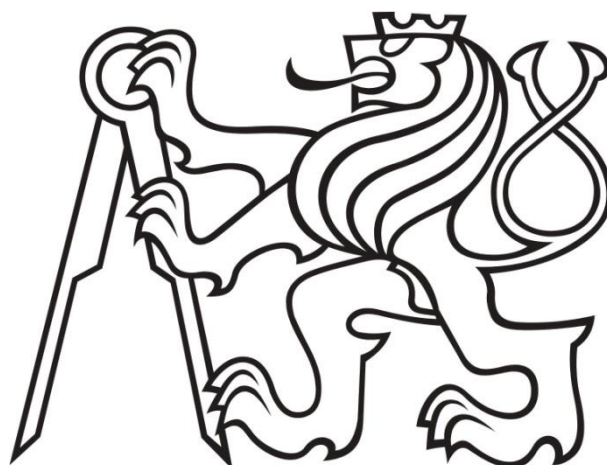


# České Vysoké Učení Technické v Praze

Fakulta Strojní

Ústav strojírenské technologie



## Stanovení tribologických vlastností třecího uložení

Diplomová práce

Vypracoval:

Grach Luboš

Vedoucí práce:

doc. Ing. Viktor Kreibich, CSc.

Praha 2018

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Grach** Jméno: **Luboš** Osobní číslo: **408880**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávající katedra/ústav: **Ústav strojírenské technologie**  
Studijní program: **Strojní inženýrství**  
Studijní obor: **Výrobní a materiálové inženýrství**

## II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

**Stanovení tribologických vlastností třecího uložení**

Název diplomové práce anglicky:

**Determination of the tribological properties of friction joint**

Pokyny pro vypracování:

1. Rozbor sledované problematiky
2. Návrh metodiky měření tribologických vlastností
3. Měření tribologických vlastností vybraných kombinací materiálů
4. Technicko-ekonomické posouzení navrženého řešení.

Seznam doporučené literatury:

dle pokynů vedoucího

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

**doc. Ing. Viktor Kreibich, CSc., ústav strojírenské technologie FS**

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **23.04.2018**

Termín odevzdání diplomové práce: **10.08.2018**

Platnost zadání diplomové práce: **10.08.2018**

doc. Ing. Viktor Kreibich, CSc.  
podpis vedoucí(ho) práce

doc. Ing. Ladislav Kólařík, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

30.7.2018

Datum převzetí zadání

Grach

Pódpis studenta

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady uvedené v příloženém seznamu.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorských zákonů).

V Praze dne

.....

Grach Luboš

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval doc. Ing. Viktoru Kreibichovi za vedení mé diplomové práce a za cenné rady v průběhu realizace mé diplomové práce. Firmě Mubea bych rád poděkoval za poskytnutí měřicí techniky a za poskytnutí prostorů pro realizaci diplomové práce.

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**  
**FAKULTA STROJNÍ**

**Ústav strojírenské technologie**

Program: Strojní inženýrství

Obor: Výrobní a materiálové inženýrství

Název diplomové práce: Stanovení tribologických vlastností třecího uložení

Autor diplomové práce: Grach Luboš

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Viktor Kreibich, CSc.

Rozsah diplomové práce:

Počet stran:	132
Počet obrázků:	75
Počet tabulek:	31
Počet grafů:	60
Počet příloh:	1xCD

## **Anotace:**

První část diplomové práce popisuje problematiku řemenových převodů, opásání řemenových převodů, druhy řemenů a způsoby napínání řemenů. Jsou zde popsány systémy napínání řemene používané v osobních automobilech.

V praktické části jsou popsány napínáky řemene a jeho části, materiály používané pro výrobu tlumících členů a používaná maziva. Je zde popsáno testování napínáků řemene prováděných v technické praxi. Bylo porovnáváno více používaných maziv a byl sledován jejich vliv na třecí moment a koeficient tření za různých podmínek testování.

Výsledkem diplomové práce je vyhodnocení daného experimentu a porovnání naměřených třecích momentů a koeficientů tření.

Klíčová slova: napínák řemene, řemenové převody, tření, mazivo

## **Annotation:**

First part of the thesis is dedicated to the topic of belt drives, belt drives wrapping, belt types and methods of belt tensioning. The belt drives used in front end accessory drives in cars are described here.

The practical part describes belt tensioners and their components, damping element materials and greases used for lubrication. Belt tensioner testing performed in automotive industry is described here. Lubricating greases were compared and their influence on friction torque and coefficient of friction under varying testing parameters was investigated.

The result of this diploma thesis is the evaluation of experiment and comparison of measured values of friction torque and coefficient of friction.

Keywords: belt tensioner, belt drives, friction, lubricant

## Obsah

Úvod.....	8
Představení společnosti Mubea .....	9
Teoretická část.....	11
1 Řemenové převody.....	12
1.1 Opásání převodů pomocí řemene .....	13
1.1.1 Otevřené opásání.....	14
1.1.2 Polozkřížené opásání .....	14
1.1.3 Zkřížené opásání .....	14
1.1.4 Otevřené opásání s kladkami .....	15
1.1.5 Otevřené opásání s napínací kladkou.....	15
1.2 Řemeny.....	16
1.2.1 Ploché řemeny.....	16
1.2.2 Klínové řemeny.....	17
1.2.3 Ozubené řemeny .....	18
1.3 Napínání řemene.....	18
1.3.1 Zvětšením vzdálenosti os .....	18
1.3.2 Pomocí napínací kladky .....	19
1.3.3 Naklopením motoru .....	19
2 Systémy napínání řemene.....	20
2.1 Kónické systémy napínání řemene (E3 a E3D).....	21
2.2 Válcové systémy napínání řemene (E4 a E4+).....	22
2.3 Systémy napínání řemene pro speciální aplikace (E5 a E8).....	23
2.3.1 Systém napínání řemene s torzními tyčemi E5.....	23
2.3.2 Systém napínání řemene spojený s generátorem E8.....	24
2.4 Systém DAT (Dual arm tensioner).....	24
Praktická část.....	26
3 Napínák řemene.....	27
3.1 Části napínáku E3 .....	27
3.2 Části napínáku E3D .....	28
3.3 Tlumící člen.....	28
3.4 Mazivo .....	30
4 Testování napínáku řemene.....	33

---

4.1 Testy jednotlivých součástí napínáku řemene .....	33
4.1.1 Test kladky a ložisek.....	33
4.1.2 Zkouška utažení šroubu .....	34
4.1.3 Stanovení tloušťky tlumícího členu .....	34
4.1.4 Test přetížení.....	36
4.2 Testování sestavy napínáku řemene .....	37
4.2.1 Zkouška prozářením.....	37
4.2.2 Test statické hystereze .....	38
4.2.3 Test životnosti napínáku řemene .....	41
4.2.4 Zkouška v solné mlze.....	45
4.2.5 Odolnost vůči agresivní kapalině.....	47
4.2.6 Test dynamické hystereze .....	48
4.2.7 Test rezonance .....	50
4.2.8 Mud test .....	53
4.2.9 Start-Stop test.....	54
4.3 Testování sestavy napínání řemene .....	56
4.3.1 Měření na motoru u zákazníka.....	56
4.3.2 Měření na vozidle .....	58
4.3.3 Vyhodnocení testování.....	60
5 Testování tlumícího členu .....	61
5.1 Tribologie .....	62
5.2 Návrh metodiky měření tribologických vlastností .....	62
5.3 Měření tribologických vlastností vybraných kombinací materiálu .....	67
5.3.1 Měření vlivu použitého tuku .....	67
5.3.2 Měření vlivu zvýšeného zatížení .....	87
5.3.3 Měření vlivu množství použitého tuku .....	108
5.4 Použitá měřidla .....	122
6 Technicko-ekonomické posouzení navrženého řešení .....	124
7 Závěr.....	128
8 Použitá literatura .....	130



## Úvod

Napínák řemene slouží ke správnému napnutí řemene v řemenovém pohonu. Správně napnutý řemen zajišťuje vhodný úhel opásání, potřebný k přenosu krouticí síly. Dále tlumí vibrace vnesené do sestavy z hnací hřídele a zabraňuje prokluzu řemene.

Tato diplomová práce se zabývá řemenovými převody a napínání řemene pomocí napínáků řemene používané v osobních automobilech. V následujícím textu je seznámení s řemenovými převody a dále jsou zde rozebrány různé typy napínáku řemene, jejich princip a jejich jednotlivé části jako jsou například tlumící členy, tuky a funkční třecí dvojice. Dále jsou zde zmíněny parametry, které jsou na napínácích řemene měřeny, a způsoby jejich měření.

Diplomová práce byla vypracována ve firmě Mubea. Firma poskytla měřicí techniku a vzorky potřebné k vypracování praktické části diplomové práce.

## Představení společnosti Mubea

Společnost Mubea vznikla v roce 1916. Její hlavní sídlo se nachází v Německém městě Attendorn. Mubea má vedoucí postavení na trhu v mnoha segmentech průmyslu s pružinami a v posledních letech dosáhla globalizace ve všech významných zemích. V roce 2016 činil roční obrat společnosti 2 mld. €. Počet zaměstnanců se pohybuje okolo 12 000, jež pracují ve 36 výrobních a vývojových místech. Výrobní a vývojová místa se nachází v 18 zemích po celém světě. Postavení výrobních hal v lokalitách, které jsou strategicky polohově významné (Brazílie, Mexiko, Japonsko, Indie, Čína) umožňuje firmě dynamické reagování na požadavky zákazníka téměř po celém světě [1].

Díly, které jsou vyráběny ve společnosti Mubea jsou především zaměřeny na automobilový průmysl. Zákazníci jsou výrobci automobilů mnoha značek (např. Audi, BMW, Chrysler, Daimler, Ferrari, Fiat, Ford, GM, Honda, Hyundai, Jaguar, Kia, Lamborghini, Mazda, Mitsubishi, PSA, Porsche, Renault – Nissan, Suzuki, Toyota, VW) a řada systémových dodavatelů tzv. Tier<sub>1</sub> [1].

Nabídka výrobků společnosti Mubea je velmi různorodá. Společnost vyrábí např. [1] [2]:

- díly do motoru (ventilové pružiny, vačkové hřídele, systémy napínáků řemenů, hadicové spony),
- podvozkové díly (nápravové pružiny, stabilizátory, pomocné rámy, torzní tyče, těla tlumičů, pružiny z kompozitů, přesné ocelové trubky, trubky na míru),
- talířové pružiny převodovky a trubkové hřídele,
- díly karoserie 1.) díly vyztužené uhlíkovými vlákny (kapoty motoru, dveře, sedačky, atd.),  
2.) na míru válcované výrobky (B sloupek, nárazník, výfukové potrubí, trubice tlumičů, příčný nosník, atd.),
- díly interiéru (tyče do opěrky hlavy, válcované trubky za studena do sedaček),

Přes 20 let firma Mubea vyrábí a vyvíjí napínáky řemene s tlumením vibrací pro pohon příslušenství u vozidlových motorů. Díky svému trvalému růstu se firma v roce 2011 stala druhým největším výrobcem napínáků řemene v Evropě. Pro pokrytí celosvětových požadavků zákazníků, firma postavila výrobní závody v České republice (Žebrák), Číně (Taicang) a v Mexiku (Ramos). Celková roční produkce za rok 2017 činila 10,1 milionu kusů napínáků řemene. V České republice bylo

vyrobena 7,9 milionu kusů, v Číně bylo vyrobeno 2,1 milion kusů a v Mexiku bylo vyrobeno 0,1 milionu kusů. Oddělení vývoje systému a správy projektu se nacházejí v Německu (Attendorn), Japonsku (Yokohama) a USA (Detroit). Samotný vývoj napínáku řemene je realizován v České republice, Číně, USA/Mexiko a v Německu [1].

# Mubea

*Obr.1 Logo společnosti Mubea [3].*

## Teoretická část

Pro vypracování diplomové práce je nejdříve nutné porozumět řemenovým převodům po teoretické stránce. V teoretické části diplomové práce jsou popsány řemenové převody, způsoby jejich opásání, tvary řemenů. Dále jsou zde popsány systémy napínání řemene vyráběné ve společnosti Mubea.

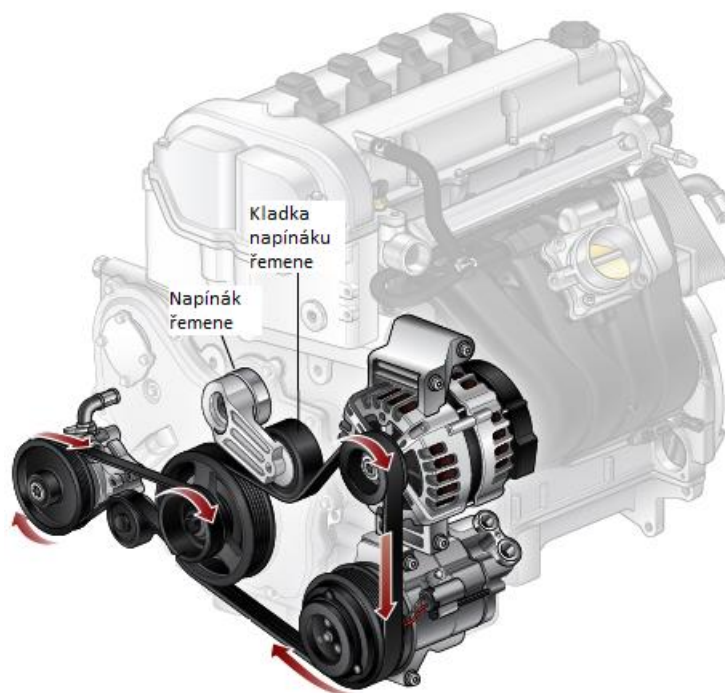


Image courtesy of ClearMechanic.com

Obr.2 Napínák řemene připevněn k motoru [4].

## 1 Řemenové převody

U řemenových převodů je principiálně kroučící moment přenášen z hnacího hřídele na hnaný hřídel pomocí řemene. Jedná se převážně o převod s třecí vazbou a ohebným mezičlenem. Výjimku tvoří ozubené řemeny. Na hnacím i hnaném hřídeli jsou nasazeny řemenice, které jsou opásány řemenem. Mezi hnací řemenicí a řemenem vzniká třecí síla a pohyb je přenášen na hnanou řemenicí. Třecí síla  $F_t$  musí být větší nebo rovna síle obvodové  $F_o$  [5].

$$F_t = \mu \cdot F_n \geq F_o \quad (1)$$

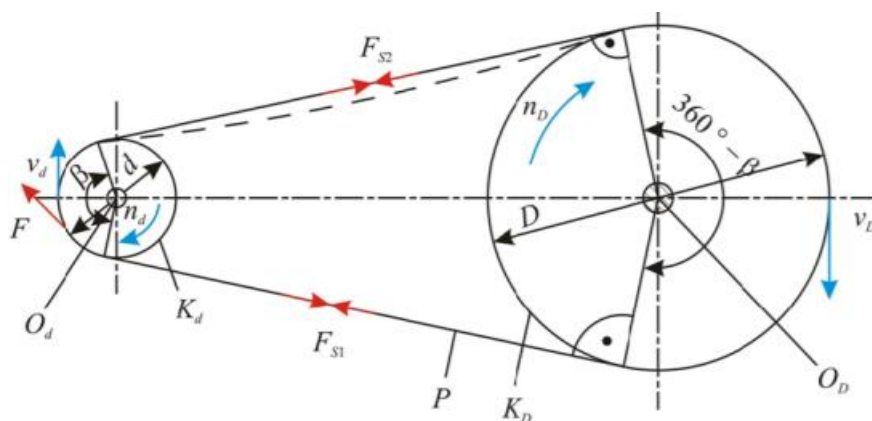
$F_t$  – třecí síla [N]

$\mu$  – koeficient tření [-]

$F_n$  – normálová síla [N]

$F_o$  – obvodová síla [N]

Koeficient tření je závislý na druhu řemene a na stavu kontaktních ploch řemene a řemenice. Otáčky hnaného hřídele se mohou nepatrně měnit vlivem prokluzu. Převod je méně přesný než převod s tvarovou vazbou, a proto se převážně používá na velké a střední vzdálenosti hřídelů [5].



Obr.3 Základní schéma řemenového převodu [6].

$K_d$  – hnací řemenice,  $K_D$  – hnaná řemenice,  $O_d$  – hnací hřídel,  $O_D$  – hnaná hřídel,  $P$  – opásání (řemen),  
 $\beta$ ,  $(360 - \beta)$  – úhly opásání kotoučů

Na Obr.3 je zobrazeno vhodné uspořádání řemenového převodu. Spodní část řemene je zatěžována tahovou silou  $F_{S1}$ . Na horní část řemene působí menší síla  $F_{S2}$  a dochází k prověšení řemene a zvětšením úhlů opásání na obou řemenicích. Při změně směru otáčení hnacího hřídele dojde k napnutí horní části řemene a prověšení spodní části řemene a tím i zmenšení úhlů opásání [7].

Výhody řemenového převodu [8]:

- jednoduchá a levná výroba,
- tichý chod,
- vysoká obvodová rychlost,
- současně lze pohánět několik hřídelů,
- snadná údržba,
- tlumí rázy pružností pásu,
- použití jako pojistky proti přetížení stroje (prokluz pásu),
- velké vzdálenosti mezi hřídelemi,
- nevyžaduje mazání,
- nevyžaduje přesnou výrobu a montáž.

Nevýhody řemenového převodu [8]:

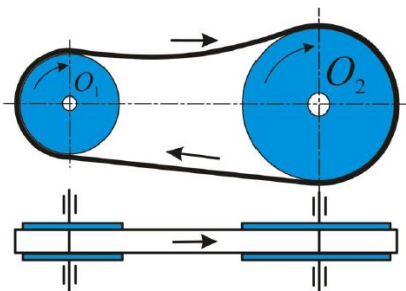
- zvýšení tlakového namáhání ložisek a hřídelů, kvůli předepnutí pásu,
- skluz pásu – proměnlivý převodový poměr,
- nutnost použití napínáku řemene k omezení prokluzu,
- špatná odolnost při vysokých teplotách,
- nízká tuhost převodu,
- špatná odolnost proti vůči prachu, vlhkosti a nečistotám (olej),
- vytahování a opotřebení řemene,
- při prokluzu vzniká statická elektřina.

## 1.1 Opásání převodů pomocí řemene

Na následujících obrázcích jsou zobrazena a dále popsána základní schémata opásaných převodů pomocí řemene.

### 1.1.1 Otevřené opásání

Hřídele jsou rovnoběžné a jejich smysl otáčení je totožný. Horní část řemene je prohnutá a spodní část řemene je natahována. Toto uspořádání zajišťuje větší úhel opásání, který zabraňuje prokluzu řemene [9].

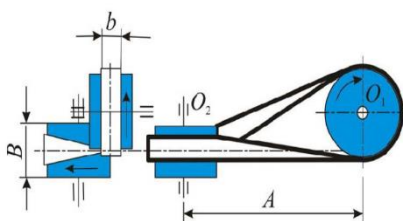


Obr.4 Otevřené opásání [7].

### 1.1.2 Polozkřížené opásání

Hřídele jsou mimoběžné a mají pouze jeden smysl otáčení. Řemen nabíhá na obě řemenice v jejich středních rovinách, aby se zamezilo pádu řemene z řemenice. Vzdálenost os řemenic A je v rozmezí 3 až 10 metrů. Šířka kotouče B je závislá na šířce řemene b [9].

$$B \geq 1,4 \cdot b \quad (3)$$



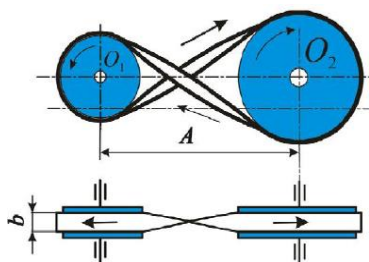
Obr.5 Polozkřížené opásání [7].

### 1.1.3 Zkřížené opásání

Hřídele jsou rovnoběžné a jejich smysl otáčení je opačný. Z Obr.6 je patrné, že úhel opásání je větší než u otevřeného opásání. Jelikož dochází ke vzájemnému kontaktu pásu v místě překřížení, není vhodné použití tohoto uspořádání pro převody s větší rychlostí a pro pásy s velikou šířkou. Rychlost

pásu by neměla překračovat rychlost  $15 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Vzdálenost mezi osami  $A$  je určena podle šířky řemene  $b$  [9].

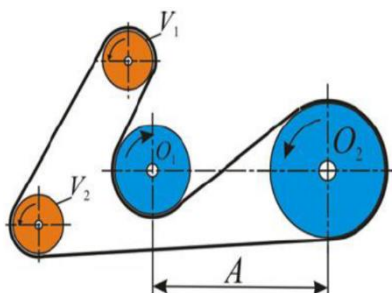
$$A \geq 20 \cdot b \quad (2)$$



Obr.6 Zkřížené opásání [7].

#### 1.1.4 Otevřené opásání s kladkami

Hřídele jsou rovnoběžné a jejich smysl otáčení je opačný. Z Obr.7 je patrné, že úhel opásání je větší než u otevřeného opásání. Toto uspořádání řemenového převodu lze použít na místech, kde není vhodné použít předchozí způsob uspořádání převodu. Použití opásání s kladkami je vhodné zejména pro menší vzdálenosti mezi hřídelemi a pro větší rychlosti vodících kladek  $V_1$  a  $V_2$  [7].

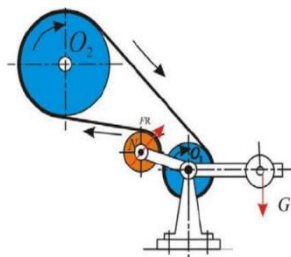


Obr.7 Otevřené opásání s kladkami [7].

#### 1.1.5 Otevřené opásání s napínací kladkou

Hřídele jsou rovnoběžné a jejich smysl otáčení je totožný. Používá se při velikých převodových poměrech  $i \leq 20$  a pro malé vzdálenosti mezi hřídelemi  $A$ . Napínací kladka  $N$  se montuje do ochablé části pásu v blízkosti hnací řemenice. Napínací kladka je k pásu přitlačována závažím nebo pružinou [7].





Obr.8 Otevřené opásání s napínací kladkou [7].

$$i = \frac{n_d}{n_p} = \frac{D}{d \cdot \psi} \quad [6] \quad (4)$$

$i$  – převodový poměr [–]

$n_d$  – otáčky malé řemenice [počet . min<sup>-1</sup>]

$n_p$  – otáčky velké řemenice [počet . min<sup>-1</sup>]

$D$  – průměr velké řemenice [mm]

$d$  – průměr malé řemenice [mm]

$D$  – průměr velké řemenice [mm]

$\psi$  – součinitel skluzu [–] (0,99 až 0,98)

Je-li převodový poměr  $i$  menší než 1, jedná se o převod dorychla. Je-li převodový poměr  $i$  větší než 1, jedná se o převod dopomala [10].

## 1.2 Řemeny

Řemeny lze dělit podle druhu přenosu síly na hladké řemeny a ozubené řemeny. Hladké řemeny jsou buď ploché, nebo klínové. K přenosu síly dochází pomocí tření. U ozubených řemenů dochází k tvarovému přenosu síly [11].

### 1.2.1 Ploché řemeny

Moderní ploché řemeny jsou složeny ze dvou a více vrstev. Styková vrstva slouží k přenosu třecí síly z řemenice na tažnou vrstvu. Styková vrstva je nejčastěji tvořena chromitou usní. Tažná vrstva plní funkci přenosu a zachycení obvodové a odstředivé síly. Nosná vrstva je tvořena plasty s velkou pevností a malou průtažností [11].



Obr.9 Plochý řemen [12].

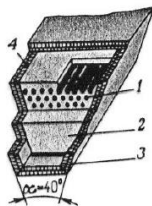
Spojení konců řemenů k sobě je provedeno lepením, drátěnou spojkou, háčkovou spojkou nebo drápkovou spojkou [6].

### 1.2.2 Klínové řemeny

Klínové řemeny jsou vyrobeny uzavřené, bezkoncové. Výroba je prováděna odlitím řemene do formy a následným rozřezáním na požadovanou šířku řemene. Průřez má lichoběžníkový tvar. Klínový řemen je tahovou silou vtlačován do klínové drážky. Boky klínového řemene jsou pracovní částí řemene. Obalovaný klínový řemen je složen z textilní tažné části (např. z polyesterových vláken), pryžového jádra zesíleného příčnými vlákny a z obalu, který je tvořen tkaninou odolnou proti otěru. Řemeny s nekrytými boky jsou tvořeny vysokým množstvím textilních vrstev. Řemen získává vysokou hodnotu pevnosti. K různým účelům slouží různé profily průřezu řemene a různé konstrukce řemene [11].

Typy klínových řemenů [11]:

- úzké klínové řemeny
- klínové řemeny řezané s nekrytými boky
- víceprofilové řemeny
- drážkované klínové řemeny
- široké klínové řemeny

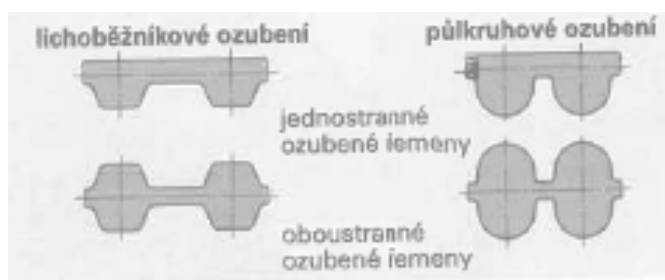


Obr.10 Klínový řemen [13].

1 – textilní tažná část, 2 – pryžové jádro, 3 – opryžovaný textilní obal, 4 – pryžový nárazník

### 1.2.3 Ozubené řemeny

Přenos sil je zprostředkován ozubením řemenu a řemenic. Ozubené řemeny spojují výhody plochých a klínových řemenů. Nedochozí zde k prokluzu řemene. Řemeny jsou jednostranné nebo oboustranné. Je požadováno malé napnutí řemene, a proto dochází k malému zatížení ložisek [11].



Obr.11 Ozubené řemeny [11].

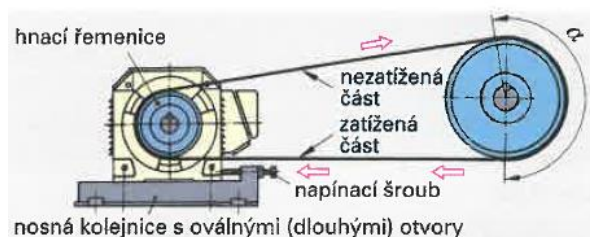
Ozubené řemeny jsou používány tam, kde je požadována synchronizace a vyšší účinnost pohonu. Řemeny jsou vyráběny z neoprenu nebo polyuretanu.

### 1.3 Napínání řemene

Třecí síla  $F_t$  musí být větší nebo rovna síle obvodové  $F_o$  (1). Tohoto stavu je dosaženo přitlačováním, předpětím řemene. Velikost předpětí ovlivňuje konstrukci převodu a tím i náklady vynaložené na tvorbu převodu. Způsoby, kterými lze napnout řemen je několik.

#### 1.3.1 Zvětšením vzdálenosti os

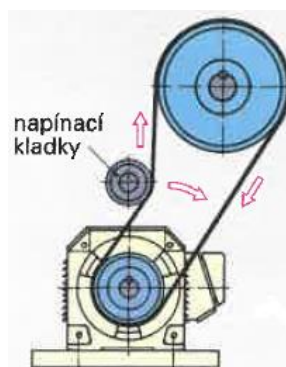
Nejrozšířenější možností je posunutím motoru po kolejničkách pomocí napínacího šroubu. Jedná se o nejjednodušší a levnější variantu [13].



Obr. 12 Posouvání motoru [11].

### 1.3.2 Pomocí napínací kladky

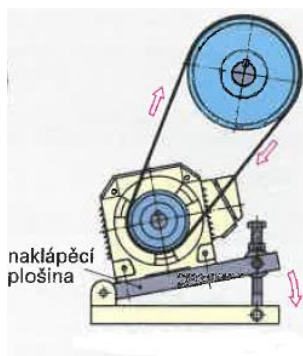
U tohoto způsobu je osová vzdálenost konstantní. Napínací kladka je vložena do ochablé části řemene, blíže menší řemenici. Přitlačování napínací kladky na řemen je zajištěno pomocí závaží nebo pružiny [13].



Obr. 13 Napínací kladka [11].

### 1.3.3 Naklopním motoru

Motor je výkyvně a výstředně uložen. Samonapínání je způsobeno vlastní tíhou motoru. Tíha motoru vytváří moment síly, který působí proti krouticímu momentu a napíná řemen [13].

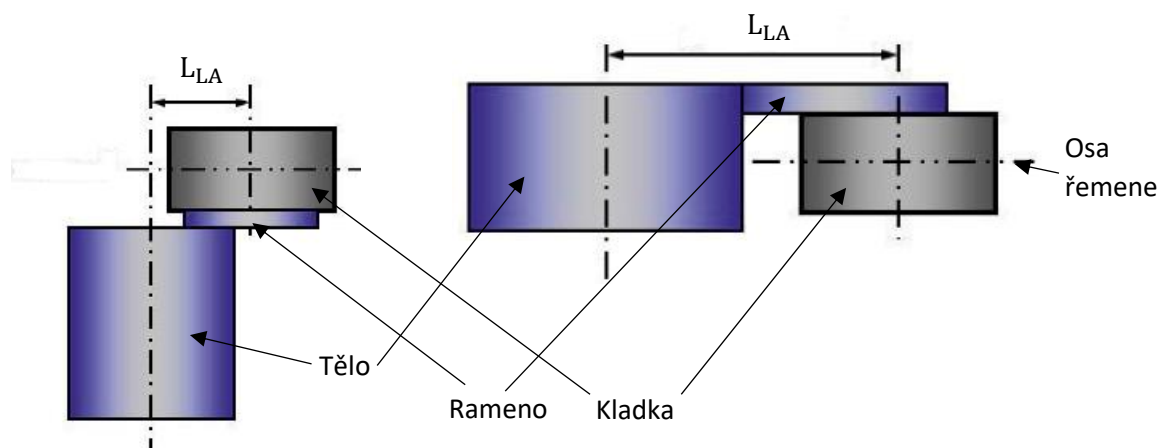


Obr. 14 Naklápění motoru [11].

