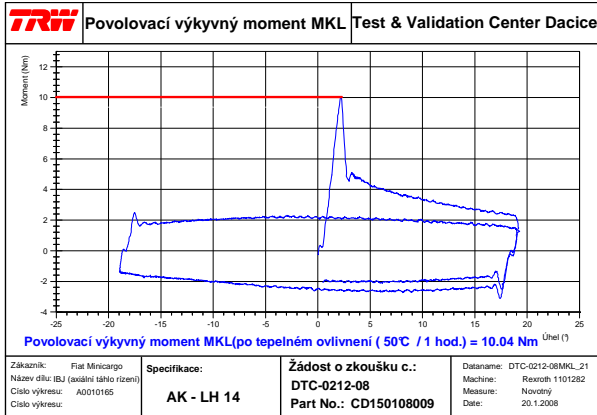
120°C po dobu jedné hodiny



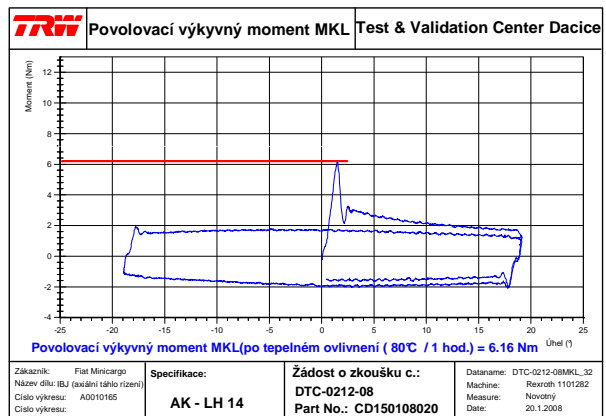
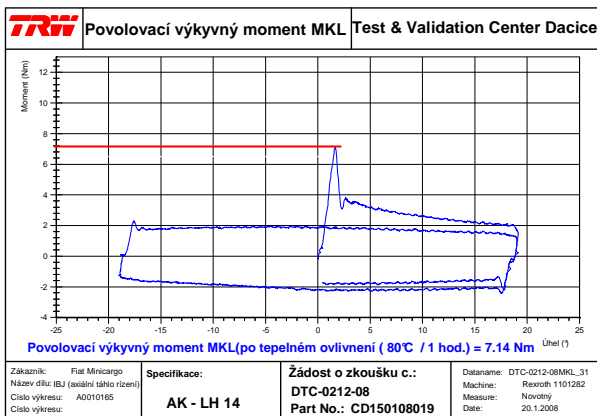
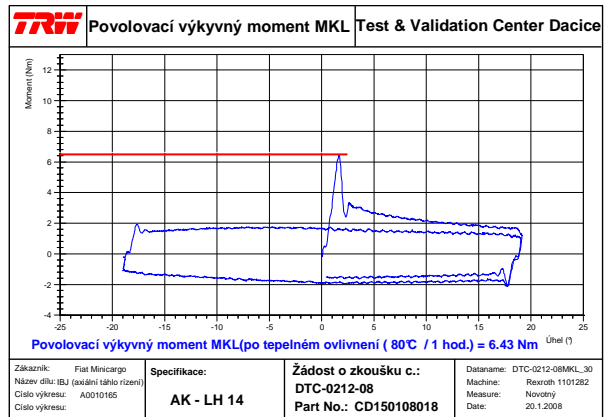
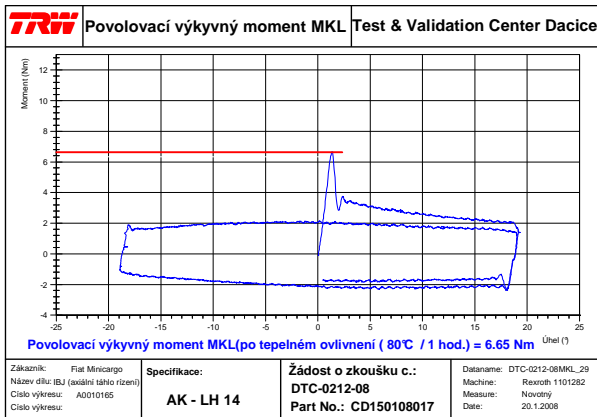
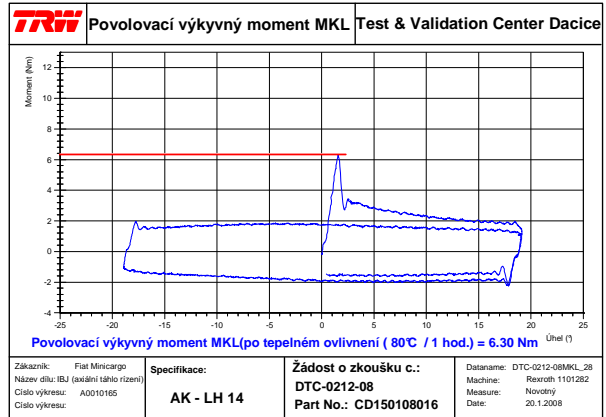
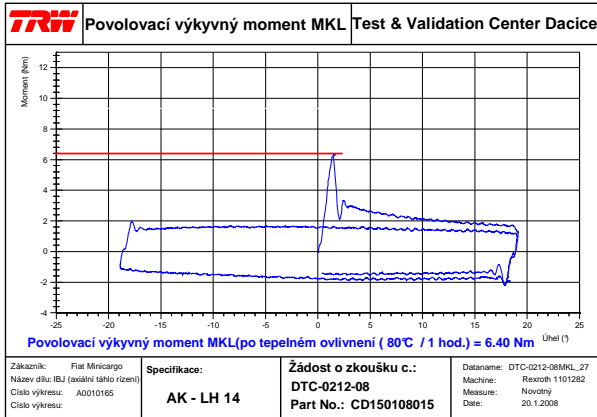
Příloha č. 4

Grafický záznam zkoušek povolovacího klopného momentu po teplotním ovlivnění

50°C po dobu jedné hodiny



80°C po dobu jedné hodiny



120°C po dobu jedné hodiny