Diplomová práce dále bude zaměřena na mechanické napínáky řemene používané k napínání řemene v osobních automobilech.

## 2 Systémy napínání řemene

Design automatického napínáku řemene je omezen dostupným pracovním prostorem. Zmenšování pracovního prostoru napínáku, má za následek vývoj nových používaných materiálů a technologických procesů. Napínáky mohou mít tzv. dlouhé nebo krátké rameno  $L_{LA}$ . Pokud je napínací rameno dlouhé, může být tlumící a napínací systém napínáku řemene umístěn na stejné úrovni s řemenovým pohonem. Napínací systém s krátkým ramenem je umisťován za řemenový pohon [14].



Obr.15 Vlevo systém s krátkým ramenem, vpravo systém s dlouhým ramenem [14].

Automatické systémy napínání řemene zajišťují funkci napínání řemene a tlumení vibrací. Principem je přitlačování kladky napínáku přes torzní pružinu. Torzní pružina vyvolává sílu, ta má za následek dynamickou odezvu a kompenzaci tolerancí. Výběr použitého systému napínání řemene a jeho konstrukce závisí na konkrétních požadavcích a aplikacích zákazníka.

Vyráběných systémů napínání řemenů je několik druhů. Firma momentálně sériově vyrábí systémy s označením E3, E3D, E4, E4+, E5, E8 a inovativní systém DAT (dual arm tensioner) používaný v mírně hybridních vozech. Systémy napínání řemene s označením E1 a E2 se již nevyrábějí, kvůli jejich složitosti, souvisejícím hmotnostním faktorům, ekonomičnosti a dnes jsou již zastaralé (nedostatečné parametry).

## 2.1 Kónické systémy napínání řemene (E3 a E3D)

Napínací systémy řemene E3 a E3D s kuželovými ložisky jsou provedeny nejjednodušším způsobem. Tyto systémy jsou složeny z malého počtu jednotlivých komponentů [14].

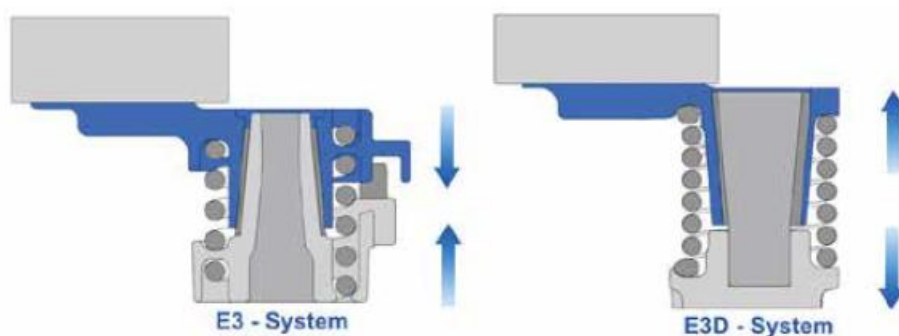
Redukce počtů součástí je dosažena kombinací funkcí, které jsou vykonávány jednou komponentou. Například pružina, která je využívána pro vytvoření pružinového krouticího momentu, je rovněž využita k vytvoření axiální síly. Axiální síla vyvinuta pružinou je používána pro tlumení systému. Pružina zároveň představuje spojovací prvek mezi tělem napínáku a ramenem [14].

Rozdíl mezi E3 a E3D napínákem řemene spočívá ve směru axiální síly a použitých materiálů, které zajišťují tlumení pomocí tření [14].

Automatický napínák E3 využívá tahovou sílu vinuté pružiny pro požadovanou axiální sílu. Oba konce pružiny jsou navinuty a našroubovány do pružinových kanálů ramena napínáku a těla napínáku [14].

Přišroubováním pružiny do hliníkových částí je napínák rozdělen na předem definovanou vzdálenost. Povrch napínáku, na kterém dochází ke tření, je tažen pružinou proti kuželovému pouzdru. Je zde vyvolávána třecí síla mezi ramenem napínáku a pouzdrem [14].

Systém E3D obsahuje pružinu, která je stlačena. Pružina vytváří tlakovou sílu v axiálním směru. V sestaveném napínáku tlaková síla vygenerovaná stlačením pružiny tlačí rameno napínáku s kuželovým pouzdrem proti kuželové ocelové hřídeli, která je pevně spojena s pouzdrem napínáku. Použitím stlačené pružiny lze docílit větší axiální síly než u systému E3. Větší axiální síla vyvolává větší hodnoty tření a tlumení [14].



Obr.16 Kónické systémy E3 a E3D [14].

## 2.2 Válcové systémy napínání řemene (E4 a E4+)

Válcové systémy napínáků řemene se vyznačují oddělenou funkcí středového čepu a tlumení. Středový čep je vyroben z válcového ložiskového hřídele, který je spojen s ložiskovým pouzdem (otočné pouzdro) z PTFE materiálu s ocelovou podložkou [14].

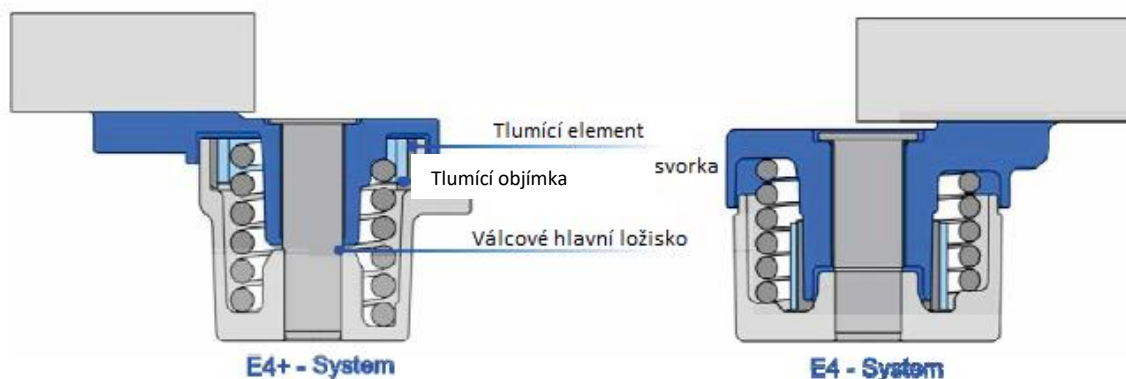
Rozdíl mezi systémy E4 a E4+ je ve způsobu vytvořeného tlumení a velikostech jeho hodnot. V obou systémech radiální tlumící prvky tvoří tlumící mechanismus. Radiální tlumící prvky jsou vyrobeny ze speciálních plastů v kombinaci se svorkami z pružinového pásu [14].

V systému E4 je tlumící mechanismus tvořen tlumícím elementem uloženým na části válcového prvku ramena napínáku. Radiální síla potřebná k dosažení požadovaného tlumení je vyvolána předepjatou tlumící objímkou z pružinového pásu obepnutou kolem tlumícího elementu [14].

Vytvořené požadované tlumení není závislé na spirálové pružině. Konstrukce tohoto systému umožňuje neustálé zatěžování pružinové svorky a upevnění tlumící objímky ve své poloze. Tím se eliminuje nežádoucí rotace uvnitř napínáku a možná příčina hluku při provozu napínáku [14].

U řemenových pohonů, které vyžadují vysoké tlumení, navrhla společnost Mubea systém s vysokým tlumením E4+. Stejně jako u systému E4 je tlumení dosaženo třecím momentem mezi radiálním tlumícím prvkem a povrchem těla napínáku odlitého z hliníku. Pro dosažení vyšší třecí síly než je u systému E4 bylo použito většího průměru tlumícího prvku v kombinaci s větším třecím obvodem a tím i větší plochy povrchu na které dochází ke tření [14].

Vysoké tlumení systému E4+ je dosaženo rozevíráním tlumící objímky, která tlačí tlumící element proti hliníkovému třecímu povrchu. Pružina se opírá o jeden konec tlumící objímky a zároveň o doraz v rameni napínáku. Tlumení je úměrné pružinovému momentu [14].



Obr.17 Válcové systémy E4+ a E4 [14].

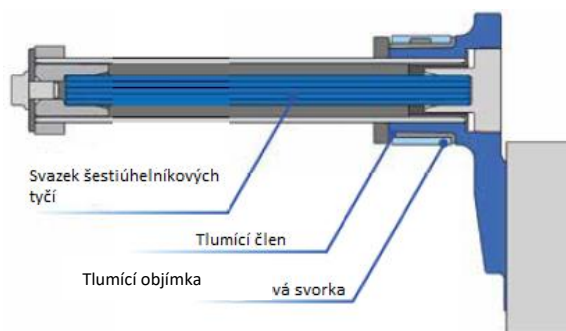
## 2.3 Systémy napínání řemene pro speciální aplikace (E5 a E8)

Vzhledem k trendu snižování velikosti motorů, jsou rozměry řemenové soustavy stále menší a dostupný pracovní prostor pro napínák řemene je výrazně omezen. Pro takovéto aplikace byly vyvinuty dva systémy napínáku řemene, které v těchto speciálních podmínkách dobře fungují.

### 2.3.1 Systém napínání řemene s torzními tyčemi E5

Systém E5 využívá pro dosažení požadovaného točivého momentu svazek šestiúhelníkových tyčí. Když je svazek šestiúhelníkových tyčí zkroucen, působí jako torzní tyč. Působí zde torzní síla. Tlumení je provedeno podobným způsobem jako u válcového systému napínání řemene E4. Funkce radiálního tlumícího členu podporovaná tlumící objímkou [14].





Obr.18 Systém s torzními tyčemi E5 [14].

### 2.3.2 Systém napínání řemene spojený s generátorem E8

Pro systém napínání řemene E8 je využito čelní desky generátoru jako montážní desky. Uspořádání řemenového pohonu lze podstatně zjednodušit. Konstrukce systému napínání řemene umožňuje ramenu napínáku otáčet se kolem osy řemenice generátoru [14].



Obr.19 Systém spojený s generátorem [14].

### 2.4 Systém DAT (Dual arm tensioner)

Systém DAT se používá v Mild-Hybrid vozidlech. Jedná se o napínák řemene se dvěma rameny. Mild-Hybrid vozy jsou konstruovány se spalovacím motorem, bez přídavného elektrického motoru. Snížení spotřeby paliva a snížení emisí CO<sub>2</sub> je zajišťováno funkcí start-stop [1].

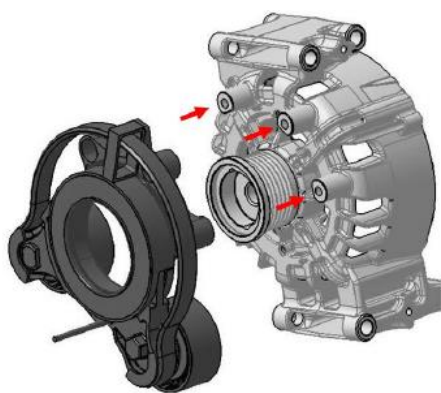
Start-stop má dvě funkce, a to zapnutí a vypnutí motoru automobilu při zastavení automobilu. Systém vypne motor, pokud není zapotřebí pohonu, například při zastavení na semaforech. Startér, jenž byl vyvinut pro tento účel, napomáhá motoru během startu a následnému zrychlení. Snížení spotřeby paliva je dosaženo aktivováním generátoru během akcelerace a brždění. Energie dosažena bržděním se v procesu obnoví a přivádí zpět k baterii jako elektrická energie [15].

Důležitou vlastností systému DAT je schopnost volně se otáčet kolem osy generátoru bez definovaných koncových dorazů. Tím je dosaženo požadovaného úhlu opásání řemenu přes generátorovou řemenici a současně působí jako oddělovací zařízení pro torzní vibrace. Pružina propojuje obě ramena napínáku s napínacími kladkami. Pomocí pružiny je dosaženo požadovaného napnutí řemene. Otáčení hlavního ložiska kolem stejné osy rotace minimalizuje přenos torzních kmitů řemenice motoru do řemenového pohonu [14].

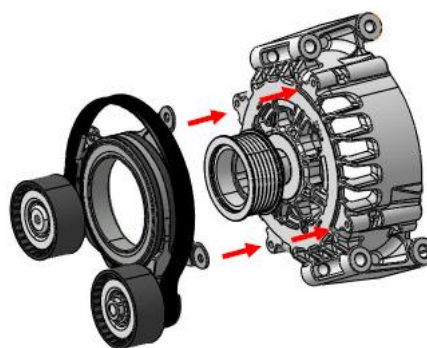


Obr.20 Schéma zapojení napínáku DAT [14].

V současné době jsou vyráběny systémy DAT a DAT evo. Oba tyto systémy jsou vyráběny i v invertním stavu pro lepší montáž. V klasickém uspořádání je řemen veden mezi napínákem a alternátorem. Napínák v invertním stavu umožňuje snazší nasazení řemene při případném sklouznutí řemene nebo jeho výměně. Systém DAT evo se liší v použití pružiny pro propojení ramen napínáku místo pružinového pásu. Toto uspořádání zajišťuje úsporu pracovního místa napínáku řemene. Je zmenšena především tloušťka napínáku.



Obr.21 Systém DAT [14].



Obr.22 Systém DAT invertní [14].

## **Praktická část**

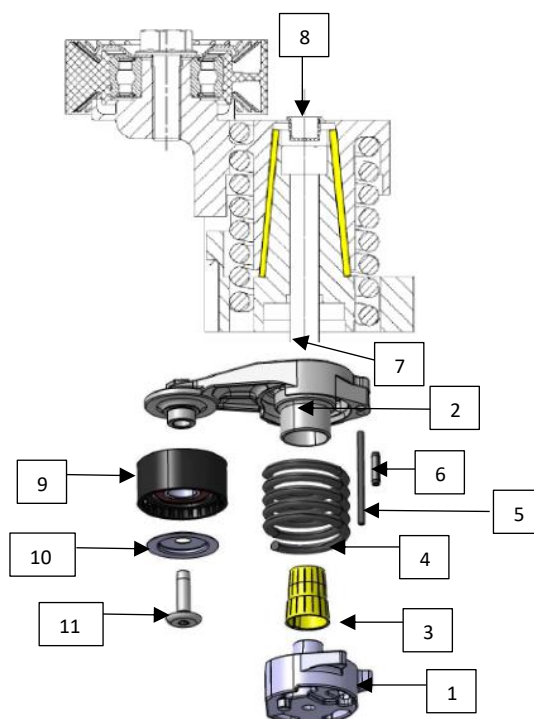
Praktická část diplomové práce je zaměřena na složení napínáku řemene. Dále je zde popsán tlumicí člen, na kterém dochází ke sledování tření. Tlumicí člen je ve většině vyrobených napínáků opatřen tukem, pro upravení velikosti tření. Tyto tuky jsou v praktické části diplomové práce také popsány. V této části práce jsou také popsány testy, které jsou prováděny na napínacích řemene. Prováděné testy nejsou zaměřené na tribologické vlastnosti třecího uložení. Proto je zde dále navržena metodika měření tribologických vlastností mezi tlumícím členem a karbonitridovaným čepem.

### 3 Napínák řemene

Napínák řemene se skládá z mnoha částí, jež jsou vyrobeny z různých materiálů. Každá část plní své specifické funkce. V následujícím textu budou popsány části napínáků systému E3 a E3D. Na těchto typech napínáku budou dále prováděna měření.

#### 3.1 Části napínáku E3

Systém E3 se skládá obvykle z jedenácti částí. Tělo napínáku a napínací rameno jsou vyráběny ze slitiny hliníku tlakovou metodou odlévání. Mezi tělem napínáku a ramenem napínáku je umístěn kuželový plastový tlumící člen a vinutá pružina. Styková plocha tlumícího členu je mazána tukem. Tělo napínáku a rameno napínáku jsou před montáží na motor vzájemně zafixovány montážním kolíkem, tak aby bylo možné snadno nasadit řemen. Pružný kolík vymezuje pracovní rozsah napínáku. Středový čep zajišťuje vystředění těla a ramene napínáku a axiální pojistka zabraňuje axiálnímu pohybu. Na rameni napínáku se nachází plastová kladka s krytkou. Obě tyto součásti jsou k rameni připevněny šroubem.

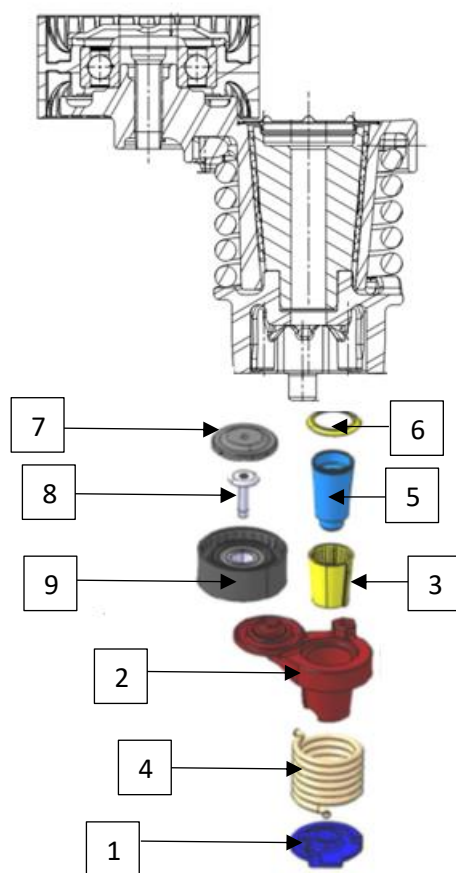


Obr.23 Složení systému E3.

1 – tělo napínáku, 2 – rameno napínáku, 3 – tlumící člen, 4 – pružina, 5 – montážní kolík, 6 – pružný kolík, 7 – středový čep, 8 – axiální pojistka, 9 – kladka, 10 – krytka, 11 – šroub

### 3.2 Části napínáku E3D

Systém E3D je složen z devíti základních součástí. Stejně jako systém E3 obsahuje systém E3D tělo napínáku, rameno napínáku, tlumicí člen, stlačenou pružinu, plastovou kladku, krytku a šroub. Pracovní plocha tlumicího členu je též mazána tukem. Systém E3D navíc obsahuje axiální těsnění, pro zamezení znečištění a kužel z oceli. Povrch kužele bývá nejčastěji karbonitridován v solné lázni.



Obr.24 Složení systému E3D.

1 – tělo napínáku, 2 – rameno napínáku, 3 – tlumicí člen, 4 – pružina, 5 – ocelový kužel, 6 – axiální těsnění, 7 – krytka, 8 – šroub, 9 - kladka

### 3.3 Tlumicí člen

Mechanické vibrace jsou doprovodným jevem pracovních procesů strojních součástí. Vznikají z nedokonalých povrchových úprav ploch, které se vzájemně pohybují a jejich vzájemným třením. Vibrace nelze zcela eliminovat, pouze snížit na přijatelnou úroveň. Přenos mechanických vibrací

závisí na struktuře použitého materiálu, budící frekvenci, tloušťce materiálu, teplotě apod. Při snižování vibrací je nutné transformovat budící mechanickou energii na jiné formy energie. Nejčastěji se mechanická energie transformuje na energii tepelnou, kterou lze snadno odvést do okolního prostředí. Tlumící člen v napínáku řemene slouží k tlumení vibrací ramene napínáku [16].

V následující tabulce (Tab.1) jsou srovnány vlastnosti nejčastějších materiálů používaných na výrobu tlumícího členu v napínacích Mubea. Protože se jedná o citlivé údaje, obchodní označení materiálu není uvedeno.

Tab.1 Materiály používané pro tlumící člen a jejich vlastnosti.

Označení materiálu	A	B	C
Cena [€ . kg <sup>-1</sup> ]	15	11,2	-
<b>Obecné vlastnosti</b>			
Základní materiál	Polyoxymethylen (POM)	Polyamid (PA46)	Polyamid (PA46)
Plnivo	Aramidový prášek (10%)	Žádné	Žádné
Mazivo	Polytetrafluorethylen (PTFE) (15%)	Polytetrafluorethylen (PTFE) (15%)	Žádné
Hustota [g . cm <sup>-3</sup> ]	1,49	1,25	1,10
Absorbce vlhkosti [%]	1,30	3,20	2,95
<b>Mechanické vlastnosti</b>			
Modul pružnosti [MPa]	2 400	2 900	1 850
Pevnost v tahu [MPa]	73	90	60
Pevnost v tlaku [MPa]	60	-	-
Ohybový modul [MPa]	-	2 600	1 800
<b>Tepelné vlastnosti</b>			
Teplota tavení [°C]	164 - 180	295	295

<b>Koeficient tepelné roztažnosti</b> [E – 6 . K <sup>-1</sup> ]	100	110	20
<b>Maximální teplota použití</b> [°C]	90	Neuvedeno	Neuvedeno
<b>Minimální teplota použití</b> [°C]	-50	Neuvedeno	Neuvedeno
<b>Deformační teplota při zatížení materiálu</b> (1,8 MPa) [°C]	120	190	90



Obr.25 Kónický tlumící člen.

Tlumící člen má na svém obvodu drážky. Tyto drážky slouží k zachycení a dodávání tuku na stykové třecí plochy a k odvodu částic uvolněných ze třecích ploch. Tlumící člen zajišťuje dostatečné tření při minimálním opotřebení. V systému E3 je třecí plocha ze slitiny hliníku. V systému E3D je třecí plocha z oceli s karbonitridovaným povrchem nebo z hliníku.

### 3.4 Mazivo

Mazivo v systému napínačku řemene slouží k mazání třecích ploch. Snižuje jejich opotřebení, tření, zabraňuje korozi a odvádí přebytečné teplo vzniklé třením. Minimalizace použitého množství maziva snižuje dopad na životní prostředí. Použitím vhodného maziva lze dosáhnout prodloužení životnosti napínačku řemene. Při výběru maziva je nutno zvážit rozsah pracovních teplot a pracovní podmínky. Maziva se dělí podle konzistence a penetrace stupnicí NLGI (National Lubricant Grease Institute), která je normalizovaná v normě ČSN 65 6901 [17] [18].

Tab.2 Dělení maziv dle NLGI [19].

Penetrace [0,1 mm]	Kvalifikační stupeň	Starší slovní vyjádření konzistence
445 – 475	000	Tekutá
400 – 430	00	Polotekutá
355 – 385	0	Velmi měkká
310 – 340	1	Měkká
265 – 295	2	Poloměkká
220 – 250	3	Střední
175 – 205	4	Polotuhá
130 – 160	5	Tuhá
85 – 115	6	Velmi tuhá

Druhy maziv [17]:

- Pasty – obsahují vysoké množství tuhých mazacích částí
- Tuky – pevná až polotuhá maziva, složena z mazací tekutiny, zahušťovadla a příměsí
- Směsi – látka na bázi tuku obsahující silikonové přísady
- Vysoce výkonné průmyslové mazací oleje – oleje na bázi minerálních nebo syntetických olejů
- Kluzné laky – interkrystalicky proniknou do povrchové vrstvy součásti a vytvoří povrch, který odolává tření
- Disperze – tekutá maziva

Mazivo používané v napínacích řemene má charakter tuku. V následující tabulce (Tab.3.) jsou vypsány tuky a jejich vlastnosti, které jsou nejčastěji používané v napínacích Mubea.

Tab.3 Používané tuky a jejich vlastnosti.

Označení tuku	1	2	3
Minimální teplota použití [°C]	-50	-50	-60
Maximální teplota použití [°C]	180	180	250



<b>Zahušťovadlo</b>	Lithiové mýdlo	Polytetrafluorethylen (PTFE) + lithiové mýdlo	Polytetrafluorethylen (PTFE)
<b>Základní olej</b>	Silikonový	Silikonový	Perfluoropolyether (PFPE)
<b>Hustota při 20 °C [g. cm<sup>-3</sup>]</b>	0,996	0,96	1,85
<b>Kinematická viskozita při 40 °C [mm<sup>2</sup>. s<sup>-1</sup>]</b>	75	-	150
<b>Penetrace [0,1 mm]</b>	265 – 295	265 – 295	265 – 295
<b>Množství zakoupené v roce 2016 firmou Mubea [%]</b>	94	4,5	1,5
<b>Faktor ceny (rok 2016) [€/kg]</b>	1	4	30

Protože se jedná o citlivé údaje, zakoupené množství tuku je uvedeno v % a cena jednotlivých tuků je vynásobena koeficientem. Obchodní označení tuku není uvedeno.

Dle velikosti penetrace, se používané tuky řadí do klasifikačního stupně 2, podle stupnice NLGI. Starším vyjádřením se jejich tekutost hodnotí jako poloměkká maziva.

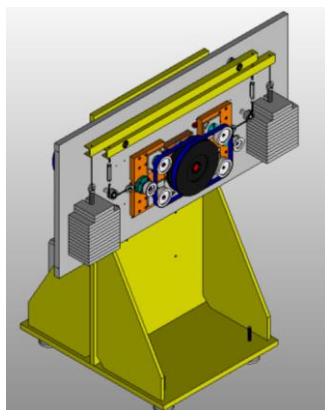
## 4 Testování napínáku řemene

Po navržení systému napínání řemene a jeho sestavení, následuje řada testů. Testy zaručují, že výsledný produkt bude dosahovat požadované kvality po dobu jeho životnosti. Testují se jednotlivé součásti napínáku řemene, sestava napínáku řemene i celý řemenový pohon.

### 4.1 Testy jednotlivých součástí napínáku řemene

#### 4.1.1 Test kladky a ložisek

Kladky a ložiska jsou umístěny na testovacím přístroji. Motor roztáčí hnací hřídel, na které je umístěna hnací kladka. Hnací kladka je opásána řemenem, jenž je dále opásán okolo čtyřech testovaných hnaných kladek. Na řemen působí axiální síla. Axiální sílu lze libovolně regulovat pomocí zavěšeného závaží. Doba testu se pohybuje mezi 5 až 500 hodinami. Otáčky motoru jsou v rozmezí 6 000 až 12 000 za minutu. Radiální síla působící na řemen má hodnoty 700 až 1200 N. Teplota okolí je upravována pomocí ohřívače vzduchu. Hodnota teploty okolí je mezi 30 až 100 °C [20].

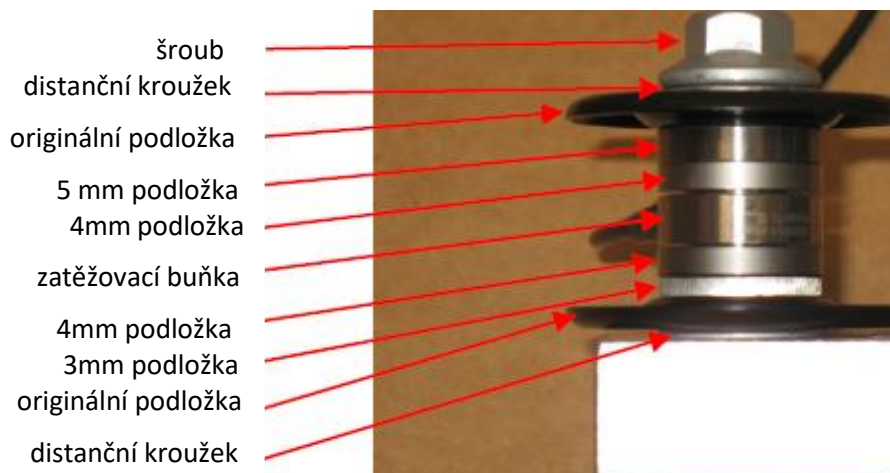


Obr.26 Přístroj pro měření kladky a ložisek.

Mezi hodnotící kritéria tohoto testu patří intenzita hluku, zbytkové množství tuku a změna úhlu sklonu. Vysoký hluk v motoru je nežádoucí a nebezpečný pro lidské zdraví. Tuk zajišťuje mazání ložisek a zabraňuje zadření ložiska. Veliká změna úhlu sklonu kladky může zapříčinit nevhodné napnutí řemene, či spadnutí řemene v motoru.

#### 4.1.2 Zkouška utažení šroubu

Systém na zkoušku utažení šroubu se skládá z řady podložek o různých tloušťkách. Podložky jsou z různých materiálů. Uprostřed se nachází zatěžovací buňka. Podle zatížení buňky lze určit velikost utahovací síly šroubu. Správným utažením šroubu lze zabránit povolení šroubu. Při použití velké utahovací síly může dojít k deformaci kladky [21].

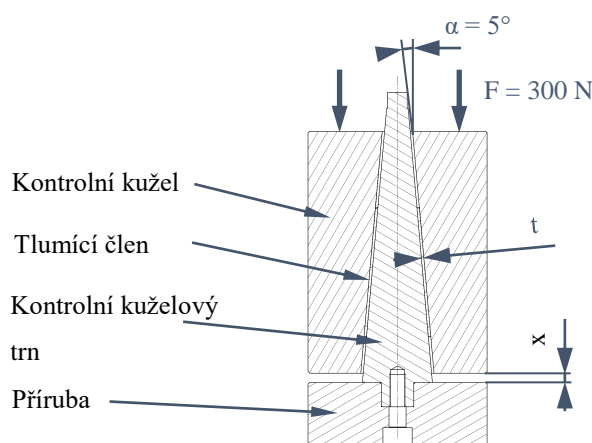


Obr.27 Schéma měření utažení šroubu.

Výsledkem měření utažení šroubu lze zjistit kontaktní povrchové tření, vliv prachu a povlaku na koeficient tření, vliv lepidla či lepidla a sílu potřebnou pro porušení šroubového spoje.

#### 4.1.3 Stanovení tloušťky tlumícího členu

Na obrázku (Obr.25) je zobrazen kónický tlumící člen. Následující zkouška měří jeho tloušťku. Tloušťka tlumícího členu je určena z měřené vzdálenosti  $x$  mezi přírubou kontrolního kuželového trnu a kontrolním kuželem.



Obr.28 Stanovení tloušťky tlumícího členu.

Vzorec pro výpočet tloušťky tlumícího členu.

$$t = (K + x) \cdot \sin(\alpha) \quad (5)$$

t – tloušťka tlumícího členu [mm]

K – konstanta (závislá na konstrukci měřícího zařízení)

x – vzdálenost mezi přírubou a kontrolním kuželovým trnem [mm]

$\alpha$  – úhel sklonu tlumícího členu [°]

Popis zařízení:

Zařízení se skládá ze základové desky, na které je příruba s kontrolním kuželovým trnem. Na základové desce je upevněn stojan s kolejničí lineárního vedení a vyhazovačem tlumícího členu v horní části. Po kolejnici se pohybuje pohyblivá část, na které je volně uložen kontrolní válec se závažím a krytem vyhazovače. Závaží zajišťuje přítlačnou sílu na tlumící člen. Základová deska je připevněna k rámu se stolem. Na rámu jsou komponenty pneumatického obvodu a na stole jsou umístěny tlačítka dvouručního ovládání a úprava vzduchu s hlavním uzávěrem. Digitální úchylkoměry s prodlužovacími nástavci jsou připevněny pod základovou deskou a kabely propojeny s převodníkem. K převodníku je připojen nožní spínač. Digitální úchylkoměry slouží k odměřování vzdálenosti mezi přírubou kontrolního trnu a kontrolním kuželem. Zařízení obsahuje tři kontrolní úchylkoměry. Čelní úchylkoměr s otočným displejem a dva boční úchylkoměry [22].

Postup při měření [22]:

- 1) Nejprve je nutno připojit počítač k převodníku.
- 2) Na počítači následně obsluha spustí aplikaci a příslušný formulář pro dané měření.
- 3) Zkontrolování tlaku vzduchu na manometru
- 4) Naplnění tlakové komory pneumatického válce vzduchem
- 5) Pohyblivá část s kontrolním kuželem vyjede do horní polohy
- 6) Vizualní kontrola čelní dosedací plochy, plochy kuželového trnu a vnitřní plochy kontrolního kužele, zda jsou čisté, případně je očistit
- 7) Dosednutí kontrolního kužele na dosedací plochu příruby
- 8) Vynulování všech úchylkoměrů
- 9) Odjetí pohyblivé části s kontrolním kuželem do horní polohy
- 10) Vhodné založení tlumícího členu na kontrolní trn
- 11) Spuštění měření nožním spínačem
- 12) Hodnoty změřené digitálními úchylkoměry se zapíší do formuláře a uloží do počítače

#### 4.1.4 Test přetížení

Test probíhá na hydropulzním přístroji. Rameno napínáku řemene musí zůstat neporušené při zvýšené dynamické zátěži více než 10 milionů cyklů. Vždy je testováno deset zkušebních vzorků z výrobní série. Test je zahájen, pokud vypočítaný a odsimulovaný statický bezpečnostní faktor má hodnotu  $SF_{stat} < 2,5$  a dynamický bezpečnostní faktor má hodnotu  $SF_{dyn} < 1,8$ . Bezpečnostní faktor je definován jako [23]:

$$SF = \frac{\text{Maximální vypočtené zatížení bez poškození součásti}}{\text{Maximální vypočtené zatížení při provozu součásti}} \quad (6)$$

Hodnota faktoru přetížení (OVL) je definována jako:

$$OVL = \frac{\text{Testovací zatížení}}{\text{Maximální vypočtené zatížení při provozu součásti}} \quad (7)$$

Dokumentace testu přetížení musí obsahovat, velikosti zatížení, velikosti faktorů přetížení, počet chybných vzorků, fotky testovaných částí, podrobná analýza vzniklých trhlin a srovnání s výsledky simulace a s výpočty.

Test byl proveden úspěšně, pokud všech deset vzorků projde testem bez porušení, při přetížení stanoveném simulací. Testování je prováděno opakovaně, dokud test není úspěšný [23].

## 4.2 Testování sestavy napínačku řemene

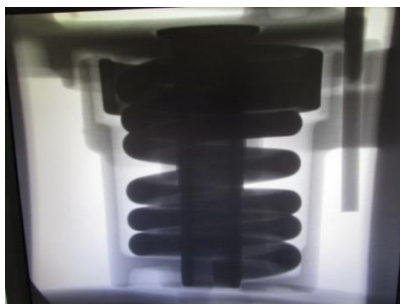
### 4.2.1 Zkouška prozářením

Tělo a rameno napínačku jsou vyrobeny technologií tlakového lití hliníku. Tato technologie má velmi dobrou rozměrovou přesnost oproti ostatním technologiím odlévání, avšak nelze vyrobit dokonalý odlitek. Zkouškou prozářením pomocí rentgenových paprsků lze odhalit vnitřní vady v odlitcích, které nejsou vidět pouhým okem. Hlavní výhodou této zkoušky je, že je nedestruktivní.



Obr.29 Rentgenový snímek skříně napínačku řemene.

Zkouškou prozářením se zjišťuje při zavádění nového typu napínačku do výroby, zda je napínaček konstrukčně navržen správně. Sestavený napínaček je prozářen rentgenovým paprskem a na snímku lze zjistit například, zda se pružina v napínačku řemene nedotýká těla napínačku a nedochází k jejímu otláčování nebo zda nedošlo při sestavení napínačku k posunutí tlumícího členu do nežádoucí polohy. Prozáření napínačku řemene se provádí i po provedení urychlené zkoušky životnosti napínačku řemene. Z rentgenového snímku lze zjistit, zda nedošlo během zkoušky životnosti k poškození některé ze součástí uvnitř napínačku, případně v jaké části systému napínání řemene nastala chyba.



*Obr.30 Zkouška prozářením systému napínání řemene.*

Zkouška je prováděna v kabinovém systému MU15F, sloužícímu ke kontrole vad odlitků z lehkých slitin radioskopickou metodou. Systém tvoří stínící kabina a zdroj ionizujícího záření. Zdroj ionizujícího záření je rentgen tvořený generátorem se spínaným zdrojem s ovladačem a rentgenkou s otevřeným vodním chlazením se snímačem průtoku chladicí kapaliny. Kabina sendvičové konstrukce obsahuje manuálně ovládané dveře. Dveře jsou vybaveny dvojitými dveřními spínači, které blokují chod rentgenu, pokud nejsou dveře uzavřené. Vkládání zkoušených dílů se provádí těmito dveřmi. Uprostřed dveří je skleněné okno z oloveného skla pro případnou vizuální kontrolu [24].



*Obr.31 Kabinový systém MU15F.*

#### **4.2.2 Test statické hystereze**

Graf statické hystereze popisuje závislost krouticího momentu napínáku na úhlu natočení ramene vůči tělu napínáku v celém pracovním rozsahu. Tato závislost ukazuje chování hystereze, protože směr třecího momentu vždy působí proti směru pohybu ramene napínáku.

Plochá pružinová křivka dosáhne téměř konstantního napětí řemene v celém pracovním rozsahu napínáku. Minimální snížení napětí má za následek prodloužení nebo stárnutím pásu. Sklon křivky je udáván torzní tuhostí [14].

$$R_{RM} = \frac{E \cdot \pi \cdot d^4}{3667 \cdot D_m \cdot n} \quad [14] \quad (8)$$

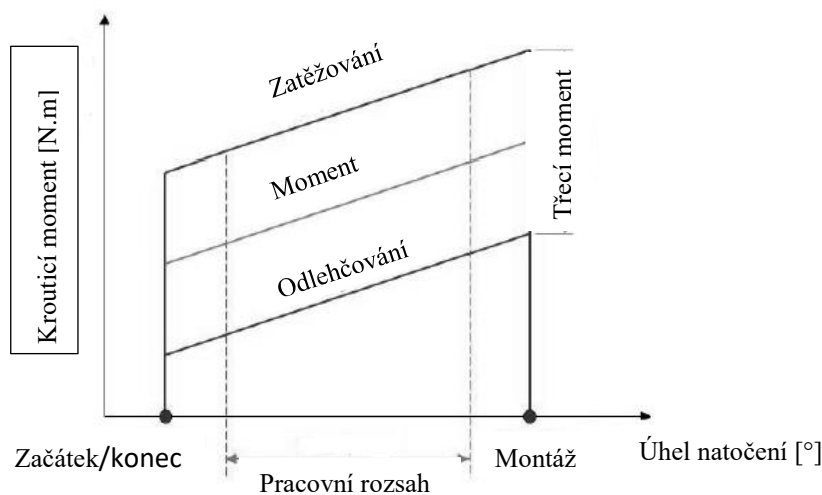
$R_{RM}$  – torzní tuhost [ $N \cdot mm \cdot ^\circ^{-1}$ ]

$d$  – průměr drátu pružiny [mm]

$n$  – počet závitů pružiny [–]

$E$  – modul pružnosti drátu pružiny [ $N \cdot mm^{-2}$ ]

$D_m$  – střední průměr vinutí pružiny [mm]

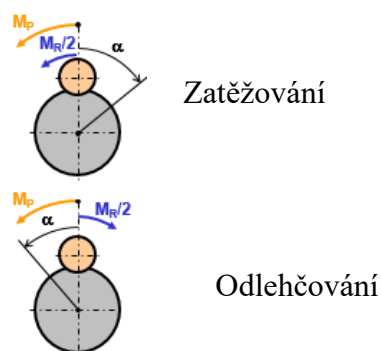


Obr.32 Hysterézní křivka [14].

Celkový moment je složen ze dvou složek (Obr.33). Krouticím momentem pružiny  $M_P$ , jež je vytvořen předepnutím pružiny a třecím momentem  $\frac{M_R}{2}$  odpovídající tlumení  $M_R$ , jež je tvořen třecím členem. Během pohybu ramena napínáku ve směru úhlu  $\alpha$  při zatěžování působí krouticí moment  $M_P$  a třecí moment  $\frac{M_R}{2}$  působí proti směru pohybu napínáku. Při odlehčování působí tření opačným směrem. Z tohoto důvodu je výsledný krouticí moment součtem těchto dvou momentů [25]:

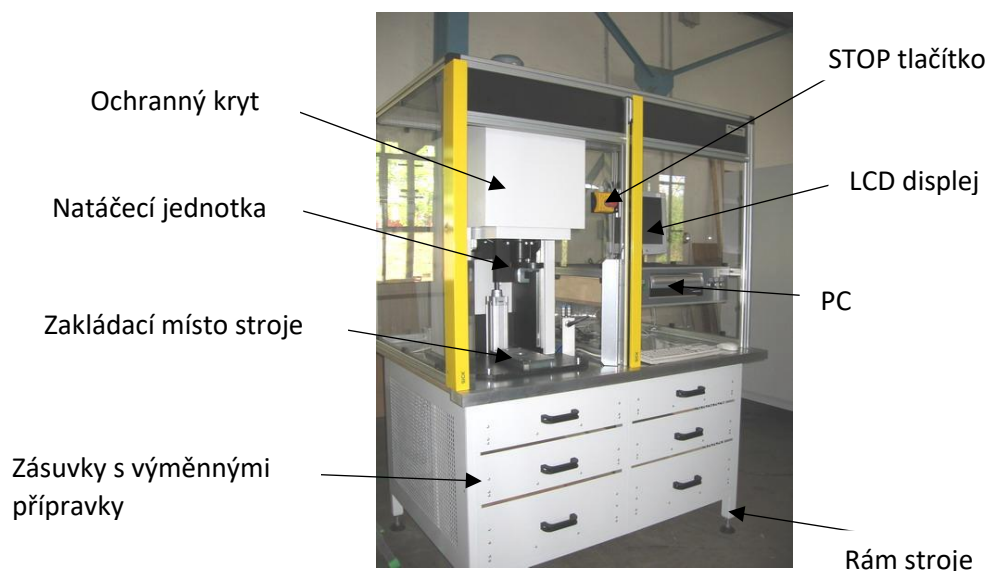
$$M = M_P \pm \frac{M_R}{2} \quad (9)$$





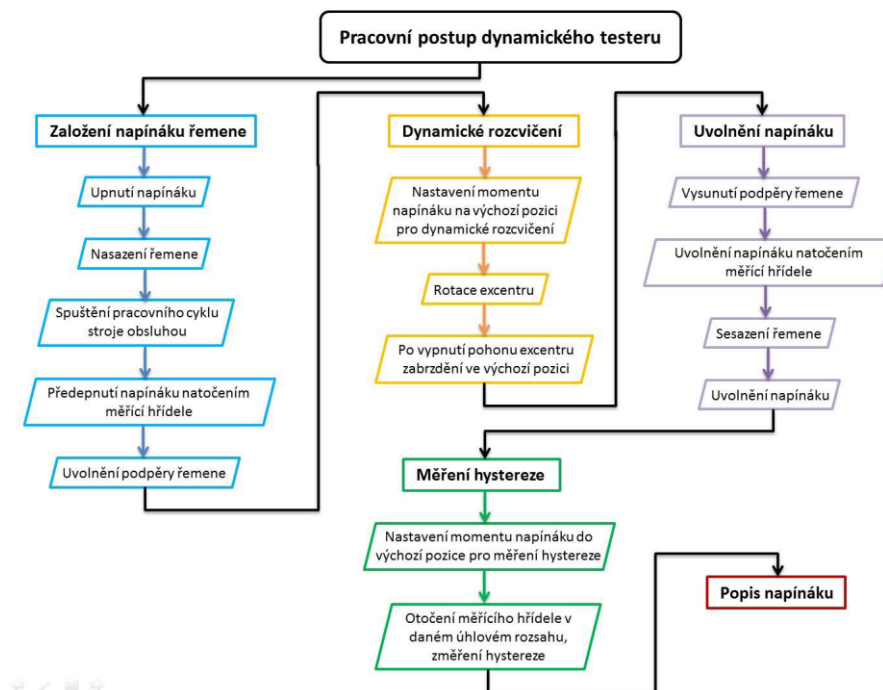
Obr.33 Rozložení momentů [25].

Test probíhá na univerzální hysterezní stanici (Obr.34). Veškeré kontrolní a pracovní pohyby stroje jsou řízeny autonomním řídicím počítačem. Zakládání dílu je prováděno ručně obsluhou. Obsluha upevní testovaný napínák řemene do příslušného výměnného přípravku, který založí do stroje a ručním upínacím ventilem upne. Pokud nastane změna typu testovaného napínáku je nutné stroj přenastavit na parametry určené pro daný testovaný typ napínáku řemene. Obsluha vybere na PC program pro příslušný typ napínáku řemene a navolí odpovídající parametry měřícího cyklu. Spuštění automatického cyklu provádí obsluha stiskem tlačítka „Program Start“. (Po skončení cyklu se natáčecí jednotka posune do základní polohy.) Naměřená data jsou zpracována a zálohována do PC odkud je lze vytisknout a dále zpracovávat [26].



Obr.34 Univerzální hysterezní stanice.

Na následujícím obrázku (Obr.35) je zobrazen pracovní postup univerzální hysterezní stanice, jež měří hysterezi napínáku řemene.

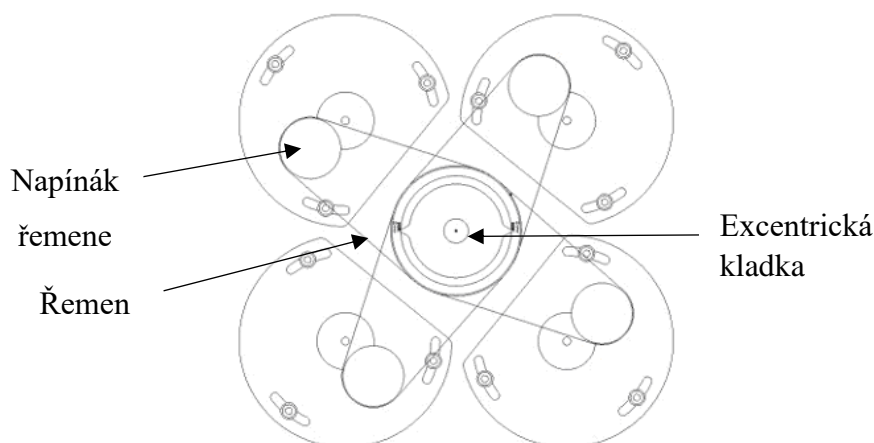


Obr.35 Pracovní postup testeru [26].

#### 4.2.3 Test životnosti napínáku řemene

Pomocí testu životnosti napínáku lze sledovat hodnoty vybraných parametrů a jejich změny po dobu životnosti napínáku. Test simuluje pracovní podmínky napínáku řemene v urychleném procesu. Výsledná doba testu odpovídá ujetí osobního automobilu do vzdálenosti 200 000 kilometrů. Na tuto vzdálenost je konstruována většina dílů do osobních automobilů. (Této vzdálenosti odpovídá zhruba 10 000 000 cyklů.)

Test probíhá na speciálním zařízení. Elektromotor pohání excentrickou kladku. Okolo excentrické kladky jsou omotány řemene, které způsobují při otáčení kladky uvolňování a napínání napínáku řemene. Napínáky řemene jsou připevněny ke zkušebnímu zařízení. Při každém testu jsou zároveň testovány čtyři napínáky. Napínáky jsou od základní desky různě vzdálené, tak aby bylo možno opásat kladku řemene. Vzdálenost od desek je nastavena pomocí sloupků. Střed řemene musí být totožný se středem kladky napínáku, aby nedošlo ke sklouznutí řemene. Tyto napínáky mají stejné testovací podmínky a výsledky lze porovnat bez chyby měření vnesené lidským faktorem při zadávání testovacích podmínek. Testováním více napínáků zároveň snižuje i potřebný čas.



Obr.36 Rozložení napínáků řemene na zkušebním zařízení.

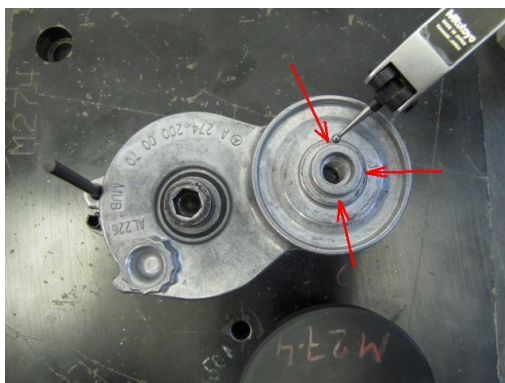
Před samotným měřením životnosti napínáku řemene je nutné, aby byl změřen sklon a výška napínáku a aby byla nastavena správná frekvence a amplituda kmitání. Nutné je i zkontrolovat zkušební řemen, aby nebyl popraskaný.

Měření výšky sklonu napínáku řemene je prováděno na napínáku s kovovou kladkou a v přípravku zatížen tak, aby byl v nominální pozici. Pomocí elektronické vodováhy je naměřen sklon dosedací plochy ložiska kladky napínáku. Sklon je měřen ve dvou směrech na sebe kolmých. Nejprve je sklon měřen v rovnoběžném směru s ramenem napínáku řemene, a následně je měřen sklon ve směru kolmém na rameno. Ke zlepšení orientace v popisu úhlů byla zavedena znaménková konvence. Sklon v požadovaném směru je vypočten z naměřených hodnot [27].



Obr.37 Měření sklonu.

Výška napínáku je měřena pomocí výškoměru. Měření výšky napínáku je prováděno v přípravku na ploše pod kladkou napínáku na dosedací ploše ložiska vůči ploše, kterou napínák dosedá na motor. Výška napínáku je měřena na třech bodech pootočených vzájemně o 90°. První bod leží na ose mezi středem napínáku řemene a středem kladky. Zbylé dva body leží na ose, jež je kolmá na předcházející osu a procházející středem kladky [28].



Obr.38 Pozice měřených bodů výšky [28].

Nastavení frekvence a amplitudy kmitání pro test měření životnosti je určováno pomocí stroboskopu. Pro měření je používán digitální stroboskop VOLCRAFT®DT-2269. Pracovník spustí zkušební zařízení s upnutými napínáky řemene a přednastavenou amplitudou kmitání. Po zapnutí stroboskopu je nastavena frekvence blikání tak, aby se otáčení řemenice zdánlivě zastavilo a nebyly vidět žádné obrysy vícenásobně. Tímto nastavením lze ověřit nastavenou frekvenci kmitání. Na rameni napínáku je umístěno kontrolní kolečko. Namířením stroboskopu na kontrolní kolečko na rameni napínáku lze pozorovat zdvojení kontrolního kolečka. Správně nastavená amplituda kmitání je tehdy, pokud se zdvojená kolečka nepatrně dotýkají nebo se nepatrně překrývají. Pokud se zdvojená kolečka nedotýkají, je zvolená amplituda kmitání příliš velká. Amplitudu kmitání lze snížit přenastavením výchylky excentrické řemenice (Obr.39) [29].

Správně nastavené amplituda



Příliš malá amplituda



Příliš velká amplituda



Obr.39 Možný vzhled kontrolních značek při nastavování amplitudy kmitání [29].

K simulaci provozních podmínek lze použít ohřívací pec. Pec je připojena k zařízení s napínáky a spojení je kvůli izolaci utěsněno. Vzduch v peci je běžně při testu ohříván na 100 °C v souladu s požadavky zákazníka.



*Obr.40 Ohřívací pec.*

Během testu jsou elektronicky snímána data, jež jsou zapsána v počítačovém programu. Data jsou zapisována po 100 000, 1 000 000, 2 000 000, 5 000 000 a 7 500 000 cyklech. Při zkoušce jsou zaznamenávána data o teplotě napínáku, krouticí momenty v pracovních polohách napínáku (maximální, minimální a nominální pracovní poloha), třecí moment v nominální poloze napínáku, sklon napínáku vzhledem k pracovní ploše a výška napínáku. Po dosažení požadovaného počtu cyklů je vždy test zastaven, napínáky jsou sundány, změřeny potřebné hodnoty a test je následně znovu spuštěn. Při probíhání zkoušky je hodnocen i vydávaný hluk či spadnutí řemene během zkoušky. Po zkoušce je navíc zaznamenán popis opotřebení a vzhled maziva [30].

Test neproběhl úspěšně pokud [30]:

- 1) Krouticí moment v nominální poloze je mimo toleranci
- 2) Třecí moment je mimo toleranci
- 3) Sklon napínáku řemene je mimo toleranci ( $\pm 0,8^\circ$ )
- 4) Axiální opotřebení je větší než 1mm (změna výšky napínáku)
- 5) Porušení součásti napínáku řemene
- 6) Kritérium zvolené zadavatelem je mimo toleranci

#### 4.2.4 Zkouška v solné mlze

Napínák je v komoře upnut tak, aby rameno napínáku řemene bylo ve volné pozici. Nastavení solné rozstříkovací komory je provedeno dle ČSN EN ISO 9227.

Nastavení solné komory:

V destilované nebo deionizované vodě, jejíž konduktivita při teplotě  $25\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$  není vyšší než  $20\text{ }\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  se rozpustí takové množství chloridu sodného, aby vznikl roztok o koncentraci  $50\text{ g}\cdot\text{l}^{-1} \pm 5\text{ g}\cdot\text{l}^{-1}$ . Rozsah hustot roztoku, který odpovídá rozsahu těchto koncentrací je  $1,029\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  až  $1,036\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ . Chlorid sodný musí obsahovat méně než 0,001% mědi a méně než 0,001% niklu, stanovených atomovou absorpční spektrometrií nebo jinou analytickou metodou s obdobnou citlivostí. Dále nesmí obsahovat více než 0,1% jodidu sodného ani více než 0,5% všech příměsí dohromady v přepočtu na suchou sůl [31].

Nastavení solné komory je závislé na prováděné zkoušce.

Druhy zkoušek v solné komoře [31]:

1) Zkouška NSS

Hodnota pH rozprášeného roztoku při teplotě  $25\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$  je v rozmezí 6,5 až 7,2. Nezbytné úpravy pH jsou prováděny přidáním roztoku kyseliny chlorovodíkové nebo hydroxidu sodného.

2) Zkouška AASS

Do solného roztoku je přidáno množství ledové kyseliny octové, tak aby pH rozprášeného roztoku bylo v rozmezí 3,1 až 3,3.

3) Zkouška CASS

V solném roztoku je rozpuštěno takové množství dihydrátu chloridu měďnatého, aby jeho výsledná koncentrace byla  $0,26\text{ g}\cdot\text{l}^{-1} \pm 0,02\text{ g}\cdot\text{l}^{-1}$ .

Měření před zkouškou:

Před zkouškou jsou změřeny krouticí momenty v pracovních polohách (minimální, maximální, nominální) a třecí moment v nominální poloze napínáku řemene.

Postup testu:

Napínák řemene je upevněn, tak aby rameno napínáku řemene bylo ve volné pozici. Každých 30 minut se rameno napínáku přemístí do polohy, jež odpovídá poloze instalování napínáku řemene na motor. Po dobu jedné minuty automatické zařízení drží napínák řemene v této poloze. Celková doba testu činí 240 hodin. Parametry solné komory jsou každých 24 hodin kontrolovány a nastavovány dle normy ČSN EN ISO 9227 [32].

Měření po zkoušce:

Po zkoušce jsou změřeny krouticí momenty v pracovních polohách (minimální, maximální, nominální) a třecí moment v nominální poloze napínáku řemene. Po demontáži napínáku řemene následuje kontrola a dokumentace všech stop opotřebení a vzhled maziva. Dále je kontrolována degradace komponentů, jež může způsobit solný roztok. Výsledek zkoušky je pozitivní, pokud nedojde k poškození některé komponenty a zároveň měřené momenty jsou v tolerancích [32].



*Obr.41 Napínák řemene v solné mlze.*

#### 4.2.5 Odolnost vůči agresivní kapalině

V oblasti motoru jsou používány různé kapaliny, které jsou používány v motoru a v oblasti kolem něj. Mezi tyto kapaliny patří například oleje, chladicí kapaliny a čisticí prostředky používané pro údržbu motoru. Tyto kapaliny nesmějí trvale ovlivňovat hodnoty tření napínáku řemene nebo samotnou funkci napínáku řemene při vzájemném kontaktu. Testovány jsou vždy čtyři napínáky řemene současně. Napínák řemene je upevněn, tak aby rameno napínáku řemene bylo ve volné pozici. Napínáky řemene jsou testovány podle následující tabulky.

Tab.4 Testované kapaliny [33].

Testované médium	Dodavatel	Název/typ	Test
Motorový olej	Definováno zákazníkem	Definováno zákazníkem	Aplikace 5 cm <sup>3</sup> při teplotě 80 °C na tělo napínáku řemene
Hydraulický olej	Definováno zákazníkem	Definováno zákazníkem	Aplikace 5 cm <sup>3</sup> při teplotě 80 °C na tělo napínáku řemene
Studený čisticí přípravek (například Varsol)	Definováno zákazníkem	Definováno zákazníkem	Nasměrování trysky na tělo napínáku řemene, držení po dobu 30 sekund a udržování vzdálenosti 50 cm
Chladicí kapalina	Definováno zákazníkem	Definováno zákazníkem	Aplikace 1000 cm <sup>3</sup> při teplotě 80 °C na tělo napínáku řemene

Postup testu [33]:

- 1) Změření krouticího momentu a tření v nepoužívaném stavu.
- 2) 48 hodinový test na přístroji pro měření životnosti při pokojové teplotě.
- 3) Změření krouticího momentu a tření.
- 4) Nanesení zkušebního média dle výše uvedené tabulky (Tab.4).
- 5) Změření krouticího momentu a tření.
- 6) 48 hodinový test na přístroji pro měření životnosti při pokojové teplotě.
- 7) Změření krouticího momentu a tření.
- 8) Demontáž napínáku řemene pro vizuální kontrolu.



Vyhodnocení testu:

Po uplynutí 14 hodinového testu napodobující provoz, musí všechny čtyři testované napínáky řemene dosáhnout své původní funkce a naměřených hodnot. Pokud klesne během testu naměřené tření maximálně o 10%, je test považován za úspěšný. Pokud jeden z napínáků řemene nedosáhne stanovených hodnot momentu a tření, zkouška je vyhodnocena jako neúspěšná [33].

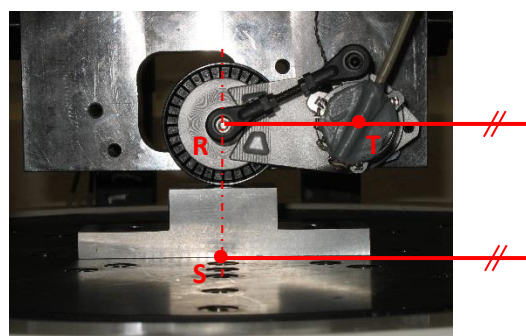
#### 4.2.6 Test dynamické hystereze

Test probíhá na speciálním shakeru (Obr.42). Před touto zkouškou je nutné provést test statické hystereze. Pro měření dynamické hystereze musí být napínák řemene na shakeru namontován tak, aby splnil tato následující kritéria [34]:

- 1) V neutrální poloze shakeru musí být rameno napínáku v nominální poloze.
- 2) Čára mezi šroubem R a otočným kloubem T musí být rovnoběžná s povrchem shakeru (Obr.42).
- 3) Během pohybu s nastavenou maximální amplitudou nesmí napínák řemene být v kontaktu s žádnou jinou součástí. Kladka musí stát na podestě (Obr.43).



Obr.42 Shaker.



Obr.43 Upevnění součástí na třepacím stroji [34].

Napínák řemene musí být vybaven šroubem pro měření síly a rotačním potenciometrem. Směr měření šroubu pro měření síly musí být pravouhlý k rameni páky (Obr.43 spojnice bodů R a S). Pro každý

typ napínačku musí být navržena speciální podpěra tak, aby se kladka dostala do kontaktu s podestou shakeru uprostřed. Celá šířka kladky musí mít kontakt s plochou podesty [34].

Zkouška je prováděna při pokojové teplotě. Tření pružiny v napínačku řemene způsobuje ohřívání napínačku řemene. Ohřátí může dosáhnout až hodnoty 60°C.

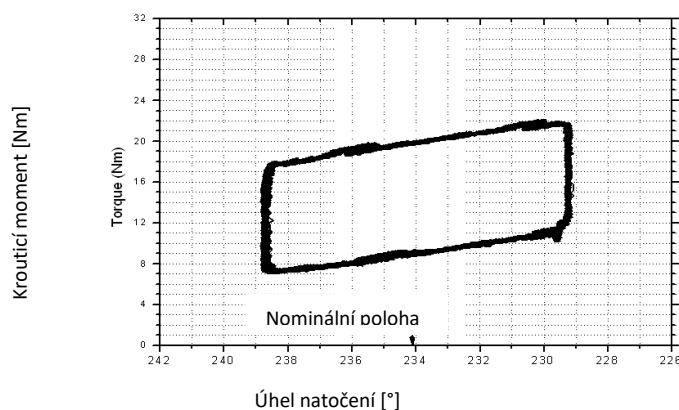
Postup testu:

Při testu je frekvence kmitání postupně zvyšována. Naopak amplituda kmitání postupně snižována. Každý krok měření trvá nejméně 20 s, aby bylo zajištěno spolehlivé měření. V tabulce (Tab.5) jsou zaznamenány standardní kroky měření [34].

Tab.5 Hodnoty měření dynamické hystereze.

<b>Frekvence [Hz]</b>	<b>Amplituda []</b>	<b>Čas [s]</b>
5	7,5	25
10	6,25	20
20	4,5	20
33	3	20
50	2	20
100	1	20

Pro každou frekvenci je zaznamenávána síla působící na kladku, jež je převedena do krouticího momentu, a pohyb ramena napínačku převedený do úhlu. Pomocí matematického dodatečného zpracování počítačovým programem jsou tyto naměřené hodnoty vyobrazeny jako hysterezní křivky pro každou frekvenci. Vždy je zobrazeno nejméně 10 obrazů hystereze k zajištění opakovatelnosti. Na obrázku (Obr. 44) je zobrazena typická výstupní hysterezní smyčka [34].



Obr.44 Dynamická hysterézni smyčka [34].

Vyhodnocení testu:

Jestliže jsou na kovových nebo hliníkových částech detekovány trhliny, nebo jiné poškození materiálu, test neproběhl úspěšně. Také není tolerováno, pokud plastový tlumící element při kontaktu s třecí plochou je nataven. Detekce malého množství maziva na vnějším povrchu tlumícího členu je přijatelná. Pokud je test během zkoušky přerušen, například pokud pohyb napínáku řemene je nepravidelný nebo dojde k poruše, test proběhl neúspěšně. Poškození povrchu kladky v místě styku s řemenem je přijatelné v důsledku netypického, neotáčivého zatěžovacího stavu kladky [34].

Naklápění křivky hystereze oproti velikosti frekvence je technicky vysvětlitelné a normální. Hysterézni křivka by se neměla zhroutit, což znamená, že křivka stále neobíhá okolo oblasti uprostřed při vysokých frekvencích. Tlumící moment (vertikální výška křivky) by se neměl lišit o více než 10% od hodnoty naměřené při frekvenci 5 Hz u všech měřených frekvencí [34].

#### 4.2.7 Test rezonance

Test je prováděn na stejném třepacím přístroji, na kterém se také měří test dynamické hystereze. Napínák je připevněn ve vzpřímené poloze s kladkou a upevňovacím šroubem na hliníkové desce. Předpětí napínáku řemene je provedeno řemenem tak, aby byl napínák v nominální poloze  $\pm 2^\circ$ . Úhel mezi výslednou silou řemenu a ramenem napínáku by měl být stejný, jako uvnitř řemenového pohonu. Těžiště sestavy napínací desky se nachází ve střední ose shakeru. Pokud upevnění upevňovacích šroubů nebo předepnutí napínáku řemene vyžaduje krouťicí moment vyšší

než je 35 Nm, musí být tato práce provedena odděleně od shakeru, protože armatura třepacího stroje může vydržet pouze tuto hodnotu krouticího momentu [35].



Obr.45 Upevnění napínačku řemene při testu rezonance [35].

Zkouška je složena z 3 až 4 kroků v závislosti na rozměru pružiny napínačku [35]:

1) Hledání frekvenční rezonance (pro každý napínaček řemene)

Při této zkoušce je detekována rezonanční frekvence pružiny a ramene napínačku. Rezonanční frekvence pružiny, při první přirozené deformaci podél osy pružiny bývá obvykle v rozmezí 150 – 250 Hz. Rezonanční frekvence ramene napínačku s krátkým ramenem je obvykle v rozmezí 400 – 500 Hz. Napínaček s dlouhým ramenem má tuto hodnotu v rozmezí 250 – 400 Hz. Na rameno je umístěn akcelerometr, nejlépe na upevňovací šroub. Akcelerometr měří obě rezonanční frekvence. Zkouška začíná při 50 Hz. Frekvence je postupně zvyšována rychlostí 1 Hz za vteřinu. Celková doba testu činí 16 minut.

2) Zkouška životnosti při rezonanční frekvenci pružiny (pro 3 napínačky řemene)

Při této zkoušce je určena životnost napínačku. Frekvence při této zkoušce se pohybuje okolo rezonanční frekvence pružiny, jež byla nalezena v kroku 1.

3) Zkouška životnosti při rezonanční frekvenci ramene napínačku (pro 3 napínačky řemene)

Při této zkoušce je určena životnost napínačku. Frekvence při této zkoušce se pohybuje okolo rezonanční frekvence ramene napínačku, jež byla nalezena v kroku 1. Pro tuto zkoušku je nutno použít nové napínačky, nikoliv ty, které byly použity v kroku 2. Pokud je rozdíl mezi rezonančními frekvencemi menší než 10 Hz, měl by být proveden pouze krok 2.

Poslední krok je prováděn, pouze pokud poměr mezi vnějším průměrem pružiny D a výškou pružiny H je větší než 1 (konstrukce E8, DATevo).

$$\frac{D}{H} > 1 \quad (10)$$

4) Test životnosti při rezonanční frekvenci pružiny (pro 3 napínáky řemene)

Napínák řemene při této zkoušce je upevněn ve vzpřímené poloze (otočen o 90°) pomocí speciální úchytky. V prvním kroku je stanovena rezonanční frekvence pružinových cívek v radiálním směru. Tato frekvence je určena pomocí stroboskopu. Následně je proveden test životnosti právě při této zjištěné rezonanční frekvenci.

Testy životnosti v krocích 2, 3 a 4 probíhají po dobu 100 000 000 cyklů.

Následuje měření statické hystereze. Po skončení testu následuje rozebrání napínáku řemene, očištění napínáku v ultrazvukové lázni a detekce trhlin vzniklých testem. Trhliny jsou určeny kapilární metodou nanesením penetrantu a zviditelněním trhlin pomocí vývojky.

Vyhodnocení testu:

Jestliže jsou na kovových nebo hliníkových částech detekovány trhliny, nebo jiné poškození materiálu, test neproběhl úspěšně. Test je též neúspěšný, pokud je viditelně změněn úhel mezi tělem a ramenem napínáku. Pokud je rozdíl mezi naměřenými výškami napínáku před a po kroku 2 a kroku 3 větší než 0,2 mm test je taktéž neúspěšný. Také není tolerováno, pokud plastový tlumící element při kontaktu s třecí plochou je nataven. Detekce malého množství maziva na vnějším povrchu tlumícího členu je přijatelná. Pokud je test během zkoušky přerušen, například pokud pohyb napínáku je nepravidelný nebo dojde k poruše, test proběhl neúspěšně. Poškození povrchu kladky v místě styku s řemenem je přijatelné v důsledku netypického, neotáčivého zatěžovacího stavu kladky [35].

#### 4.2.8 Mud test

Test simuluje provozní podmínky řemene, při znečištění řemenové soustavy. Na standardní testovací zařízení životnosti napínačku řemene je připojena komora pro Mud-Test (Obr.45). Zadní deska, na které jsou upevněné napínačky, musí být zcela utěsněna, aby nedošlo k znehodnocení testu. Jednoduchý řemenový pohon obsahuje hnací, excentrickou řemenici a napínač řemene. Excentrická řemenice zajišťuje přes řemen kmitání napínačku během testu. Excentricita na hnací řemenici činí 3 mm. Napínač je namontován v takové poloze, která odpovídá poloze při provozu.



Obr.46 Komora pro Mud-Test [36].

Zkouška probíhá při pokojové teplotě. Vzduch uvnitř zkušební komory je však třením ohřátý na 60°C. Rychlost otáček hnací řemenice je konstantní po celou dobu testu. Disperze bláta je smíchána s vodou, která obsahuje 0,3% chloridu sodného a s 5% práškové hlíny. Jedná se o hydrát křemičitanu hlinitého složeného z maximálně 80% částic, které mají velikost 10 mikronů. Disperze bahna je tryskána z pěti trysek. Maximální vzdálenost trysky k napínačku řemene je 250 mm. Celkový průtok směsi činí  $15 \text{ l. min}^{-1}$ . Úhel rozstříkávání trysky je 30° [36].

Postup testu:

Napínač je vystaven rozstříku bahna každých 10 minut po dobu 6 sekund. Po 600 cyklech (100 hodinách) následuje namočení napínačku řemene do disperze bláta po dobu 14 dní (336 hodin). Během této doby je testovací stroj zastaven a napínač řemene lze z přístroje demontovat.

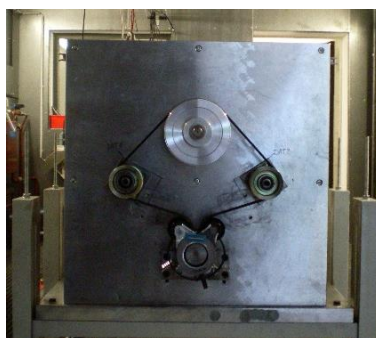
Pokud je z přístroje vytažen, musí být v namáčen v takové poloze jako by byl uložen v přístroji. Po jednotlivých krocích je prováděna zkouška statické hystereze [36].

Vyhodnocení testu:

Hodnota krouticího momentu a velikost tlumení v nominální poloze napínáku musí být po zkoušce v předepsaných mezích. Sklon a výška napínáku musí být po testu v předepsané toleranci. Hladina hluku, nesmí překročit obvyklou úroveň pro napínáky. Neměl by být zaznamenán periodicky se opakující šum. Pokud byl Mud test zastaven před řádným ukončením, v důsledku neobvyklého šumu nebo jiné poruchy, test neproběhl v pořádku [36].

#### 4.2.9 Start-Stop test

Tento test je určen pouze pro napínáky typu DAT a E8. Test simuluje kumulované spuštění motoru alternátorem, nebo konvenčním startérem během testu životnosti. Kvůli speciálním kinematickým okrajovým podmínkám během startu alternátoru musí napínák snést mimořádné zatížení. Napínák, je nutné upevnit na zkušební přístroj v takové poloze, jež odpovídá pracovní poloze. Spodní hnací kolo simuluje startér-alternátor. Délka řemene je při testu zvolena tak, aby napínák řemene při startu zkoušky dosáhl své jmenovité pracovní polohy.



Obr.47 Testovací zařízení pro Start-Stop test [37].

Pokud napínák řemene neobsahuje žádné gumové nebo plastové části, lze tuto zkoušku provést při pokojové teplotě. Pokud tomu tak není (většina případů), musí se provést zkouška při okolní teplotě 100°C. Přístroj musí být očištěn, aby bylo možno detekovat opotřeбенé částice z napínáku řemene [37].

Postup testu [37]:

Test je prováděn dvoustupňovým cyklem (zrychlení a zpomalení) střídavého krouticího momentu na hnacím hřídeli. Rychlost otáčení by měla odpovídat skutečným počátečním hodnotám otáček alternátoru.

U typu napínáku E8 je velmi důležité nastavit křivku krouticího momentu tak, aby bylo dosaženo stejného chování při naklopení jako u skutečného motoru vozidla. Ve standardním testu je krouticí moment nastaven na 70 Nm a pohyby jsou stejné jako v reálném motoru.

K urychlení a zpomalení rotujících částí mezi hřídelem pro měření krouticího momentu a zkušebním tělesem se přidá 10 Nm. Jeden cyklus trvá 0,5 sekundy. Celkem je zapotřebí provést 500 000 cyklů, které dohromady trvají 69,5 h.

Důsledkem nerealisticky rychlého nástupu simulovaných startů dochází k zahřátí napínáku řemene. Pokud je zkouška prováděna při pokojové teplotě, nesmí teplota konstrukce napínáku řemene vzrůst nad 60°C. Při okolní teplotě 100°C musí být počáteční frekvence testu snížena, aby nedošlo k překročení maximální přípustné teploty plastových dílů.

Po každých 100 000 startech je řemen nahrazen novým a na napínáku dojde ke změření statické hystereze. Vyměněné řemeny jsou zkontrolovány, zda nedošlo ke zvýšenému opotřebení.

Vyhodnocení testu [37]:

Testované napínáky řemene neprojdou testem, pokud:

- krouticí moment při nominální poloze napínáku řemene neodpovídá tolerancím,
- třecí moment překračuje tolerance,
- souosost řemenic přesahuje tolerance,
- dojde k destrukci součásti,
- nastane abnormální hluk.



### 4.3 Testování sestavy napínání řemene

Testování probíhá přímo na spalovacím motoru, umístěném ve zkušebně nebo přímo v osobním automobilu. Napínák je specifický pro daný motor.

#### 4.3.1 Měření na motoru u zákazníka

Při tomto testu lze samostatně regulovat otáčky motoru a krouticí moment.

Nastavení řemenového pohonu se provádí s různými kombinacemi řemene a napnutím [38]:

- Napínák s minimálním momentem a maximální délka řemene

Tato konfigurace způsobuje minimální krouticí moment napínáku a jeho tlumení. Test při těchto parametrech měření je zaměřen na sklouznutí řemene, přípustné pohyby a hlučnost napínáku.

- Napínák s maximálním momentem a minimální délka řemene

Tato konfigurace způsobuje minimální krouticí moment napínáku řemene a jeho tlumení. Test při těchto parametrech měření je zaměřen na vliv vysokých sil způsobených řemenem.

Jako standard jsou testovány následující podmínky [38]:

Tab.6 Podmínky testu.

Název testu	Rychlost motoru	Zatížení motoru [%]	Doba testu [s]	Zatížení agregátu
Krokový test (volnoběh)	Stabilní volnoběh	0	10 (na krok)	Všechny agregáty se postupně zapínají a vypínají ve stejném pořadí.
Plné zatížení	Od minima po maximum	100	180	Vždy testovány 3 různé kombinace. 1. Všechny agregáty 0% 2. Každý agregát samostatně 100% . . . i. Všechny agregáty 100%

Start-stop	Start-stop	0, ale brzda je odpojena	Test je proveden min. 5x	Žádné
------------	------------	--------------------------	--------------------------	-------

Během testu je měřeno [38]:

➤ Pohyb ramene napínáku

K měření slouží rotační potenciometr připevněn ke šroubu na řemenici napínáku. Osa potenciometru je totožná s osou kladky napínáku. Před zahájením měření je nutná kalibrace pozic. Nulová poloha napínáku řemene je nastavena při vypnutém motoru.

➤ Síla působící na kladku napínáku

Ke snímání síly slouží měřicí šroub (princip smykové síly) s vnější trubkou s tenzometry, které jsou orientovány ve směru síly.

Před měřením je požadována kalibrace měřicí polohy:

1. Zahřátí řemenového pohonu na běžícím motoru.
2. Zastavení motoru a změření statického napětí řemene.
3. Kalibrace silového výstupního signálu s tímto statickým napětím řemene.
4. Sejmutí řemene a nastavení výstupního signálu nezatíženého napínáku na 0

➤ Zrychlení motoru v blízkosti napínáku řemene

Snímací zařízení je umístěno co nejbližší napínáku řemene, jak je to jen možné. Jestliže je napínák řemene připevněn na odděleném držáku, snímací zařízení musí být upevněno taktéž na odděleném držáku.

Snímací zařízení je buď jednosměrný, nebo třisměrný akcelerometr. Je-li použit třisměrný akcelerometr, směry jsou voleny následujícím způsobem:

Osa X: směr klikového hřídele

Osa Y: směr pohybu pístu

Osa Z: směr kolmo k pohybu pístu

Vyhodnocení testu [38]:

- Pohyb ramene napínačku
  - V rozsahu otáček mezi volnoběhem a  $2000 \text{ ot.min}^{-1}$ , musí být detekován posun napínačku řemene, jinak je napínač řemene zablokován.
  - Napínač řemene nesmí dosáhnout svých maximálních poloh během celého provozního cyklu.
- Síla působící na napínačku
  - Minimální zatížení řemene 100N.
  - Maximální zatížení napínačku řemene je definováno maximálním zatížením ložisek napínačku řemene, kladek a agregátů
  - Během celého cyklu nesmí být detekován nežádoucí hluk způsobený řemenem (prokluz, nedostatečné napnutí řemene)
- Zrychlení motoru v blízkosti napínačku řemene
  - Hodnoty získané touto zkouškou slouží pouze pro účely simulace

#### 4.3.2 Měření na vozidle

Měření prováděná na vozidle mohou být provedena pomocí válcového dynamometru nebo při jízdě na silnicích či zkušebních drahách a v klidovém stavu. Vozidlo je obvykle vybaveno manuální převodovkou, protože může být udržován konstantní převod pro kompletní zatížení. Nastavení řemenového pohonu, je totožné jako u zákaznického testu motoru.

Jako standard jsou testy prováděny za následujících podmínek [39]:

Tab.7 Podmínky testu.

Název testu	Rychlost vozidla	Rychlost motoru	Zatížení motoru [%]	Doba testu [s]	Zatížení agregátu
Krokový test (volnoběh)	0	Stabilní volnoběh	0	10 (na krok)	Všechny agregáty se postupně zapínají a vypínají ve stejném pořadí.

Plné zatížení	Od minima po maximum	Od minima po maximum	100	180, na veřejných komunikacích bude docházet k menšímu času zatížení	Vždy testovány 3 různé kombinace. 1. Všechny agregáty 0% 2. Každý agregát samostatný 100% . . i. Všechny agregáty 100%
Start-stop	0	Volnoběh	0	Test je proveden min. 5x	Žádné
Nesprávné použití (motor při volnoběhu je nucen zastavit brzdou)	0	Volnoběh	0	Test je proveden min. 5x	Žádné

Testy pohybu ramene napínáku, síla působící na napínák a test zrychlení motoru v blízkosti napínáku řemene probíhají stejným způsobem jako v zákaznickém testu motoru. Vyhodnocení probíhá stejným způsobem [39].

Postup testu [39]:

➤ Měření zrychlení na napínáku řemene (3 - směry)

Sensor je umístěn na šroubu, jenž upevňuje kladku napínáku. Pokud je na šroubu již upevněno zařízení pro posun napínáku řemene, lze toto zařízení použít k instalaci akcelerometru. Směry měření akcelerometru jsou voleny následovně:

Osa X: směr klikového hřídele

Osa Y: směr pohybu napínáku řemene

Osa Z: směr kolmý k pohybu napínáku řemene

Vyhodnocení testu [39]:

Získané hodnoty z testu zrychlení na napínáku slouží jako vstupní data pro testování na shakeru.

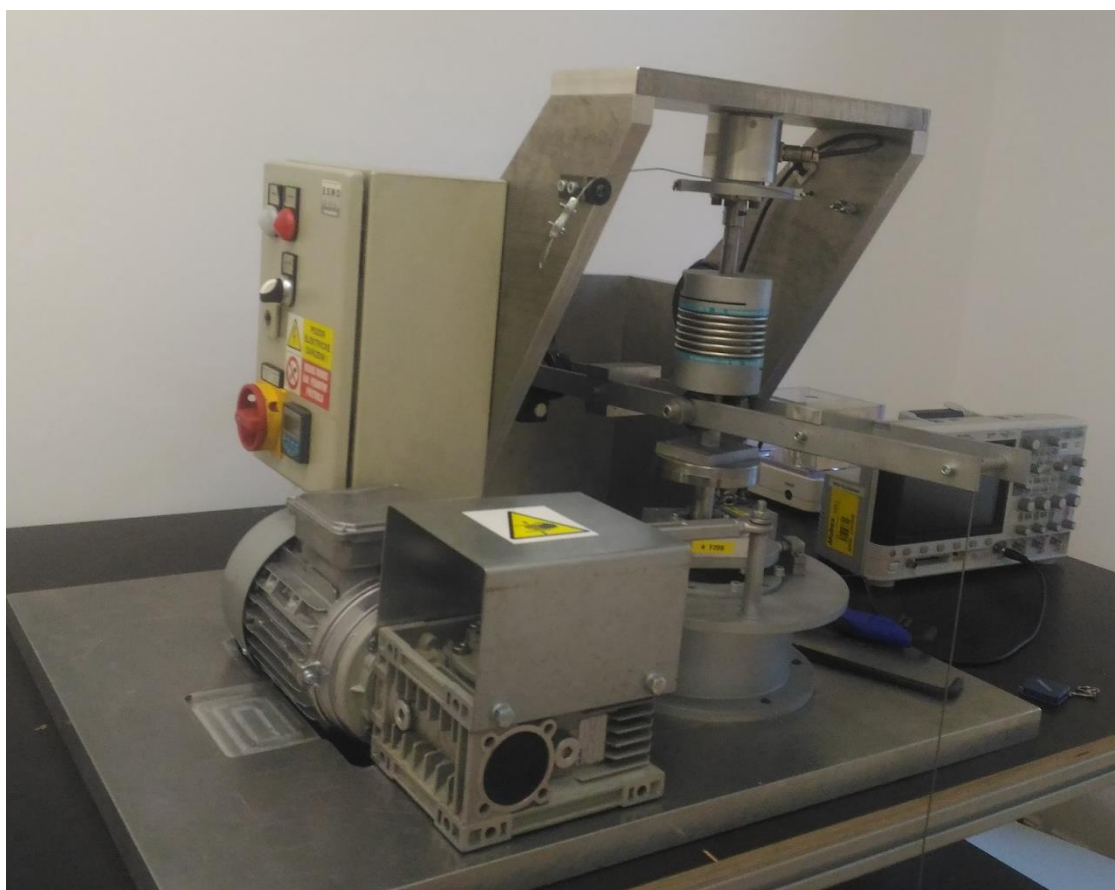
### **4.3.3 Vyhodnocení testování**

Testů pro testování vlastností napínačů řemene je celá řada. Každý test je specializován na konkrétní vlastnosti napínače. Ať už je testována jednotlivá součást napínače řemene, sestava napínače nebo celý řemenový pohon. Žádný test není výhradně určen k testování tření mezi tlumícím členem a příslušným protikusem. Problematikou tření, mazání a opotřebení se zabývá vědecký obor zvaný tribologie.

## 5 Testování tlumícího členu

V praktické části diplomové práce budou testovány tlumící členy napínačku řemene. Materiály použité k výrobě testovaných vzorků jsou popsány v kapitole 3.3. Testován bude vliv parametrů na koeficient tření. Bude porovnáváno suché tření a tření s použitím poloměkkých maziv. Použitá maziva jsou popsána v kapitole 3.4.

Měření bylo provedeno na tribometru speciálně navrženém pro tuto aplikaci, který byl vyroben ve francouzském výzkumném ústavu Supmecca. Na tribometru lze měřit charakteristiky tření pro kuželové tlumící členy napínačku řemene, tudíž tlumící členy pro systémy E3 a E3d.



Obr.48 Tribometr.

## 5.1 Tribologie

Tribologie je nauka o vzájemném působení povrchů při jejich vzájemném pohybu. Důležitá oblast tribologie je obor zvaný tribotechnika.

Tribotechnika je zaměřena na přípravu podkladů pro konstrukci, výrobu, provoz a údržbu třecích uzlů. Jedná se o poznání zákonů získaných studiem tření, výzkumem materiálu, jeho zušlechťování a povrchových úprav materiálu. Tribotechnika aplikuje výsledky zkoumání jednotlivých oborů tribologie. Výsledkem tribotechniky je minimalizace účinků tření, třecích sil a momentů, vznikajícího tepla a opotřebení nebo docílení maximálních třecích sil a momentů při minimálním opotřebení [40].

S minimalizací účinků tření souvisí stále probíhající vývoj maziv. V dnešní době je vývoj maziv zaměřen na ekologickou stránku a snaží se minimalizovat dopad na životní prostředí. Podobně je ovlivňován vývoj mazacích zařízení a celého provozu hospodaření s mazivy [40].

Tření lze rozdělit podle toho, jaká látka se nachází mezi stykovými plochami:

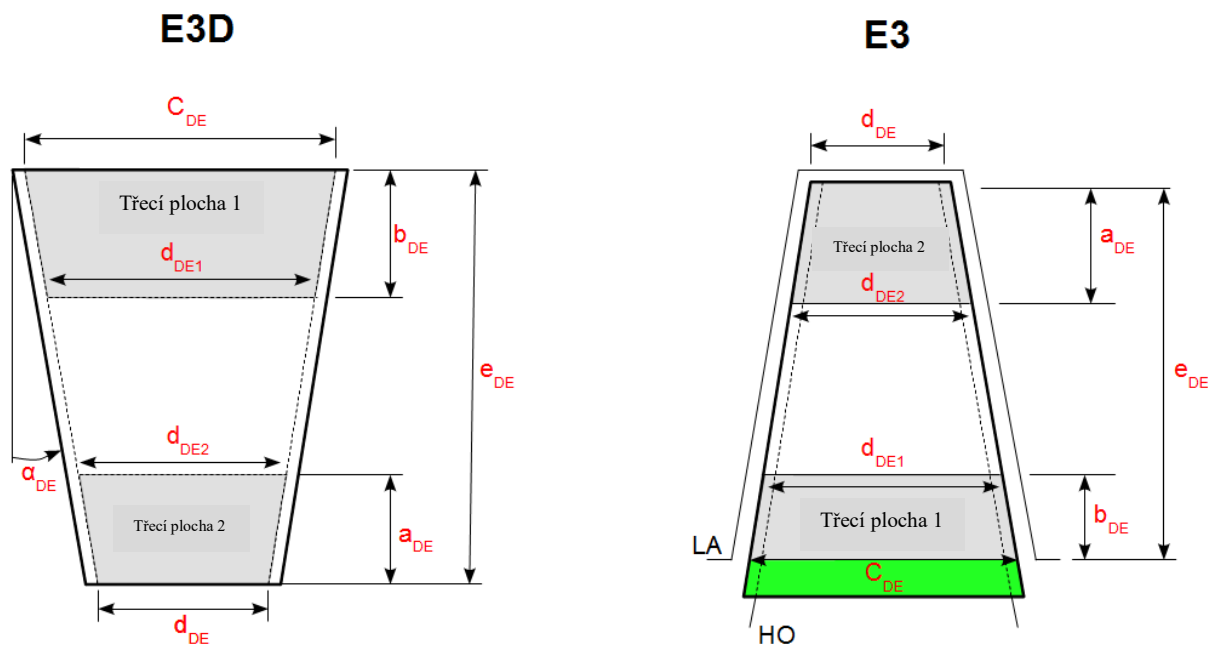
- a) Tření suché (bez maziva)
- b) Tření s tuhým mazivem
- c) Tření s kapalným nebo plastickým mazivem
- d) Tření s mezivrstvou plynu

## 5.2 Návrh metodiky měření tribologických vlastností

Měření bylo prováděno na speciálním tribometru. Jeho součástí je senzor pro měření třecího momentu. Signál ze senzoru je zobrazen na osciloskopu, ze kterého lze snadno odečíst velikost třecího momentu. Velikost koeficientu tření je dále závislá na velikosti třecí plochy a na velikosti přítláčné axiální síly. Velikost přítláčné síly lze změnit zatížením pomocí závaží o zvolené hmotnosti.

### Stanovení třecích ploch

Velikosti třecích ploch tlumícího členu v systémech napínání řemene E3 a E3d jsou zobrazeny na následujícím obrázku (Obr.49).



Obr.49 Velikosti třecích ploch tlumících členů.

$a_{DE}$  – výška třecí plochy 2

$b_{DE}$  – výška třecí plochy 1

$c_{DE}$  – maximální průměr tření

$d_{DE}$  – minimální průměr tření

$d_{DE1}$  – minimální průměr třecí plochy 1

$d_{DE2}$  – maximální průměr třecí plochy 2

$e_{DE}$  – celková výška

$\alpha_{DE}$  – úhel kónického povrchu

Parametry  $a_{DE}$ ,  $b_{DE}$ ,  $c_{DE}$  a  $e_{DE}$ , můžeme změřit. Úhel kónického povrchu  $\alpha_{DE} = 5^\circ$ . Minimální průměr tření lze vypočítat následujícím vztahem:

$$d_{DE} = c_{DE} - 2 \cdot \operatorname{tg}(\alpha_{DE}) \cdot e_{DE} \quad (11)$$

Vztah pro výpočet minimálního průměru třecí plochy 1:

$$d_{DE1} = c_{DE} - 2 \cdot \operatorname{tg}(\alpha_{DE}) \cdot b_{DE} \quad (12)$$



Vztah pro výpočet maximálního průměru třecí plochy 2:

$$d_{DE2} = c_{DE} - 2 \cdot \operatorname{tg}(\alpha_{DE}) \cdot (e_{DE} - a_{DE}) \quad (13)$$

Jsou použity pouze aktivní třecí povrchy. V případě systému E3 není zohledněná zelená část tlumicího členu (Obr.49). Tato část není v kontaktu s žádnou třecí dvojicí. Třecí plocha je složena ze dvou částí. Vliv drážek určených pro tuk není zohledněn.

Vztah pro výpočet velikosti plochy 1:

$$A_{DE1} = \pi \cdot \frac{c_{DE} + d_{DE1}}{2} \cdot \sqrt{b_{DE}^2 + \left(\frac{c_{DE} - d_{DE1}}{2}\right)^2} \quad (14)$$

Vztah pro výpočet velikosti plochy 2:

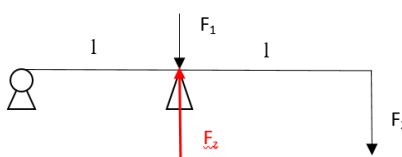
$$A_{DE2} = \pi \cdot \frac{d_{DE2} + d_{DE}}{2} \cdot \sqrt{a_{DE}^2 + \left(\frac{d_{DE2} - d_{DE}}{2}\right)^2} \quad (15)$$

Výsledná třecí plocha je určena součtem všech třecích ploch:

$$A_{DE} = A_{DE1} + A_{DE2} \quad (16)$$

### Výpočet axiální síly

Výpočet celkové axiální síly  $F_z$  je určen pomocí momentové rovnice. Schéma rozložení sil je určeno na následujícím obrázku (Obr.50). Axiální síla působící na tlumicí člen je umístěna v polovině ramene, na kterém je umístěno přídavné závaží



Obr.50 Axiální přitlačná síla.

$l$  – vzdálenost mezi silami [mm]

$F_1$  – síla vyvolaná váhou přípravku a váhou kovové spojky vyrovnávající  
prodloužení, při zatížení [N]

$F_2$  – síla vyvolaná přidáním zatížení [N]

$F_z$  – výsledná axiální síla [N]

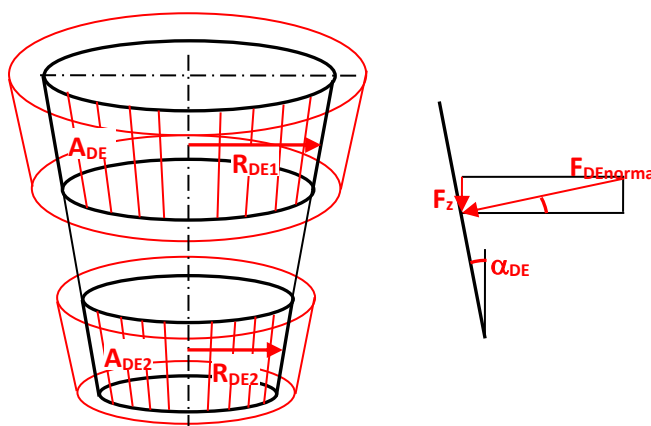
Výpočet axiální síly, pomocí momentové rovnice:

$$F_2 \cdot 2 \cdot l + F_1 \cdot l - F_z \cdot l = 0 \quad (16)$$

$$F_z = \frac{F_2 \cdot 2 \cdot l + F_1 \cdot l}{l} \quad (17)$$

$$F_z = 2 \cdot F_2 + F_1 \quad (18)$$

### Třecí moment



Obr.51 Rozložení třecího momentu.

$R_{DE1}$  – střední poloměr třecí plochy 1

$R_{DE2}$  – střední poloměr třecí plochy 2

Výsledná axiální síla je rozdělena mezi třecí plochy jako:

$$F_{DEz1} = F_z \frac{A_{DE1}}{A_{DE}} \quad (19)$$

$$F_{DEz2} = F_z \frac{A_{DE2}}{A_{DE}} \quad (20)$$

Třecí moment lze vypočítat následujícím vztahem:

$$M_T = \frac{F_{DEz1}}{\sin(\alpha_{DE})} \cdot R_{DE1} \cdot \mu + \frac{F_{DEz2}}{\sin(\alpha_{DE})} \cdot R_{DE2} \cdot \mu \quad (21)$$

Po dosažení vztahů, které byly uvedeny výše v textu, dostaneme upravenou rovnici pro výpočet třecího momentu:

$$M_T = F_z \cdot \mu \cdot \frac{(A_{DE1} \cdot (c_{DE} + d_{DE1}) + A_{DE2} \cdot (d_{DE2} + d_{DE}))}{4 \cdot A_{DE} \cdot \sin(\alpha_{DE})} \quad (22)$$

### Koeficient tření

Velikost třecího momentu  $M_T$ , axiální síly  $F_z$  a velikosti třecích ploch jsou nám známy. Ze vztahu pro výpočet třecího momentu (22) lze vytvořit vztah pro výpočet koeficientu tření. Pro určení velikosti třecího momentu  $M_T$  z osciloskopu, je nutná kalibrace senzoru. Kalibrace byla provedena puštěním tribometru zcela bez zatížení a následně puštěním s předem stanoveným zatížením momentového senzoru. Z naměřených hodnot bylo stanoveno, že třecí moment  $M_T$  o velikosti 1 N.m je na osciloskopu zobrazen rozdílem křivek o velikosti 434 mV.

Vztah pro výpočet koeficientu tření:

$$\mu = \frac{M_T}{F_z} \cdot \frac{4 \cdot A_{DE} \cdot \sin(\alpha_{DE})}{(A_{DE1} \cdot (c_{DE} + d_{DE1}) + A_{DE2} \cdot (d_{DE2} + d_{DE}))} \quad (23)$$

## 5.3 Měření tribologických vlastností vybraných kombinací materiálu

### 5.3.1 Měření vlivu použitého tuku

Testovaný tlumící člen byl vyroben z materiálu B (Tab.1). Tento tlumící člen je používán v napínacích řemene E3D. Vzorky jsou vyráběny vysokotlakým vstřikováním a mají stejnou velikost, odpovídající výrobní formě. Jsou porovnávány vzorky natřené tuky 1, 2, 3 a vzorek bez použití tuku. Množství použitého tuku pro měření odpovídá 1 gramu. Tuk byl na vzorek nanesen pomocí štetce. Axiální síla působící na vzorek  $F_z = 164 \text{ N}$ .

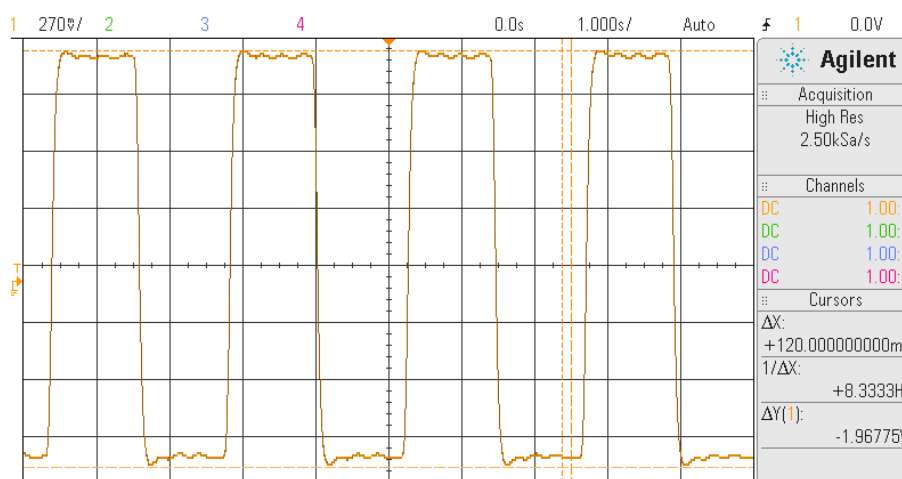
#### Vzorek bez použití tuku

Následující hodnoty jsou zaznamenány po uplynutí 1 minuty. Mezi měřeními docházelo k časové prodlevě 3 minuty, aby vzrůstající teplo způsobené třením neovlivnilo měření.

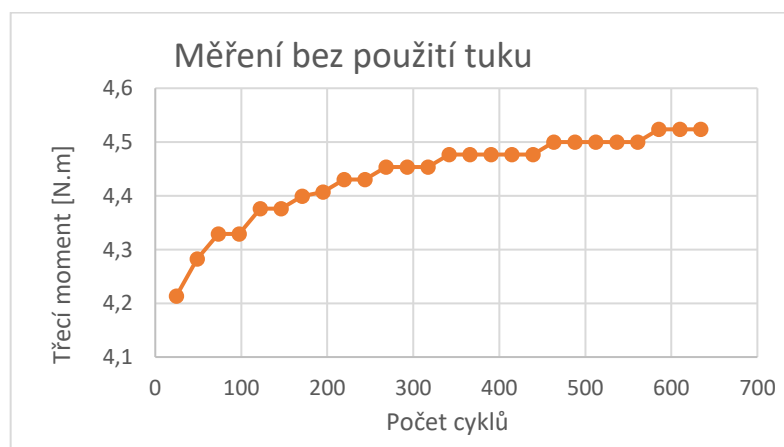
Tab.8 Měření bez použití tuku, při zatížení  $F_z = 164 \text{ N}$ .

Průběh měření				
Čas [min]	Počet cyklů	Výška amplitudy $\Delta Y$ [V]	Třecí moment $M_T$ [N.m]	$\mu$ koeficient tření
1	24	1,832	4,213	0,163
2	49	1,863	4,283	0,166
3	73	1,883	4,329	0,168
4	98	1,883	4,329	0,168
5	122	1,903	4,376	0,170
6	146	1,903	4,376	0,170
7	171	1,913	4,399	0,171
8	195	1,917	4,407	0,171
9	220	1,927	4,430	0,172
10	244	1,927	4,430	0,172
11	268	1,937	4,453	0,173
12	293	1,937	4,453	0,173
13	317	1,937	4,453	0,173
14	341	1,947	4,476	0,173

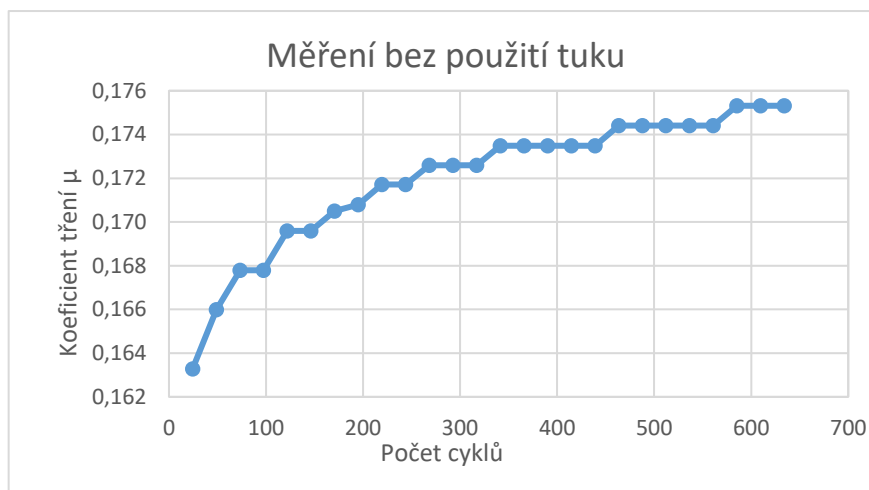
15	366	1,947	4,476	0,173
16	390	1,947	4,476	0,173
17	415	1,947	4,476	0,173
18	439	1,947	4,476	0,173
19	463	1,957	4,500	0,174
20	488	1,957	4,500	0,174
21	512	1,957	4,500	0,174
22	537	1,957	4,500	0,174
23	561	1,957	4,500	0,174
24	585	1,967	4,524	0,175
25	610	1,967	4,524	0,175
26	634	1,967	4,524	0,175



Obr.52 Záznam amplitudy z osciloskopu.



Graf 1 Závislost třecího momentu na počtu cyklů.



Graf 2 Závislost koeficientu tření na počtu cyklů.

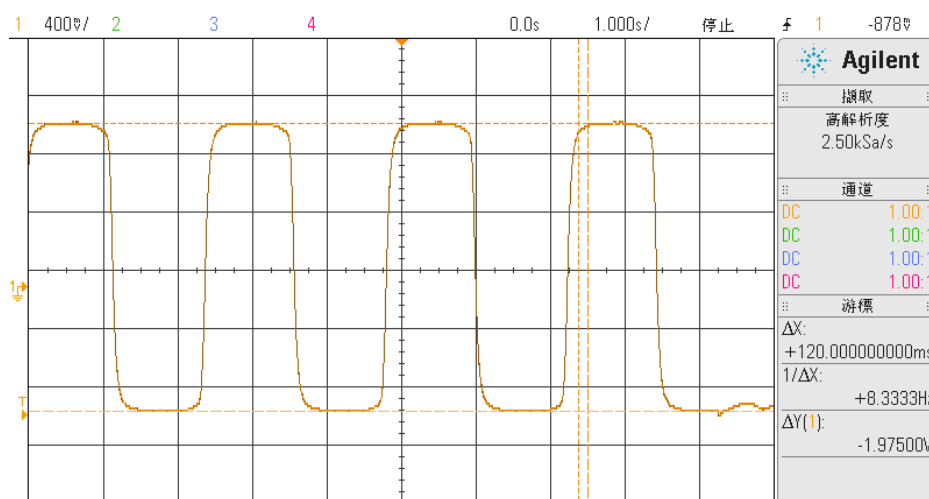
Z grafů (Graf 1, Graf 2) závislosti třecího momentu a koeficientu tření na počtu cyklů vyplývá, že třecí moment a koeficient tření po spuštění měření výrazně narůstá. Tento nárůst hodnot lze vysvětlit zatížením tlumícího členu a tím i jeho stlačením. Drsnost třecích ploch se zmenšuje a kontaktní plochy mezi třecími členy postupně narůstají.

Na stejném tlumícím členu byl dále proveden test, při kterém hodnoty intervalu měření odpovídají 20 minutám. Všechny parametry měření zůstaly stejné. Tento test probíhal bez přestávek. Hodnoty jsou zobrazeny v Tab.9.

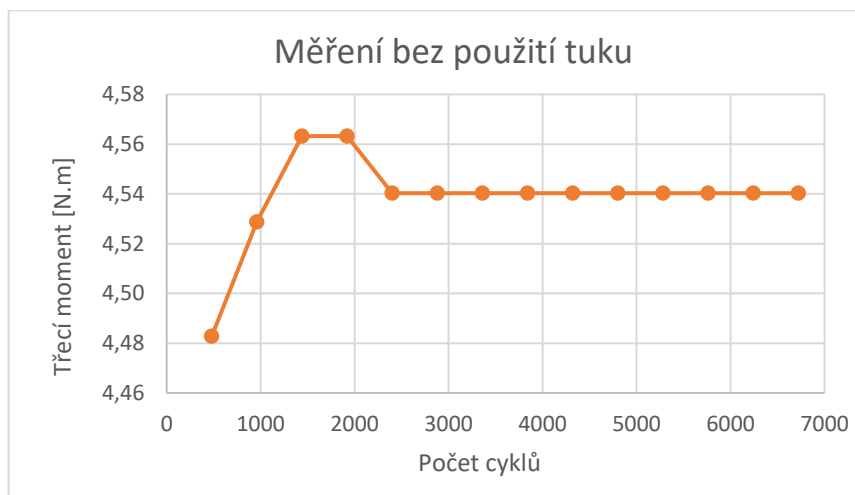
Tab.9 Měření bez použití tuku, při zatížení  $F_z = 164 \text{ N}$ . (Dělsí interval měření)

Průběh měření				
Čas [min]	Počet cyklů	Výška amplitudy $\Delta Y$ [V]	Třecí moment [N.m]	$\mu$ koeficient tření
20	480	1,95	4,483	0,174
40	960	1,97	4,529	0,176
60	1440	1,985	4,563	0,177
80	1920	1,985	4,563	0,177
100	2400	1,975	4,540	0,176
120	2880	1,975	4,540	0,176
140	3360	1,975	4,540	0,176
160	3840	1,975	4,540	0,176

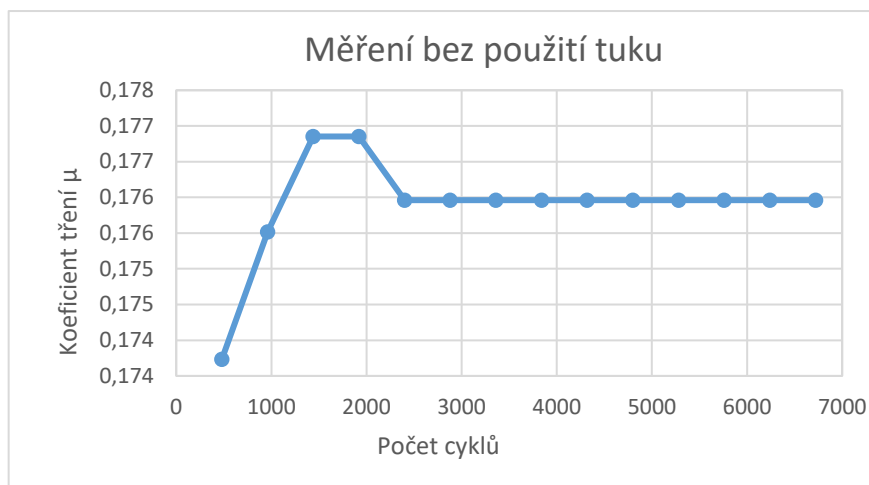
180	4320	1,975	4,540	0,176
200	4800	1,975	4,540	0,176
220	5280	1,975	4,540	0,176
240	5760	1,975	4,540	0,176
260	6240	1,975	4,540	0,176
280	6720	1,975	4,540	0,176



Obr.53 Záznam amplitudy z osciloskopu.



Graf 3 Závislost třecího momentu na počtu cyklů.



**Graf 4** Závislost koeficientu tření na počtu cyklů.

Z grafů (Graf 3, Graf 4) je patrné, že dochází k nárůstu hodnot do 1440 provedených cyklů. Následně dochází k ustálení měřených hodnot a jejich mírnému poklesu při 2400 cyklech. Tento pokles je zapříčiněn opotřebením třecích ploch na tlumícím členu. Dále hodnoty zůstávají konstantní. Velikost třecího momentu  $M_T = 4,54$  N.m. Velikost koeficientu tření  $\mu = 0,176$ . Při testu nebyl zaznamenán žádný nežádoucí zvuk. Záznam z osciloskopu (Obr.53) je pravidelný, křivka nebyla zdeformována.

### Vzorek natřený tukem 1

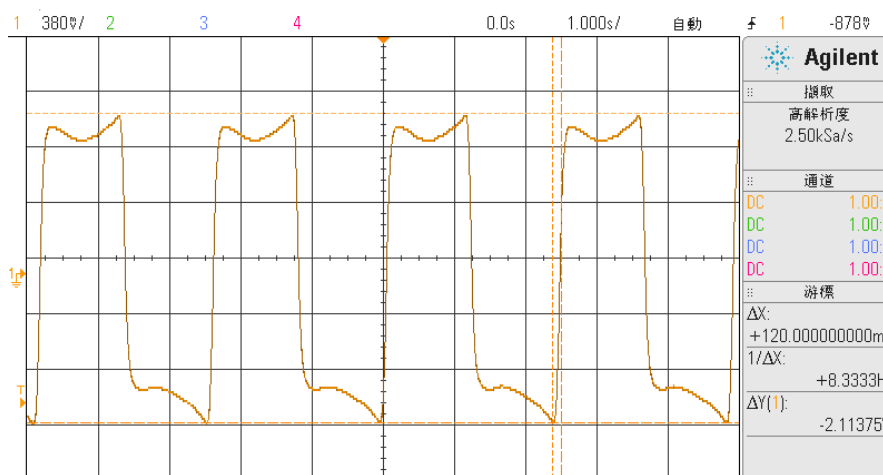
Následující hodnoty jsou zaznamenány po uplynutí 1 minuty. Mezi měřeními docházelo k časové prodlevě 3 minuty, aby vzrůstající teplo způsobené třením neovlivnilo měření. Množství naneseného tuku  $m_T = 1,005$  g.

Tab.10 Měření při nanesení tuku 1, při zatížení  $F_z = 164$  N.

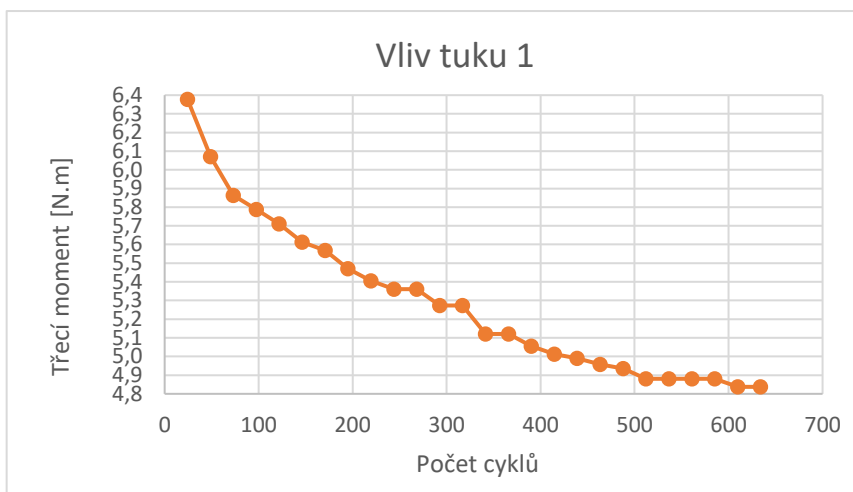
Průběh měření				
Čas [min]	Počet cyklů	Výška amplitudy $\Delta Y$ [V]	Třecí moment [N.m]	$\mu$ koeficient tření
1	24	2,774	6,377	0,247
2	49	2,641	6,071	0,235
3	73	2,550	5,864	0,227
4	98	2,517	5,787	0,224



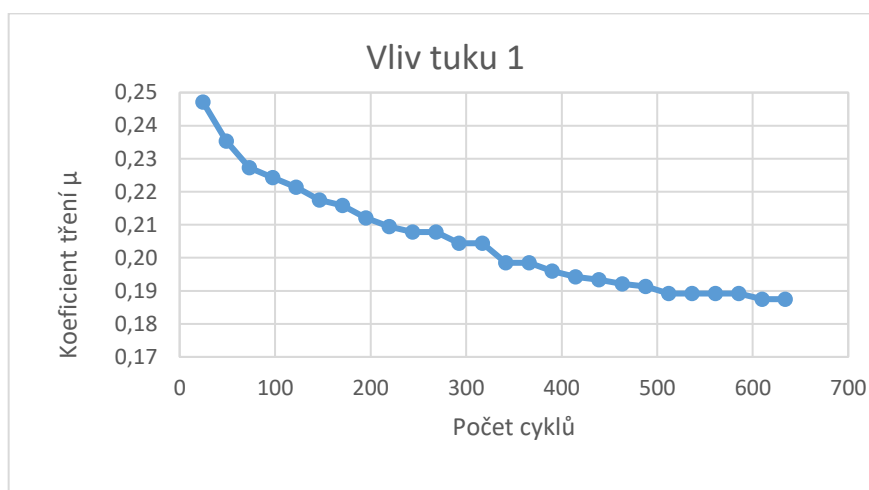
5	122	2,484	5,711	0,221
6	146	2,441	5,613	0,218
7	171	2,422	5,569	0,216
8	195	2,379	5,471	0,212
9	220	2,351	5,405	0,209
10	244	2,332	5,361	0,208
11	268	2,332	5,361	0,208
12	293	2,294	5,274	0,204
13	317	2,294	5,274	0,204
14	341	2,227	5,121	0,198
15	366	2,227	5,121	0,198
16	390	2,199	5,056	0,196
17	415	2,180	5,012	0,194
18	439	2,170	4,990	0,193
19	463	2,156	4,957	0,192
20	488	2,147	4,936	0,191
21	512	2,123	4,881	0,189
22	537	2,123	4,881	0,189
23	561	2,123	4,881	0,189
24	585	2,123	4,881	0,189
25	610	2,104	4,837	0,187
26	634	2,104	4,837	0,187



Obr.54 Záznam amplitudy z osciloskopu.



**Graf 5** Závislost třecího momentu na počtu cyklů.



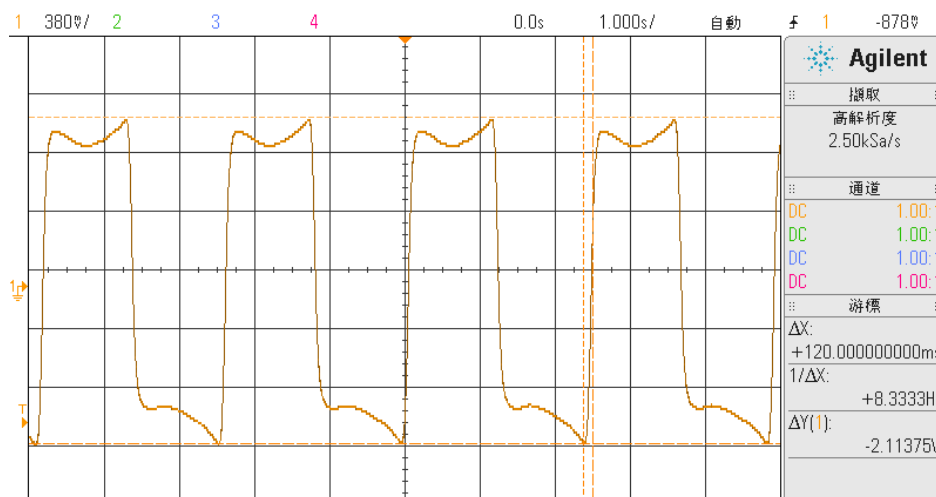
**Graf 6** Závislost koeficientu tření na počtu cyklů.

Z grafů (Graf 5, Graf 6) závislosti třecího momentu a koeficientu tření na počtu cyklů vyplývá, že třecí moment a koeficient tření po spuštění měření postupně klesá. Tento pokles hodnot, lze vysvětlit postupným rozložením tuku v oblastech třecích ploch.

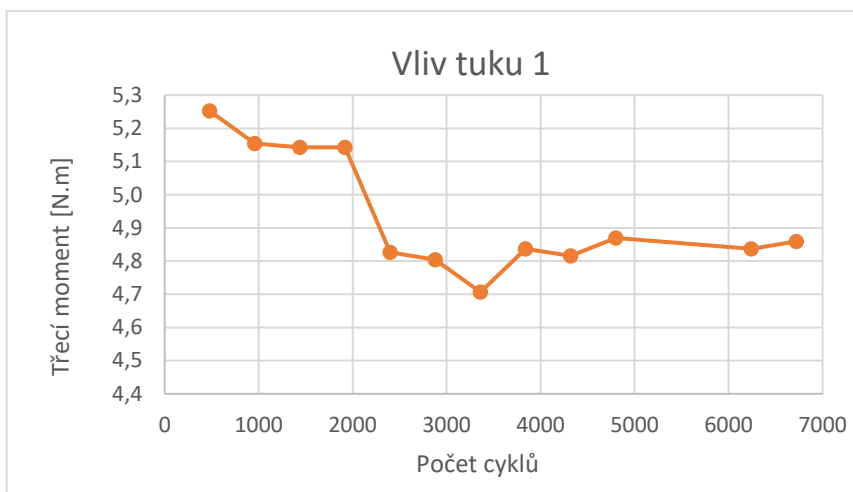
Na stejném tlumícím členu byl dále proveden test, při kterém hodnoty intervalu měření odpovídají 20 minutám. Všechny parametry měření zůstaly stejné. Tento test probíhal bez přestávek. Hodnoty jsou zobrazeny v Tab.11.

Tab.11 Měření při nanesení tuku 1, při zatížení  $F_z = 164 \text{ N}$ . (Delší interval měření)

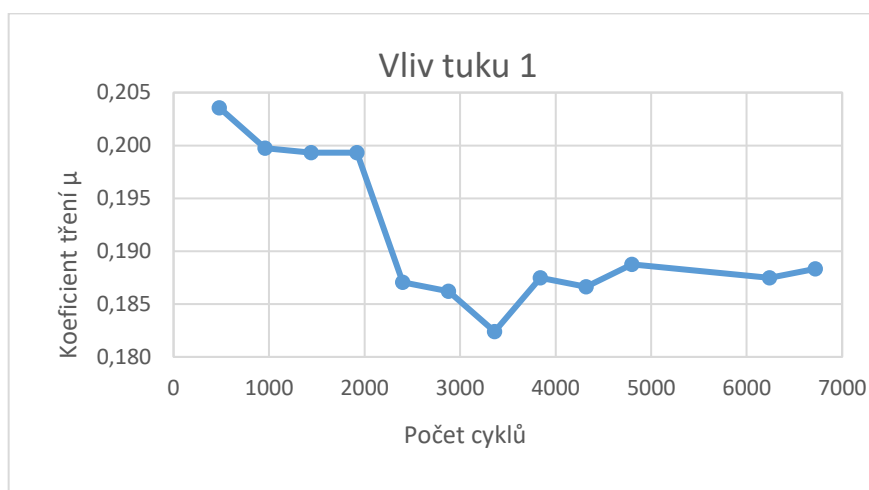
Průběh měření				
Čas [min]	Počet cyklů	Výška amplitudy $\Delta Y$ [V]	Třecí moment [N.m]	$\mu$ koeficient tření
20	480	2,284	5,252	0,204
40	960	2,242	5,154	0,200
60	1440	2,237	5,143	0,199
80	1920	2,237	5,143	0,199
100	2400	2,099	4,826	0,187
120	2880	2,090	4,805	0,186
140	3360	2,047	4,706	0,182
160	3840	2,104	4,837	0,187
180	4320	2,094	4,816	0,187
200	4800	2,118	4,870	0,189
260	6240	2,104	4,837	0,187
280	6720	2,11375	4,859	0,188



Obr.55 Záznam amplitudy z osciloskopu.



*Graf 7 Závislost třecího momentu na počtu cyklů.*



*Graf 8 Závislost koeficientu tření na počtu cyklů.*

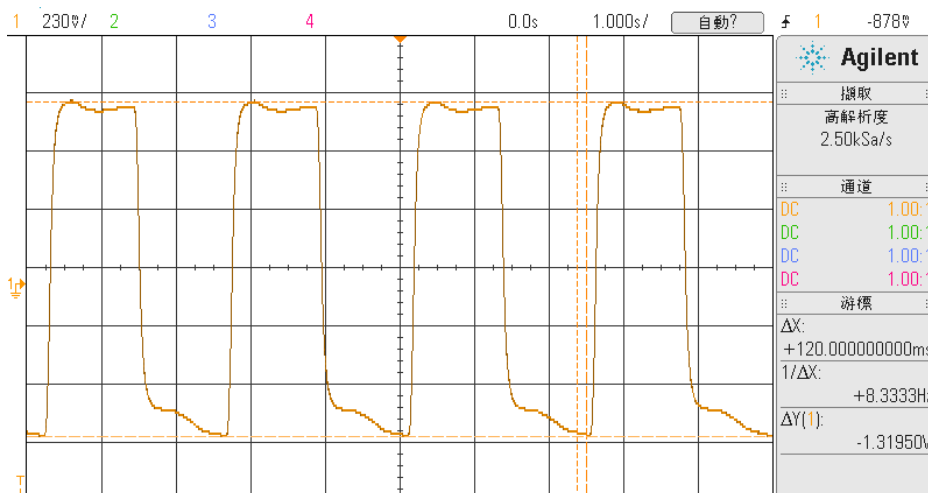
Klesající tendence naměřených hodnot trvala až do 3360 cyklů. Po mírném nárůstu zůstaly hodnoty třecího momentu ustáleny v rozmezí 4,83 až 4,86 N.m. Koeficient tření zůstal ustálen v rozmezí 0,187 až 0,188. Rozptyl hodnot zapříčinil nanesený tuk. Při testu nebyl zaznamenán žádný nežádoucí zvuk. Záznam z osciloskopu (Obr.55) ukazuje vliv naneseného tuku na měřený vzorek. Je rozdílný oproti záznamu při měření bez tuku.

### **Vzorek natřený tukem 2**

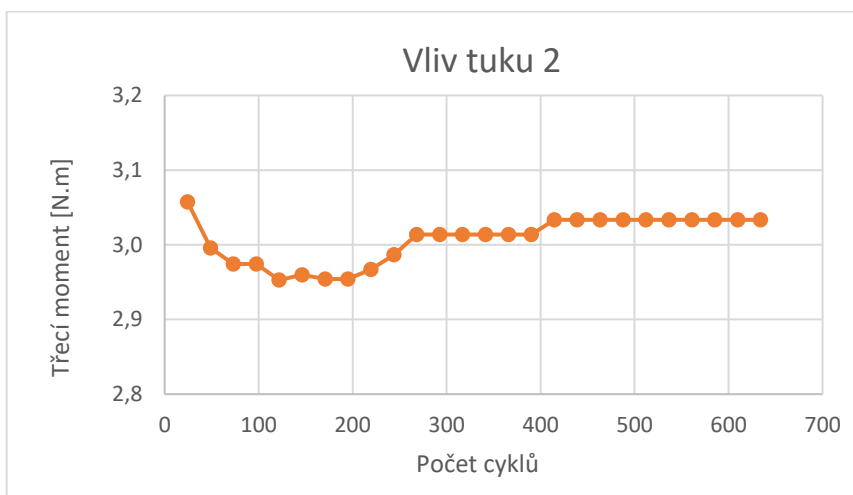
Následující hodnoty jsou zaznamenány po uplynutí 1 minuty. Mezi měřeními docházelo k časové prodlevě 3 minuty, aby vzrůstající teplo způsobené třením neovlivnilo měření. Množství naneseného tuku  $m_T = 1,003$  g.

Tab.12 Měření při nanesení tuku 2, při zatížení  $F_z = 164 \text{ N}$ .

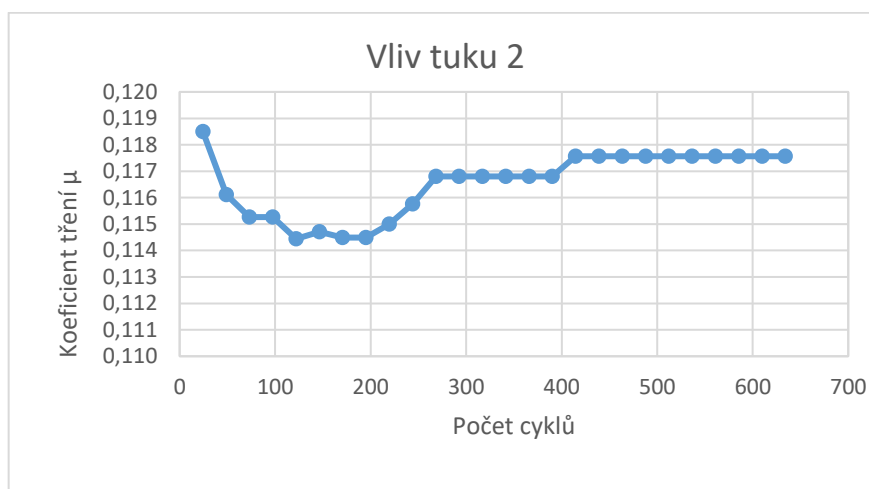
<b>Průběh měření</b>				
<b>Čas [min]</b>	<b>Počet cyklů</b>	<b>Výška amplitudy <math>\Delta Y</math> [V]</b>	<b>Třecí moment [N.m]</b>	<b><math>\mu</math> koeficient tření</b>
1	24	1,330	3,057	0,118
2	49	1,303	2,996	0,116
3	73	1,293	2,974	0,115
4	98	1,293	2,974	0,115
5	122	1,284	2,953	0,114
6	146	1,287	2,960	0,115
7	171	1,285	2,954	0,114
8	195	1,285	2,954	0,114
9	220	1,290	2,967	0,115
10	244	1,299	2,987	0,116
11	268	1,311	3,014	0,117
12	293	1,311	3,014	0,117
13	317	1,311	3,014	0,117
14	341	1,311	3,014	0,117
15	366	1,311	3,014	0,117
16	390	1,311	3,014	0,117
17	415	1,319	3,033	0,118
18	439	1,319	3,033	0,118
19	463	1,319	3,033	0,118
20	488	1,319	3,033	0,118
21	512	1,319	3,033	0,118
22	537	1,319	3,033	0,118
23	561	1,319	3,033	0,118
24	585	1,319	3,033	0,118
25	610	1,319	3,033	0,118
26	634	1,319	3,033	0,118



Obr.56 Záznam amplitudy z osciloskopu.



Graf 9 Závislost třecího momentu na počtu cyklů.



Graf 10 Závislost koeficientu tření na počtu cyklů.

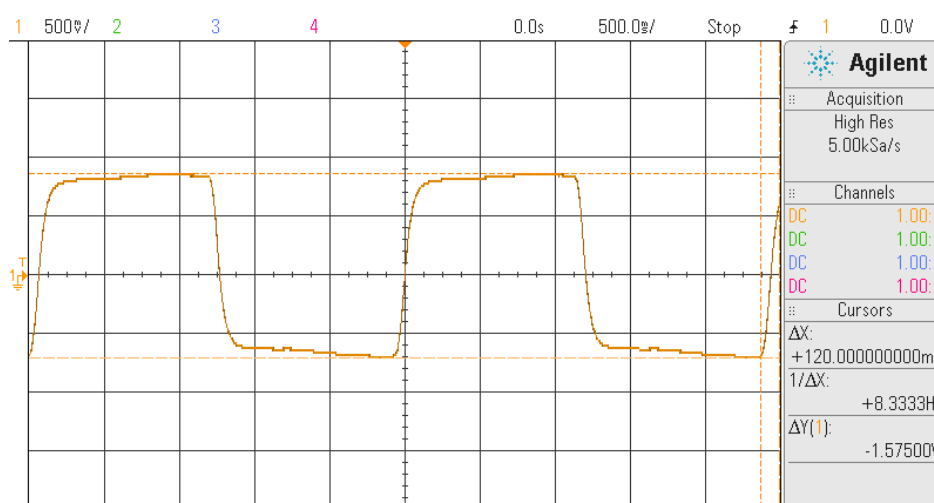
Při použití tuku 2 byl ze začátku zaznamenán menší pokles naměřených hodnot. Při 200 cyklech se tendence obrátila a hodnoty začaly postupně vzrůstat, až se ustálily. Velikost třecího momentu  $M_T = 3,033$  N. m. Velikost koeficientu tření  $\mu = 0,118$ .

Na stejném tlumícím členu byl dále proveden test, při kterém hodnoty intervalu měření odpovídají 20 minutám. Všechny parametry měření zůstaly stejné. Tento test probíhal bez přestávek. Hodnoty jsou zobrazeny v Tab.13.

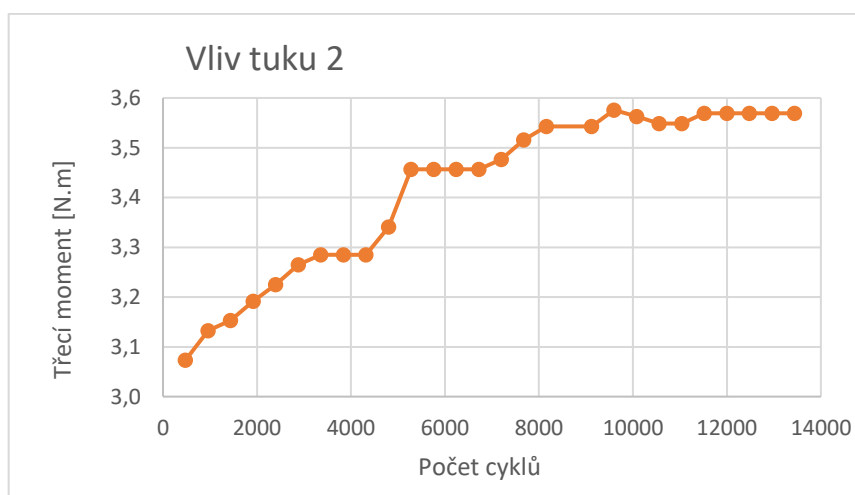
Tab.13 Měření při nanesení tuku 2, při zatížení  $F_z = 164$  N. (Delší interval měření)

<b>Průběh měření</b>				
<b>Čas [min]</b>	<b>Počet cyklů</b>	<b>Výška amplitudy <math>\Delta Y</math> [V]</b>	<b>Třecí moment [N.m]</b>	<b><math>\mu</math> koeficient tření</b>
20	480	1,337	3,074	0,119
40	960	1,362	3,133	0,121
60	1440	1,371	3,153	0,122
80	1920	1,388	3,192	0,124
100	2400	1,403	3,225	0,125
120	2880	1,420	3,265	0,127
140	3360	1,429	3,285	0,127
160	3840	1,429	3,285	0,127
180	4320	1,429	3,285	0,127
200	4800	1,453	3,341	0,129
220	5280	1,503	3,457	0,134
240	5760	1,503	3,457	0,134
260	6240	1,503	3,457	0,134
280	6720	1,503	3,457	0,134
300	7200	1,512	3,476	0,135
320	7680	1,529	3,516	0,136
340	8160	1,541	3,543	0,137
360	8640	1,506	3,463	0,134
380	9120	1,541	3,543	0,137
400	9600	1,555	3,576	0,139

420	10080	1,549	3,563	0,138
440	10560	1,543	3,549	0,138
460	11040	1,543	3,549	0,138
480	11520	1,552	3,569	0,138
500	12000	1,552	3,569	0,138
520	12480	1,552	3,569	0,138
540	12960	1,552	3,569	0,138
560	13440	1,552	3,569	0,138

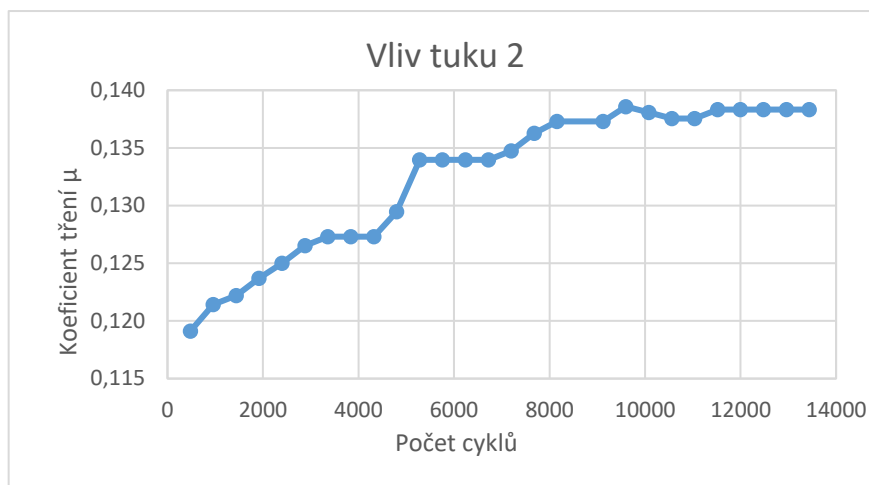


Obr.57 Záznam amplitudy z osciloskopu.



Graf 11 Závislost třecího momentu na počtu cyklů.





**Graf 12** Závislost koeficientu tření na počtu cyklů.

Z grafů (Graf 11, Graf 12) je patrné, že dochází k nárůstu hodnot do 9600 provedených cyklů. Dále hodnoty zůstávají konstantní. Velikost třecího momentu  $M_T = 3,569$  N. m. Velikost koeficientu tření  $\mu = 0,138$ . Při testu nebyl zaznamenán žádný nežádoucí zvuk. Záznam z osciloskopu (Obr.57) je pravidelný, křivka byla zdeformována méně než za použití tuku 1.

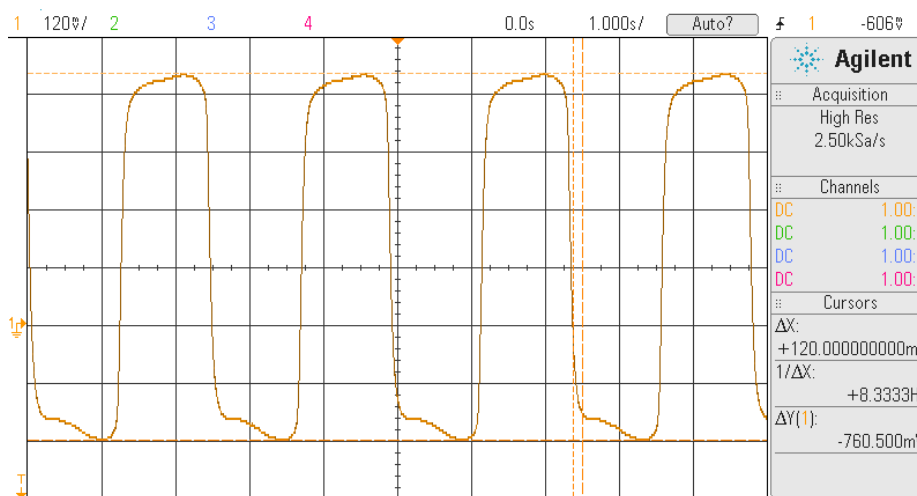
### Vzorek natřený tukem 3

Následující hodnoty jsou zaznamenány po uplynutí 1 minuty. Mezi měřeními docházelo k časové prodlevě 3 minuty, aby vzrůstající teplo způsobené třením neovlivnilo měření. Množství naneseného tuku  $m_T = 1,003$  g.

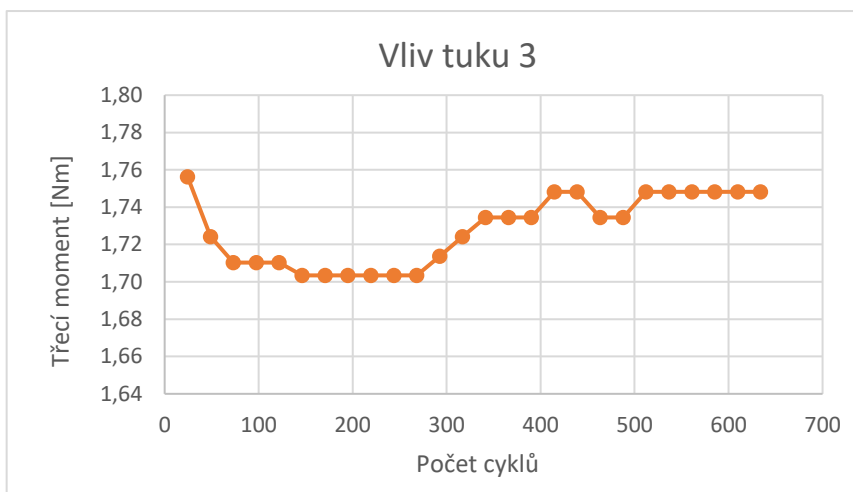
Tab.14 Měření při nanesení tuku 3, při zatížení  $F_z = 164$  N.

Průběh měření				
Čas [min]	Počet cyklů	Výška amplitudy $\Delta Y$ [V]	Třecí moment [N.m]	$\mu$ koeficient tření
1	24	0,764	1,756	0,068
2	49	0,75	1,724	0,067
3	73	0,744	1,710	0,066
4	98	0,744	1,710	0,066
5	122	0,744	1,710	0,066
6	146	0,741	1,703	0,066

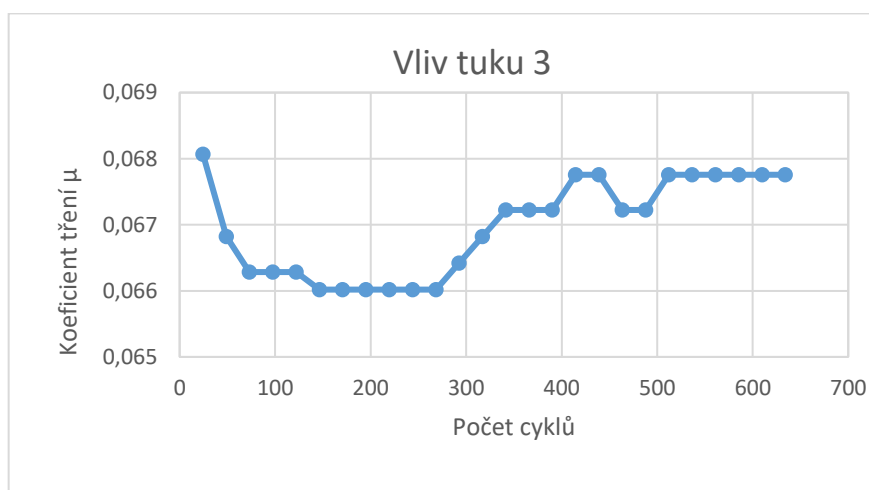
7	171	0,741	1,703	0,066
8	195	0,741	1,703	0,066
9	220	0,741	1,703	0,066
10	244	0,741	1,703	0,066
11	268	0,741	1,703	0,066
12	293	0,745	1,714	0,066
13	317	0,750	1,724	0,067
14	341	0,754	1,734	0,067
15	366	0,754	1,734	0,067
16	390	0,754	1,734	0,067
17	415	0,760	1,748	0,068
18	439	0,760	1,748	0,068
19	463	0,754	1,734	0,067
20	488	0,7545	1,734	0,067
21	512	0,760	1,748	0,068
22	537	0,760	1,748	0,068
23	561	0,760	1,748	0,068
24	585	0,760	1,748	0,068
25	610	0,760	1,748	0,068
26	634	0,760	1,748	0,068



Obr.58 Záznam amplitudy z osciloskopu.



**Graf 13** Závislost třecího momentu na počtu cyklů.



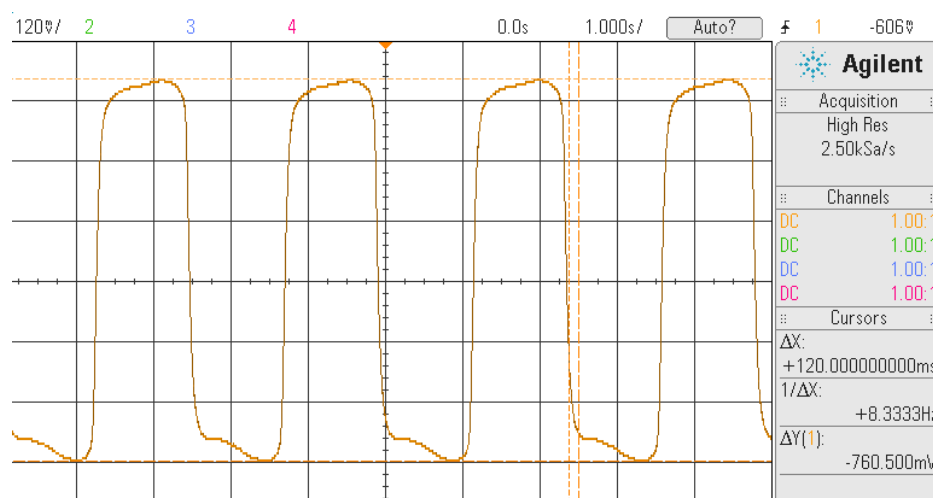
**Graf 14** Závislost koeficientu tření na počtu cyklů.

Při použití tuku 3 byl ze začátku zaznamenán menší pokles naměřených hodnot. Při 268 cyklech se tendence obrátila a hodnoty začaly postupně vzrůstat, až se ustálily. Velikost třecího momentu  $M_T = 1,748 \text{ N.m}$ . Velikost koeficientu tření  $\mu = 0,068$ . Naměřené hodnoty se pohybovaly ve velmi malém intervalu.

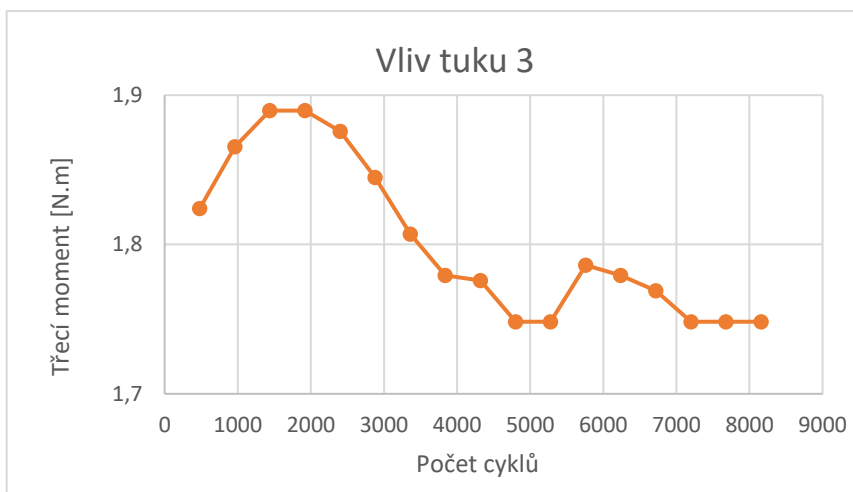
Na stejném tlumícím členu byl dále proveden test, při kterém hodnoty intervalu měření odpovídají 20 minutám. Všechny parametry měření zůstaly stejné. Tento test probíhal bez přestávek. Hodnoty jsou zobrazeny v Tab.15.

Tab.15 Měření při nanesení tuku 3, při zatížení  $F_z = 164 \text{ N}$ . (Delší interval měření)

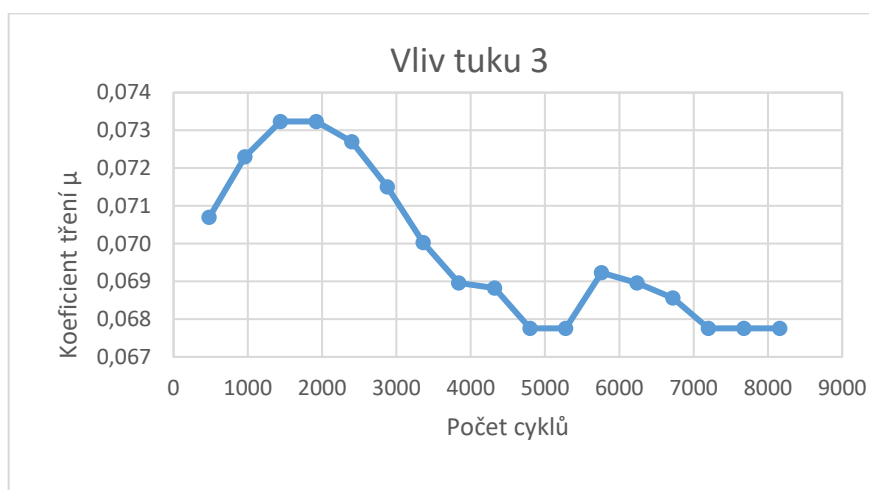
Průběh měření				
Čas [min]	Počet cyklů	Výška amplitudy $\Delta Y$ [V]	Třecí moment [N.m]	$\mu$ koeficient tření
20	480	0,793	1,824	0,071
40	960	0,811	1,866	0,072
60	1440	0,822	1,890	0,073
80	1920	0,822	1,890	0,073
100	2400	0,816	1,876	0,073
120	2880	0,802	1,845	0,071
140	3360	0,786	1,807	0,070
160	3840	0,774	1,779	0,069
180	4320	0,772	1,776	0,069
200	4800	0,760	1,748	0,068
220	5280	0,760	1,748	0,068
240	5760	0,777	1,786	0,069
260	6240	0,774	1,779	0,069
280	6720	0,769	1,769	0,069
300	7200	0,760	1,748	0,068
320	7680	0,760	1,748	0,068
340	8160	0,760	1,748	0,068



Obr.59 Záznam amplitudy z osciloskopu.



**Graf 15** Závislost třecího momentu na počtu cyklů.

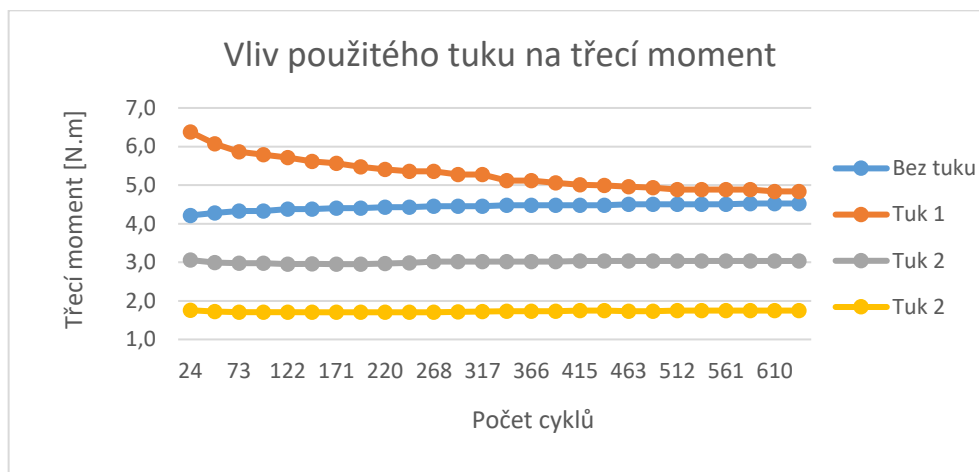


**Graf 16** Závislost koeficientu tření na počtu cyklů.

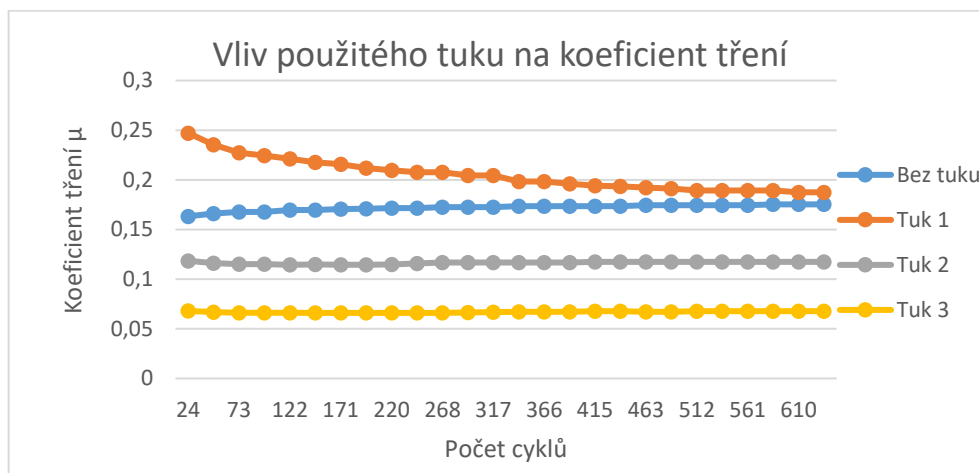
Z grafů (Graf 15, Graf 16) je patrné, že dochází k nárůstu hodnot do 1440 provedených cyklů. Dále hodnoty klesají vlivem rozložení tuku na tlumícím členu. Klesání hodnot trvalo do 4800 provedených cyklů. Naměřené hodnoty zůstaly ustáleny po 7200 cyklech. Velikost třecího momentu  $M_T = 1,748 \text{ N.m}$ . Velikost koeficientu tření  $\mu = 0,068$ . Při testu nebyl zaznamenán žádný nežádoucí zvuk. Záznam z osciloskopu (Obr.59) je pravidelný, křivka byla zdeformována méně než za použití tuku 1 a 2. Rozptyl naměřených hodnot byl velmi malý.

## Porovnání výsledků

Z výsledků měření vyplývá, že různé druhy použitého tuku výrazně ovlivňují třecí děj. Následující grafy (Graf 17, Graf 18, Graf 19, Graf 20) zobrazují porovnání měření bez použití tuku a měření s použitím jednotlivých tuků.

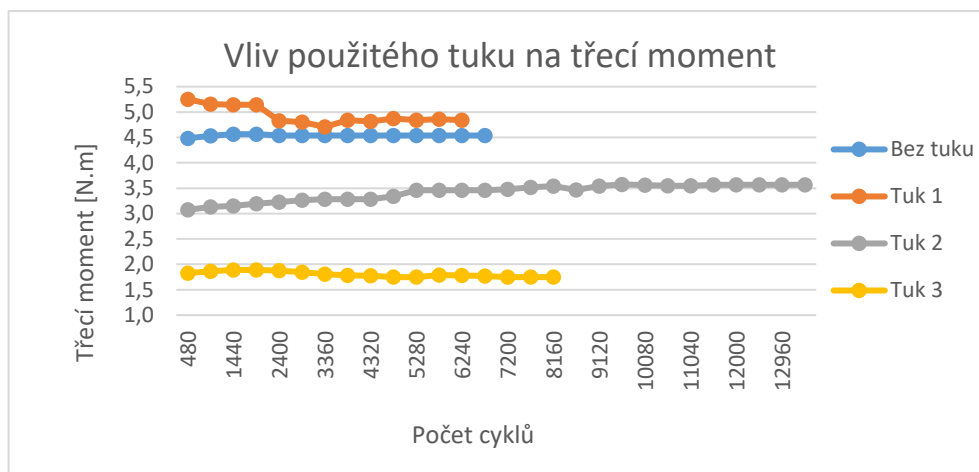


Graf 17 Porovnání závislosti třecího momentu na počtu cyklů.

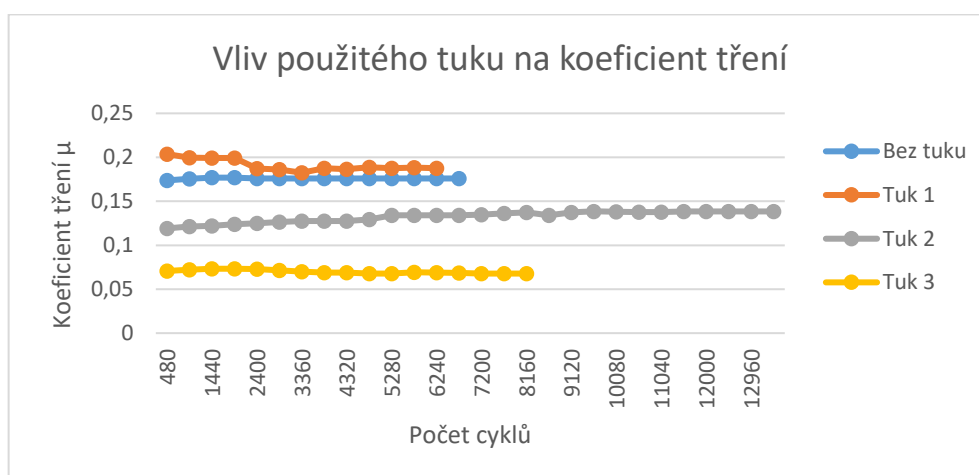


Graf 18 Porovnání závislosti koeficientu tření na počtu cyklů.

Při použití tuku 1, byly naměřené hodnoty vyšší než bez použití tuku. Použitím tuku 2 došlo ke snížení naměřených hodnot, než bez použití tuku. Tuk 3 tyto hodnoty snížil ještě více, než při použití tuku 2.



**Graf 19** Porovnání závislosti třecího momentu na počtu cyklů.



**Graf 20** Porovnání závislosti koeficientu tření na počtu cyklů.

Výsledné koeficienty tření a velikosti třecích momentů jsou zobrazeny v následující tabulce (Tab.16).

*Tab.16* Porovnání naměřených výsledků.

Vzorek	Bez tuku	Tuk 1	Tuk 2	Tuk 3
Třecí moment [N.m]	4,540	4,837	3,569	1,748
Koeficient tření $\mu$	0,175	0,187	0,138	0,068

Ustálení naměřených hodnot došlo nejprve na vzorku bez použití tuku při 2 400 cyklech. Vzorek opatřený tukem 1 zůstal ustálen při 3 840 cyklech. Vzorek opatřený tukem 3 zůstal ustálen

při 7 200 cyklech. Jako poslední zůstaly ustáleny hodnoty vzorku opatřeného tukem 2, a to při 11 520 cyklech.

### 5.3.2 Měření vlivu zvýšeného zatížení

Při tomto měření došlo k navýšení působící axiální síly  $F_z$  ze 164 N na 324 N. Testovaný tlumící člen byl vyroben z materiálu B (Tab.1). Tento tlumící člen je používán v napínacích řemene E3D. Vzorky jsou vyráběny vysokotlakým vstřikováním a mají stejnou velikost, odpovídající výrobní formě. Jsou porovnávány vzorky natřené tuky 1, 2, 3 a vzorek bez použití tuku. Množství použitého tuku pro měření odpovídá 1 gramu. Tuk byl na vzorek nanesen pomocí štětce.

#### Vzorek bez použití tuku

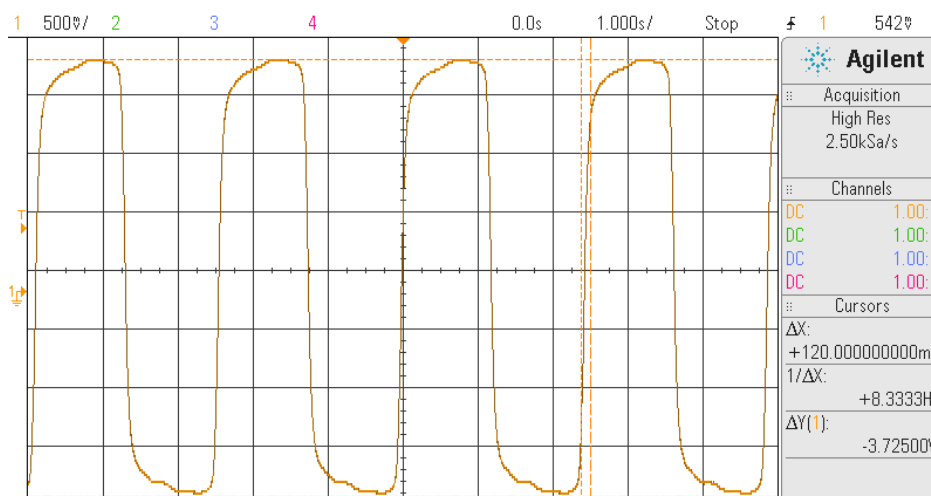
Následující hodnoty jsou zaznamenány po uplynutí 1 minuty. Mezi měřeními docházelo k časové prodlevě 3 minuty, aby vzrůstající teplo způsobené třením neovlivnilo měření.

Tab.17 Měření bez použití tuku, při zatížení  $F_z = 324$  N.

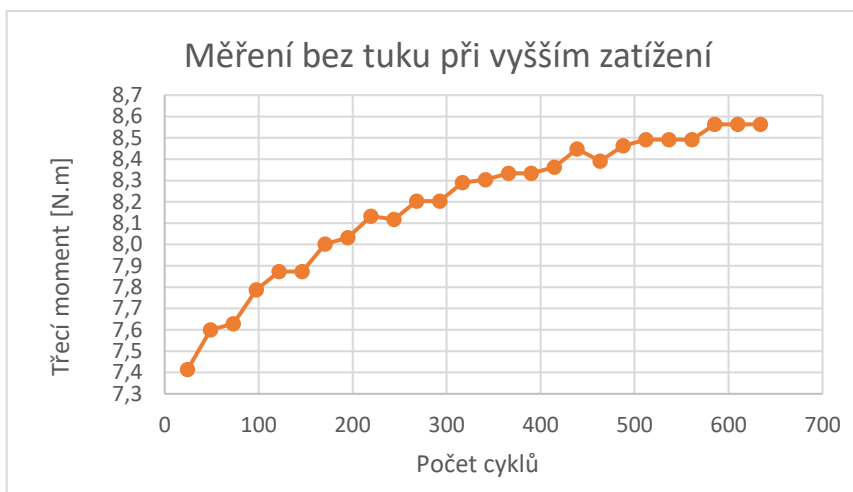
Průběh měření				
Čas [min]	Počet cyklů	Výška amplitudy $\Delta Y$ [V]	Třecí moment [N.m]	$\mu$ koeficient tření
1	24	3,225	7,414	0,145
2	49	3,306	7,601	0,149
3	73	3,318	7,629	0,150
4	98	3,387	7,787	0,153
5	122	3,425	7,874	0,154
6	146	3,425	7,874	0,154
7	171	3,481	8,003	0,157
8	195	3,493	8,032	0,158
9	220	3,537	8,132	0,160
10	244	3,531	8,118	0,159
11	268	3,568	8,204	0,161
12	293	3,568	8,204	0,161



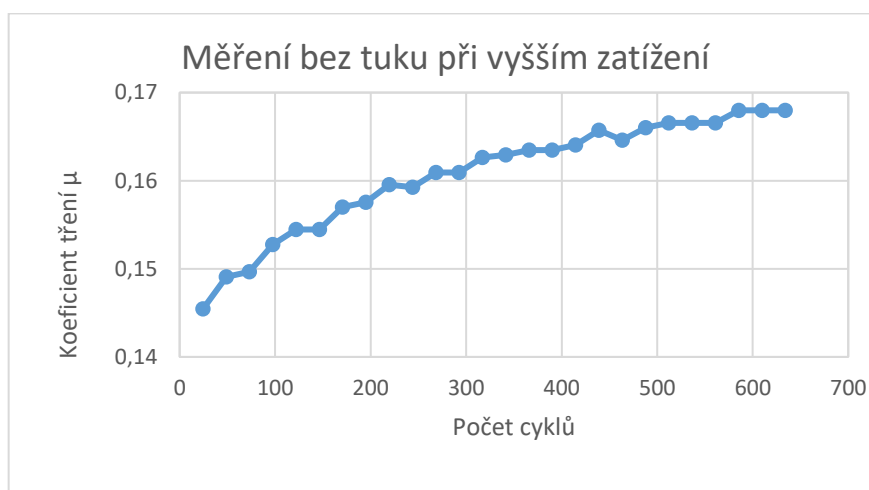
13	317	3,606	8,290	0,163
14	341	3,612	8,305	0,163
15	366	3,625	8,333	0,163
16	390	3,625	8,333	0,163
17	415	3,637	8,362	0,164
18	439	3,675	8,448	0,166
19	463	3,650	8,391	0,165
20	488	3,681	8,463	0,166
21	512	3,693	8,491	0,167
22	537	3,693	8,491	0,167
23	561	3,693	8,491	0,167
24	585	3,725	8,563	0,168
25	610	3,725	8,563	0,168
26	634	3,725	8,563	0,168



Obr.60 Záznam amplitudy z osciloskopu.



**Graf 21** Závislost třecího momentu na počtu cyklů.



**Graf 22** Závislost koeficientu tření na počtu cyklů.

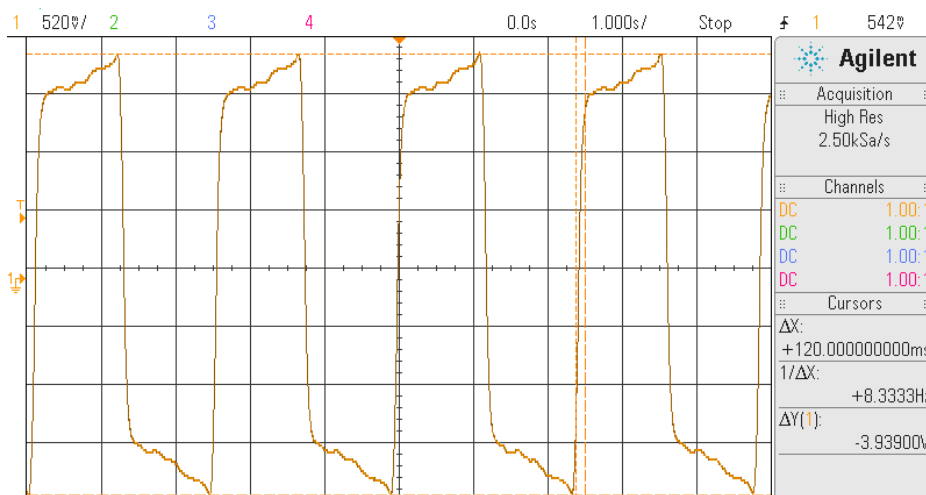
Z grafů (Graf 21, Graf 22) závislosti třecího momentu a koeficientu tření na počtu cyklů vyplývá, že třecí moment a koeficient tření po spuštění měření výrazně narůstá. Tendence růstu hodnot odpovídá předešlému měření s použitím menší axiální síly

Na stejném tlumícím členu byl dále proveden test, při kterém hodnoty intervalu měření odpovídají 20 minutám. Všechny parametry měření zůstaly stejné. Tento test probíhal bez přestávek. Hodnoty jsou zobrazeny v Tab.18.

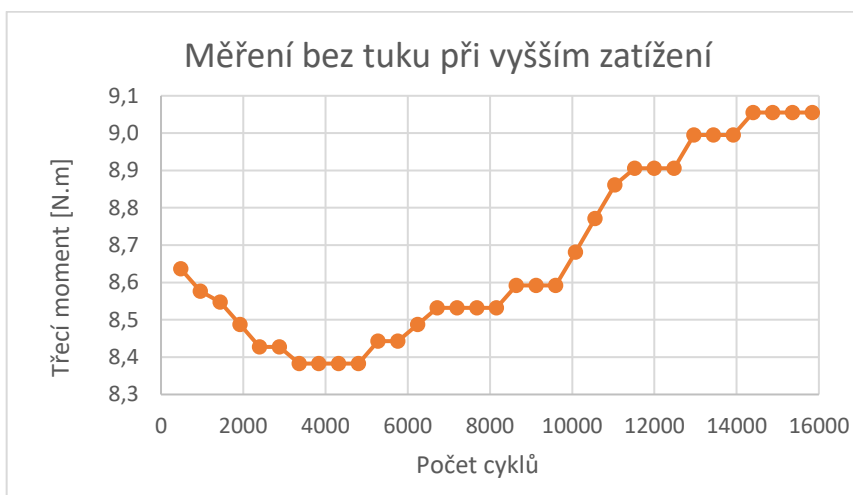
Tab.18 Měření bez použití tuku, při zatížení  $F_z = 324 \text{ N}$ . (Delší interval měření)

<b>Průběh měření</b>				
<b>Čas [min]</b>	<b>Počet cyklů</b>	<b>Výška amplitudy <math>\Delta Y</math> [V]</b>	<b>Třecí moment [N.m]</b>	<b><math>\mu</math> koeficient tření</b>
20	480	3,757	8,637	0,169
40	960	3,731	8,577	0,168
60	1440	3,718	8,547	0,168
80	1920	3,692	8,487	0,166
100	2400	3,666	8,428	0,165
120	2880	3,666	8,428	0,165
140	3360	3,646	8,383	0,164
160	3840	3,646	8,383	0,164
180	4320	3,646	8,383	0,164
200	4800	3,646	8,383	0,164
220	5280	3,672	8,443	0,166
240	5760	3,672	8,443	0,166
260	6240	3,692	8,487	0,166
280	6720	3,711	8,532	0,167
300	7200	3,711	8,532	0,167
320	7680	3,711	8,532	0,167
340	8160	3,711	8,532	0,167
360	8640	3,737	8,592	0,169
380	9120	3,737	8,592	0,169
400	9600	3,737	8,592	0,169
420	10080	3,776	8,682	0,170
440	10560	3,815	8,771	0,172
460	11040	3,854	8,861	0,174
480	11520	3,874	8,906	0,175
500	12000	3,874	8,906	0,175
520	12480	3,874	8,906	0,175
540	12960	3,913	8,995	0,176
560	13440	3,913	8,995	0,176

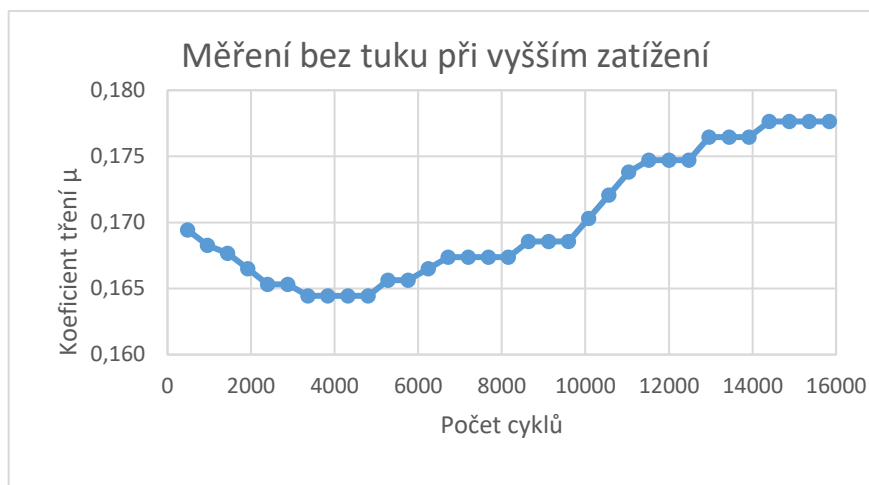
580	13920	3,913	8,995	0,176
600	14400	3,939	9,055	0,178
620	14880	3,939	9,055	0,178
640	15360	3,939	9,055	0,178
660	15840	3,939	9,055	0,178



Obr.61 Záznam amplitudy z osciloskopu.



Graf 23 Závislost třecího momentu na počtu cyklů.



**Graf 24** Závislost koeficientu tření na počtu cyklů.

Z grafů (Graf 23, Graf 24) je patrné, že dochází k nárůstu hodnot do 14400 provedených cyklů. Dále hodnoty zůstávají konstantní. Velikost třecího momentu  $M_T = 9,055$  N.m. Velikost koeficientu tření  $\mu = 0,178$ . Při testu nebyl zaznamenán žádný nežádoucí zvuk. Záznam z osciloskopu (Obr.61) je nepravidelný, křivka byla zdeformována.

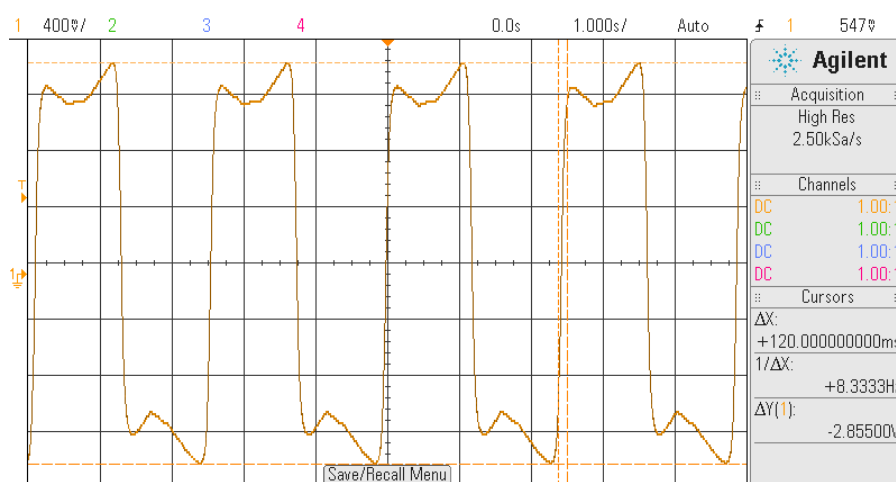
### Vzorek natřený tukem 1

Následující hodnoty jsou zaznamenány po uplynutí 1 minuty. Mezi měřeními docházelo k časové prodlevě 3 minuty, aby vzrůstající teplo způsobené třením neovlivnilo měření. Množství naneseného tuku  $m_T = 1$  g.

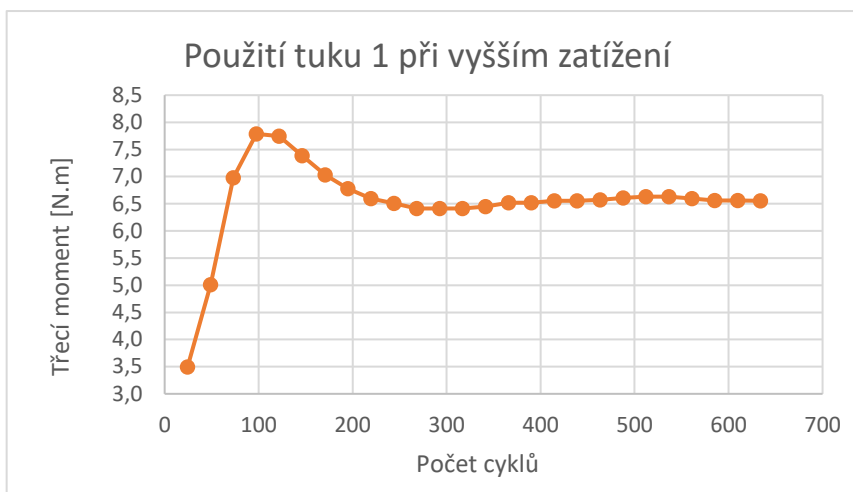
Tab.19 Měření při nanesení tuku 1, při zatížení  $F_z = 324$  N.

Průběh měření				
Čas [min]	Počet cyklů	Výška amplitudy $\Delta Y$ [V]	Třecí moment [N.m]	$\mu$ koeficient tření
1	24	1,520	3,496	0,069
2	49	2,178	5,009	0,098
3	73	3,037	6,982	0,137
4	98	3,387	7,787	0,153
5	122	3,368	7,744	0,152
6	146	3,212	7,384	0,145

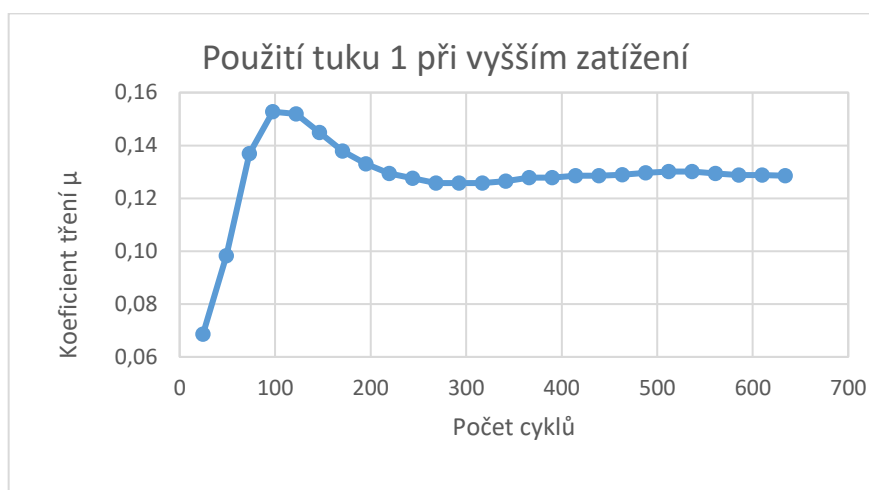
7	171	3,058	7,030	0,138
8	195	2,950	6,782	0,133
9	220	2,870	6,598	0,129
10	244	2,830	6,506	0,128
11	268	2,790	6,414	0,126
12	293	2,790	6,414	0,126
13	317	2,790	6,414	0,126
14	341	2,805	6,448	0,126
15	366	2,835	6,517	0,128
16	390	2,835	6,517	0,128
17	415	2,850	6,552	0,129
18	439	2,850	6,552	0,129
19	463	2,860	6,575	0,129
20	488	2,875	6,609	0,130
21	512	2,885	6,632	0,130
22	537	2,885	6,632	0,130
23	561	2,870	6,598	0,129
24	585	2,855	6,563	0,129
25	610	2,855	6,563	0,129
26	634	2,850	6,552	0,129



Obr.62 Záznam amplitudy z osciloskopu.



**Graf 23** Závislost třecího momentu na počtu cyklů.



**Graf 24** Závislost koeficientu tření na počtu cyklů.

Z grafů (Graf 23, Graf 24) závislosti třecího momentu a koeficientu tření na počtu cyklů vyplývá, že třecí moment a koeficient tření po spuštění měření postupně narůstá. Tento nárůst hodnot, lze vysvětlit dosednutím třecích ploch. Po 98 cyklech dochází k pozvolnému snížení hodnot vlivem rozložení tuku.

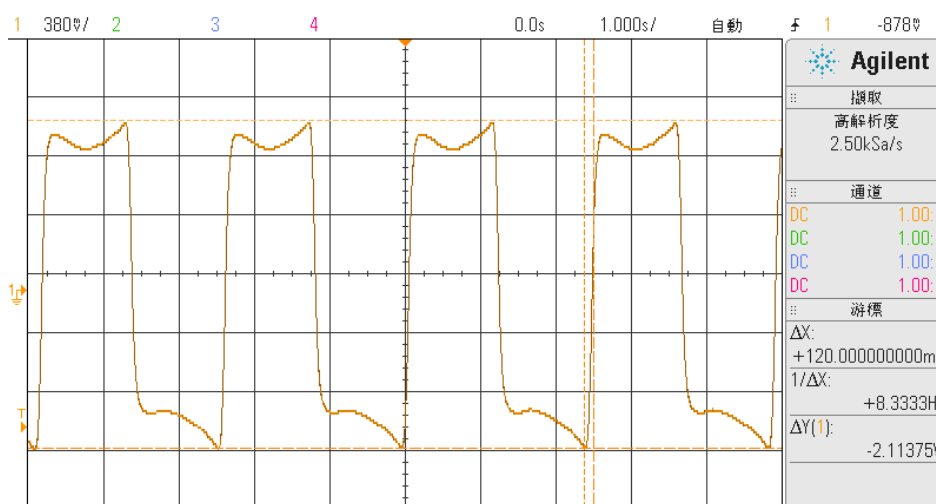
Na stejném tlumícím členu byl dále proveden test, při kterém hodnoty intervalu měření odpovídají 20 minutám. Všechny parametry měření zůstaly stejné. Tento test probíhal bez přestávek. Hodnoty jsou zobrazeny v Tab.20.

Tab.20 Měření při nanesení tuku 1, při zatížení  $F_z = 324 \text{ N}$ . (Delší interval měření)

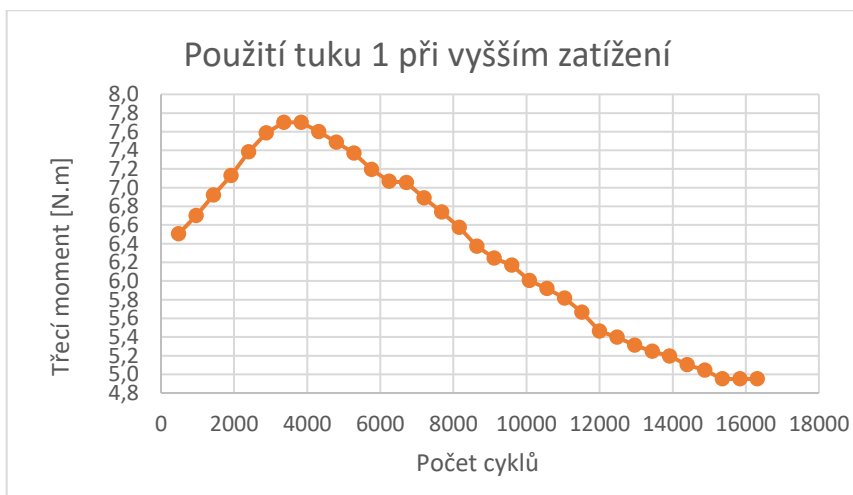
<b>Průběh měření</b>				
<b>Čas [min]</b>	<b>Počet cyklů</b>	<b>Výška amplitudy <math>\Delta Y</math> [V]</b>	<b>Třecí moment [N.m]</b>	<b><math>\mu</math> koeficient tření</b>
20	480	2,830	6,506	0,128
40	960	2,915	6,701	0,131
60	1440	3,010	6,920	0,136
80	1920	3,102	7,131	0,140
100	2400	3,212	7,384	0,145
120	2880	3,300	7,586	0,149
140	3360	3,349	7,700	0,151
160	3840	3,349	7,700	0,151
180	4320	3,305	7,599	0,149
200	4800	3,256	7,485	0,147
220	5280	3,206	7,371	0,145
240	5760	3,129	7,194	0,141
260	6240	3,074	7,068	0,139
280	6720	3,069	7,055	0,138
300	7200	2,997	6,891	0,135
320	7680	2,931	6,739	0,132
340	8160	2,860	6,575	0,129
360	8640	2,772	6,372	0,125
380	9120	2,717	6,246	0,123
400	9600	2,684	6,170	0,121
420	10080	2,612	6,006	0,118
440	10560	2,574	5,917	0,116
460	11040	2,530	5,816	0,114
480	11520	2,464	5,664	0,111
500	12000	2,376	5,462	0,107
520	12480	2,348	5,399	0,106
540	12960	2,310	5,310	0,104
560	13440	2,282	5,247	0,103



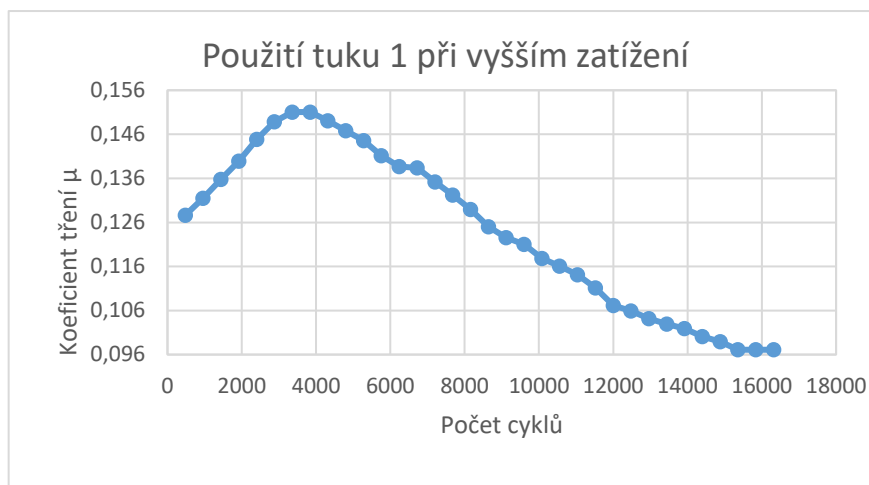
580	13920	2,260	5,197	0,102
600	14400	2,219	5,102	0,100
620	14880	2,194	5,045	0,099
640	15360	2,153	4,950	0,097
660	15840	2,153	4,950	0,097
680	16320	2,153	4,950	0,097



Obr.63 Záznam amplitudy z osciloskopu.



Graf 25 Závislost třecího momentu na počtu cyklů.



Graf 26 Závislost koeficientu tření na počtu cyklů.

Rostoucí tendence naměřených hodnot trvala až do 3360 cyklů. Po 3360 cyklech začaly naměřené hodnoty klesat až do 15360 cyklů. Hodnoty třecího momentu zůstaly ustáleny  $M_T = 4,95 \text{ N.m}$ . Koeficient tření zůstal ustálen  $\mu = 0,097$ . Při testu nebyl zaznamenán žádný nežádoucí zvuk. Záznam z osciloskopu (Obr.63) ukazuje vliv naneseného tuku na měřený vzorek. Je rozdílný oproti záznamu při měření bez tuku.

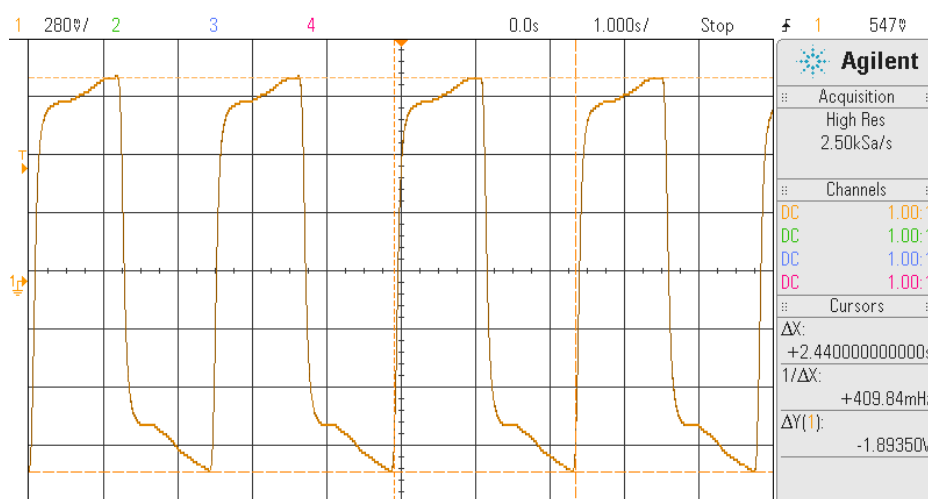
### Vzorek natřený tukem 2

Následující hodnoty jsou zaznamenány po uplynutí 1 minuty. Mezi měřeními docházelo k časové prodlevě 3 minuty, aby vzrůstající teplo způsobené třením neovlivnilo měření. Množství naneseného tuku  $m_T = 1,001 \text{ g}$ .

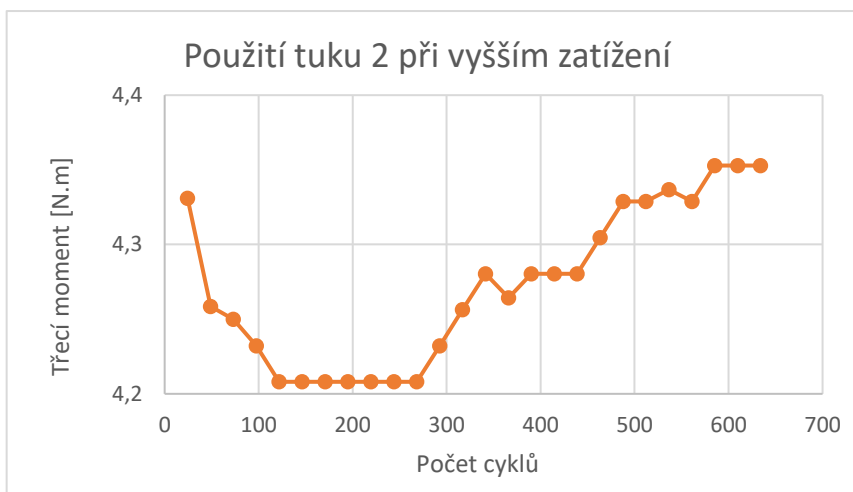
Tab.21 Měření při nanesení tuku 2, při zatížení  $F_z = 324 \text{ N}$ .

Průběh měření				
Čas [min]	Počet cyklů	Výška amplitudy $\Delta Y$ [V]	Třecí moment [N.m]	$\mu$ koeficient tření
1	24	1,884	4,331	0,085
2	49	1,852	4,259	0,084
3	73	1,848	4,250	0,083
4	98	1,841	4,232	0,083
5	122	1,830	4,208	0,083

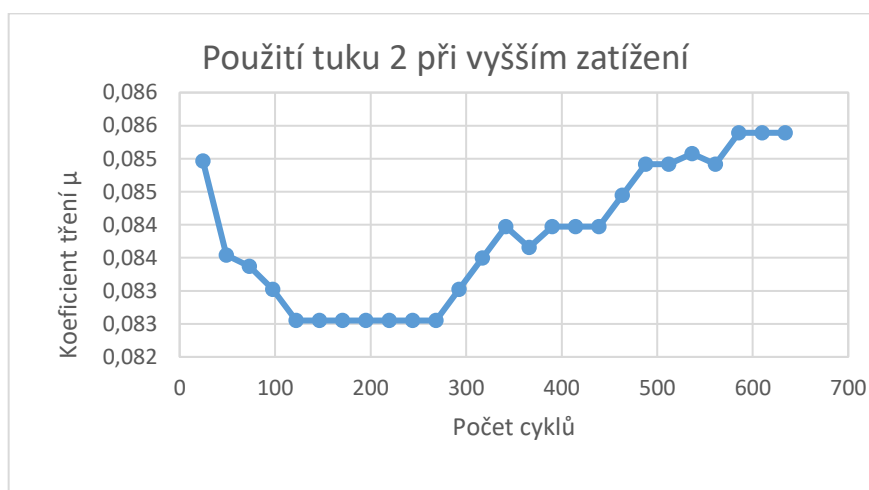
6	146	1,830	4,208	0,083
7	171	1,830	4,208	0,083
8	195	1,830	4,208	0,083
9	220	1,830	4,208	0,083
10	244	1,830	4,208	0,083
11	268	1,830	4,208	0,083
12	293	1,841	4,232	0,083
13	317	1,851	4,256	0,083
14	341	1,862	4,280	0,084
15	366	1,855	4,264	0,084
16	390	1,862	4,280	0,084
17	415	1,862	4,280	0,084
18	439	1,862	4,280	0,084
19	463	1,872	4,305	0,084
20	488	1,883	4,329	0,085
21	512	1,883	4,329	0,085
22	537	1,886	4,337	0,085
23	561	1,883	4,329	0,085
24	585	1,893	4,353	0,085
25	610	1,893	4,353	0,085
26	634	1,893	4,353	0,085



Obr.64 Záznam amplitudy z osciloskopu.



**Graf 27** Závislost třecího momentu na počtu cyklů.



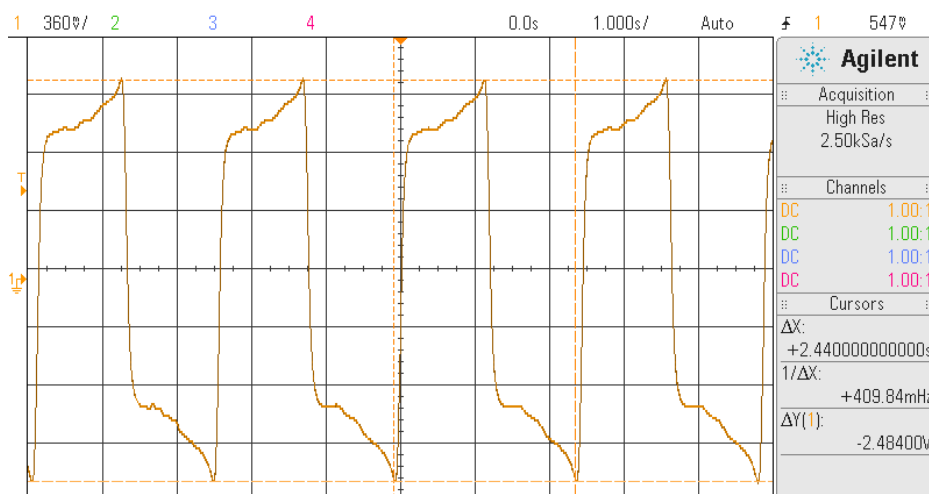
**Graf 28** Závislost koeficientu tření na počtu cyklů.

Při použití tuku 2 byl ze začátku zaznamenán menší pokles naměřených hodnot. Při 268 cyklech se tendence obrátila a hodnoty začaly postupně vzrůstat, až se ustálily. Velikost třecího momentu  $M_T = 4,353 \text{ N. m}$ . Velikost koeficientu tření  $\mu = 0,085$ .

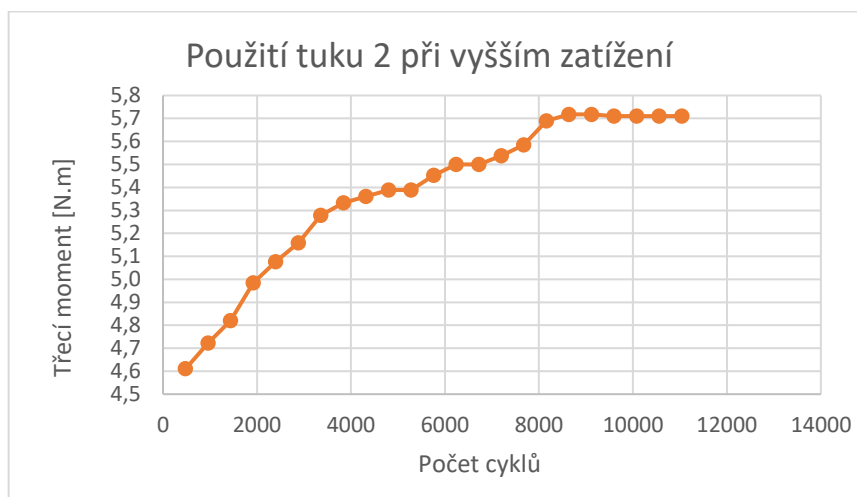
Na stejném tlumícím členu byl dále proveden test, při kterém hodnoty intervalu měření odpovídají 20 minutám. Všechny parametry měření zůstaly stejné. Tento test probíhal bez přestávek. Hodnoty jsou zobrazeny v Tab.22.

Tab.22 Měření při nanesení tuku 2, při zatížení  $F_z = 324 \text{ N}$ . (Delší interval měření)

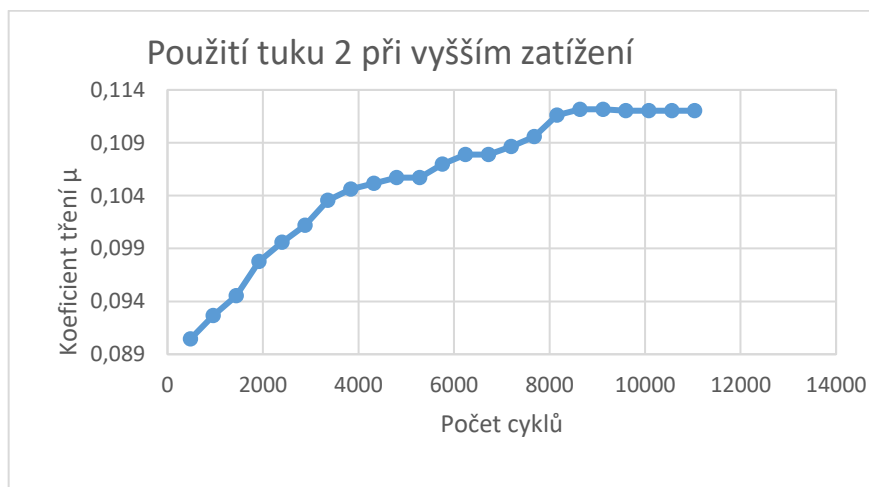
<b>Průběh měření</b>				
<b>Čas [min]</b>	<b>Počet cyklů</b>	<b>Výška amplitudy <math>\Delta Y</math> [V]</b>	<b>Třecí moment [N.m]</b>	<b><math>\mu</math> koeficient tření</b>
20	480	2,005	4,610	0,090
40	960	2,054	4,723	0,093
60	1440	2,096	4,820	0,095
80	1920	2,168	4,984	0,098
100	2400	2,208	5,076	0,100
120	2880	2,244	5,159	0,101
140	3360	2,296	5,278	0,104
160	3840	2,320	5,333	0,105
180	4320	2,332	5,361	0,105
200	4800	2,344	5,389	0,106
220	5280	2,344	5,389	0,106
240	5760	2,372	5,453	0,107
260	6240	2,392	5,500	0,108
280	6720	2,392	5,500	0,108
300	7200	2,409	5,538	0,109
320	7680	2,429	5,586	0,110
340	8160	2,475	5,690	0,112
360	8640	2,487	5,718	0,112
380	9120	2,487	5,718	0,112
400	9600	2,484	5,710	0,112
420	10080	2,484	5,710	0,112
440	10560	2,484	5,710	0,112
460	11040	2,484	5,710	0,112



Obr.65 Záznam amplitudy z osciloskopu.



Graf 29 Závislost třecího momentu na počtu cyklů.



Graf 30 Závislost koeficientu tření na počtu cyklů.

Z grafů (Graf 29, Graf 30) je patrné, že dochází k nárůstu hodnot do 8640 provedených cyklů. Dále hodnoty zůstávají konstantní. Velikost třecího momentu  $M_T = 5,71$  N. m. Velikost koeficientu tření  $\mu = 0,112$ . Při testu nebyl zaznamenán žádný nežádoucí zvuk. Záznam z osciloskopu (Obr.65) je nepravidelný, křivka byla zdeformována méně než za použití tuku 1.

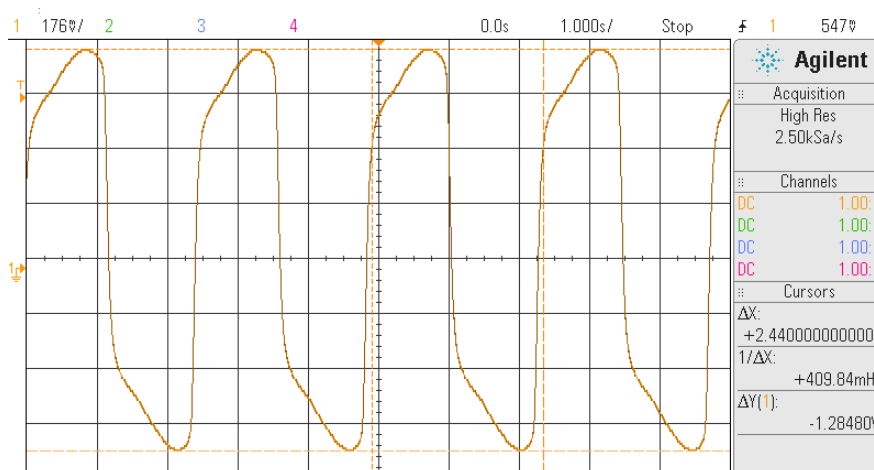
### Vzorek natřený tukem 3

Následující hodnoty jsou zaznamenány po uplynutí 1 minuty. Mezi měřeními docházelo k časové prodlevě 3 minuty, aby vzrůstající teplo způsobené třením neovlivnilo měření. Množství naneseného tuku  $m_T = 1,002$  g.

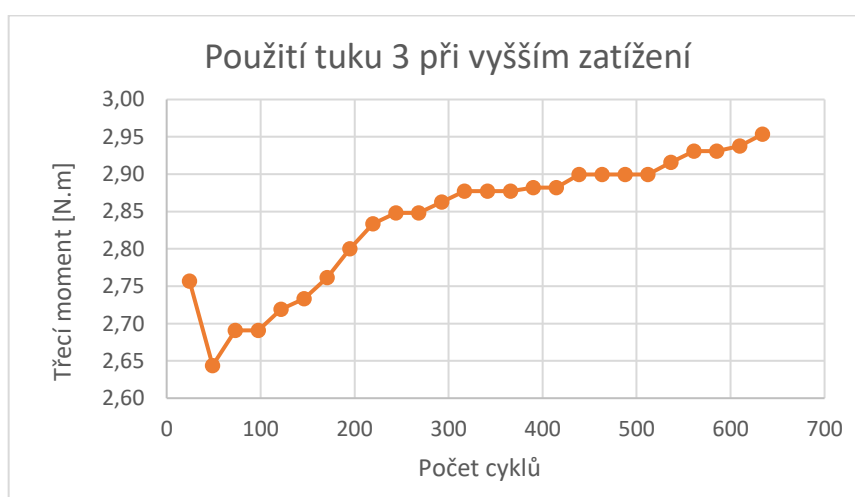
Tab.23 Měření při nanesení tuku 3, při zatížení  $F_z = 324$  N.

Průběh měření				
Čas [min]	Počet cyklů	Výška amplitudy $\Delta Y$ [V]	Třecí moment [N.m]	$\mu$ koeficient tření
1	24	1,199	2,757	0,054
2	49	1,150	2,644	0,052
3	73	1,170	2,691	0,053
4	98	1,170	2,691	0,053
5	122	1,182	2,719	0,053
6	146	1,189	2,733	0,054
7	171	1,201	2,762	0,054
8	195	1,218	2,800	0,055
9	220	1,232	2,834	0,056
10	244	1,239	2,848	0,056
11	268	1,239	2,848	0,056
12	293	1,245	2,863	0,056
13	317	1,251	2,877	0,056
14	341	1,251	2,877	0,056
15	366	1,251	2,877	0,056
16	390	1,253	2,882	0,057
17	415	1,253	2,882	0,057

18	439	1,261	2,900	0,057
19	463	1,261	2,900	0,057
20	488	1,261	2,900	0,057
21	512	1,261	2,900	0,057
22	537	1,268	2,916	0,057
23	561	1,274	2,931	0,057
24	585	1,274	2,931	0,057
25	610	1,278	2,938	0,058
26	634	1,284	2,954	0,058

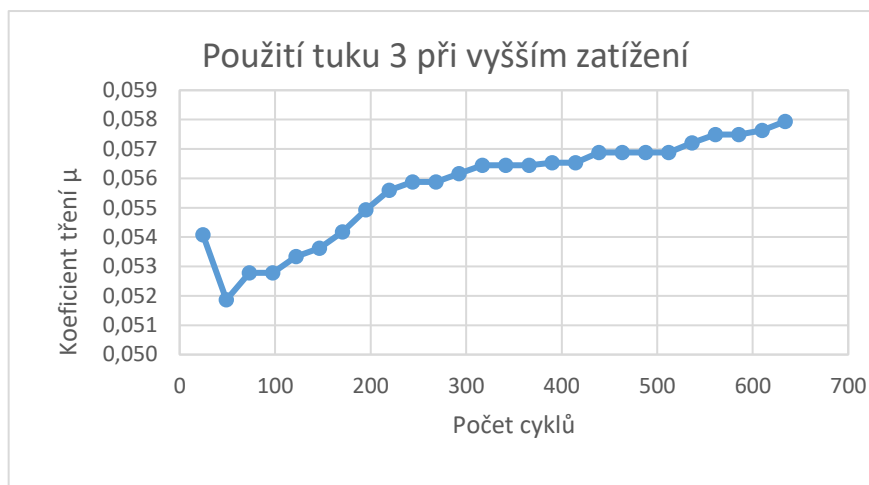


Obr.66 Záznam amplitudy z osciloskopu.



Graf 31 Závislost třecího momentu na počtu cyklů.





**Graf 32** Závislost koeficientu tření na počtu cyklů.

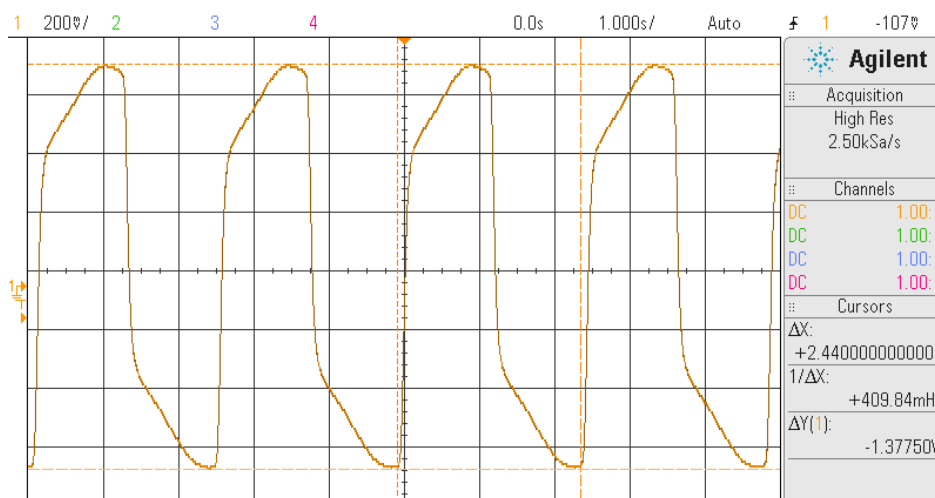
Při použití tuku 3 byl ze začátku zaznamenán výrazný pokles naměřených hodnot. Při 49 cyklech se tendence obrátila a hodnoty začaly postupně vzrůstat. Velikost třecího momentu  $M_T = 2,954 \text{ N.m}$ . Velikost koeficientu tření  $\mu = 0,058$ . Naměřené hodnoty se pohybovaly ve velmi malém intervalu.

Na stejném tlumícím členu byl dále proveden test, při kterém hodnoty intervalu měření odpovídají 20 minutám. Všechny parametry měření zůstaly stejné. Tento test probíhal bez přestávek. Hodnoty jsou zobrazeny v Tab.24.

*Tab.24 Měření při nanesení tuku 3, při zatížení  $F_z = 324 \text{ N}$ . (Delší interval měření)*

Průběh měření				
Čas [min]	Počet cyklů	Výška amplitudy $\Delta Y$ [V]	Třecí moment [N.m]	$\mu$ koeficient tření
20	480	1,351	3,106	0,061
40	960	1,423	3,272	0,064
60	1440	1,442	3,316	0,065
80	1920	1,427	3,282	0,064
100	2400	1,427	3,282	0,064
120	2880	1,442	3,316	0,065
140	3360	1,475	3,391	0,067
160	3840	1,475	3,391	0,067

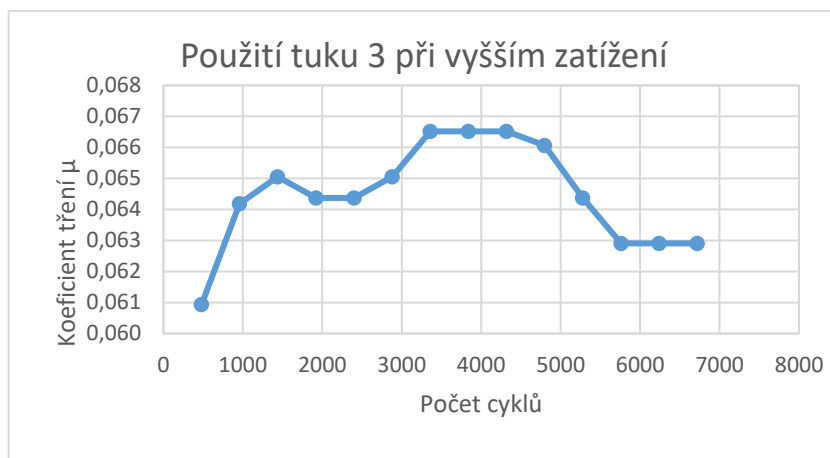
180	4320	1,475	3,391	0,067
200	4800	1,465	3,368	0,066
220	5280	1,427	3,282	0,064
240	5760	1,395	3,207	0,063
260	6240	1,395	3,207	0,063
280	6720	1,395	3,207	0,063
300	7200	1,377	3,167	0,062



Obr.67 Záznam amplitudy z osciloskopu.



Graf 33 Závislost třecího momentu na počtu cyklů.

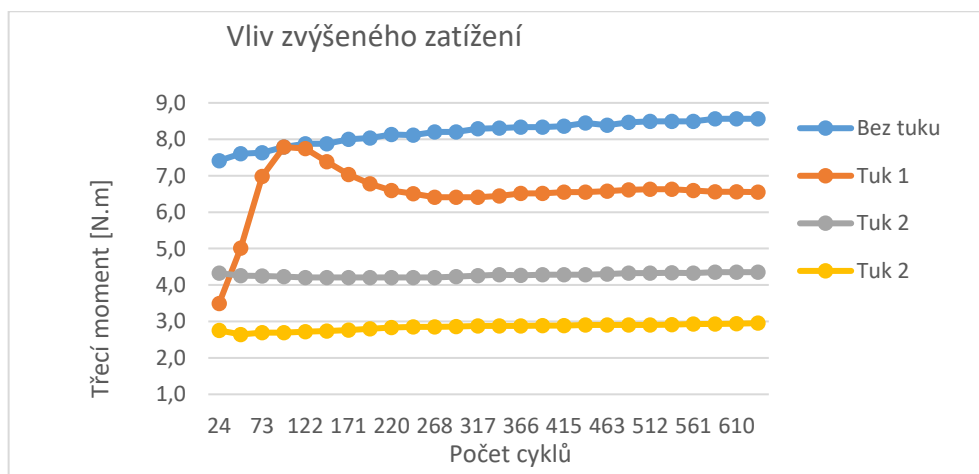


**Graf 34** Závislost koeficientu tření na počtu cyklů.

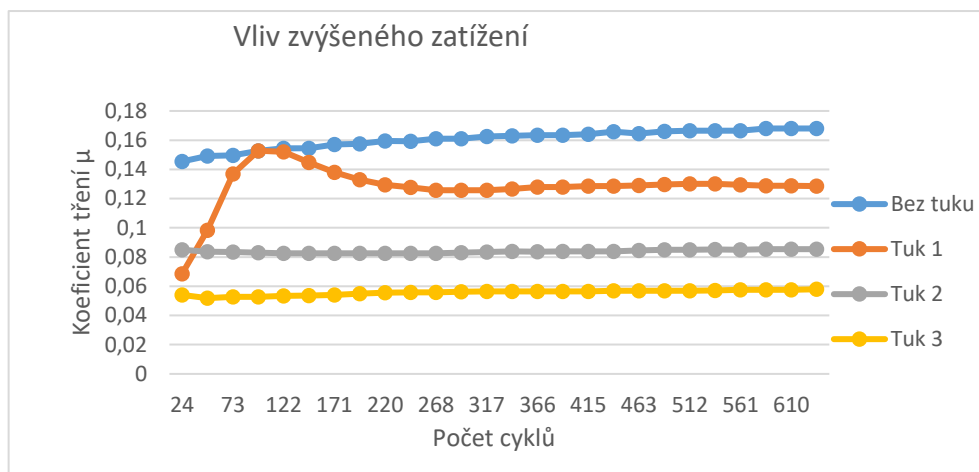
Z grafů (Graf 33, Graf 34) je patrné, že dochází k nárůstu hodnot do 3360 provedených cyklů. Dále hodnoty klesají vlivem rozložení tuku na tlumícím členu. Naměřené hodnoty zůstaly ustáleny po 5760 cyklech. Velikost třecího momentu  $M_T = 3,207$  N.m. Velikost koeficientu tření  $\mu = 0,063$ . Při testu nebyl zaznamenán žádný nežádoucí zvuk. Záznam z osciloskopu (Obr.67) je pravidelný, křivka byla zdeformována méně, než při použití tuků 1 a 2. Rozptyl naměřených hodnot byl velmi malý.

### Porovnání výsledků

Z výsledků měření vyplývá, že různé druhy použitého tuku výrazně ovlivňuje třecí děj. Následující grafy (Graf 35, Graf 36, Graf 37, Graf 38) zobrazují porovnání měření bez použití tuku a měření s použitím jednotlivých tuků.

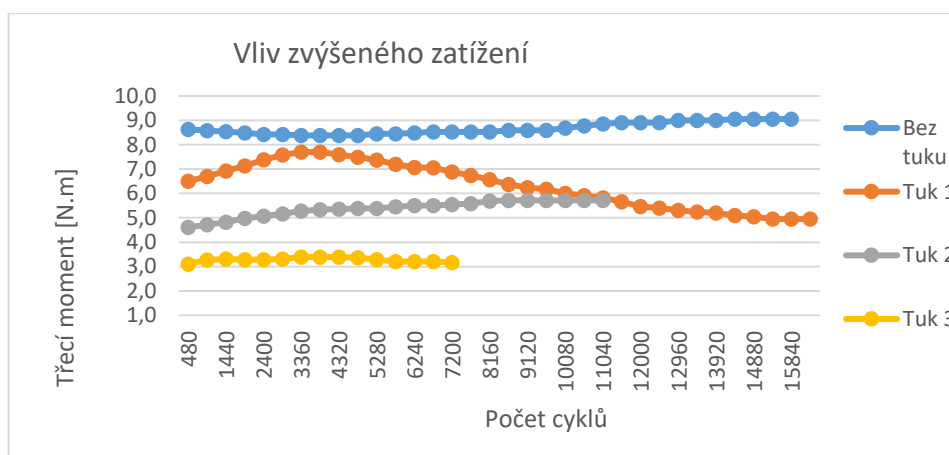


**Graf 35** Porovnání závislosti třecího momentu na počtu cyklů.

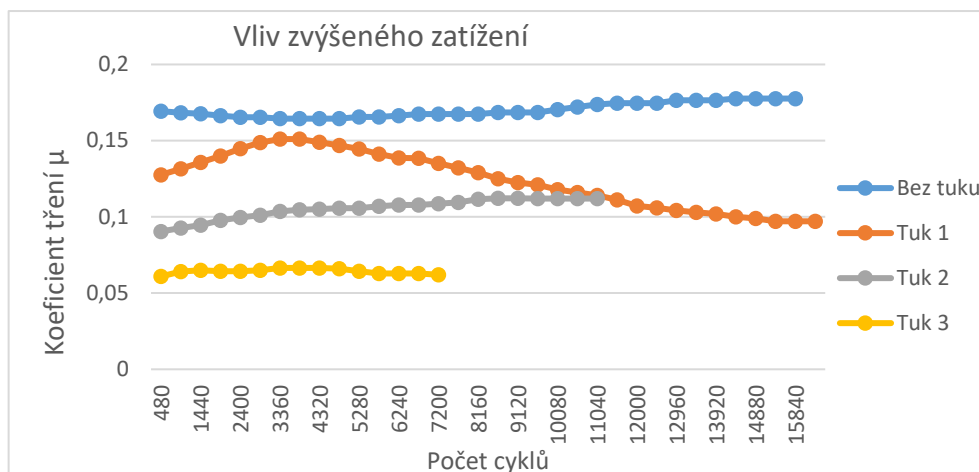


Graf 36 Porovnání závislosti koeficientu tření na počtu cyklů.

Při použití tuku 1, byly naměřené hodnoty nižší než bez použití tuku. Použitím tuku 2 došlo ke snížení naměřených hodnot, než při použití tuku 1. Tuk 3 tyto hodnoty snížil ještě více, než při použití tuku 2.



Graf 37 Porovnání závislosti třecího momentu na počtu cyklů.



Graf 38 Porovnání závislosti koeficientu tření na počtu cyklů.

Výsledné koeficienty tření a velikosti třecích momentů jsou zobrazeny v následující tabulce (Tab.25).

Tab.25 Porovnání naměřených výsledků.

Vzorek	Bez tuku	Tuk 1	Tuk 2	Tuk 3
Třecí moment [N.m]	9,055	4,950	5,710	3,167
Koeficient tření $\mu$	0,178	0,097	0,112	0,062

Ustálení naměřených hodnot došlo nejprve na vzorku opatřeném tukem 3 při 5 760 cyklech. Vzorek opatřený tukem 2 zůstal ustálen při 8 640 cyklech. Vzorek bez použití tuku zůstal ustálen při 14 400 cyklech. Jako poslední zůstal ustálen vzorek opatřený tukem 1, a to při 15 360 cyklech.

### 5.3.3 Měření vlivu množství použitého tuku

Při tomto měření došlo ke snížení naneseného množství tuku z 1 g na 0,5 g. Velikost axiální síly  $F_z = 324$  N. Testovaný tlumící člen byl vyroben z materiálu B (Tab.1). Tento tlumící člen je používán v napínacích řemene E3D. Vzorky jsou vyráběny vysokotlakým vstřikováním a mají stejnou velikost, odpovídající výrobní formě. Jsou porovnávány vzorky natřené tuky 1, 2, 3 a vzorek bez použití tuku. Tuk byl na vzorek nanesen pomocí štětce. Pro vzorek bez použití tuku, jsou použity data z Tab.18. Parametry měření jsou totožné.

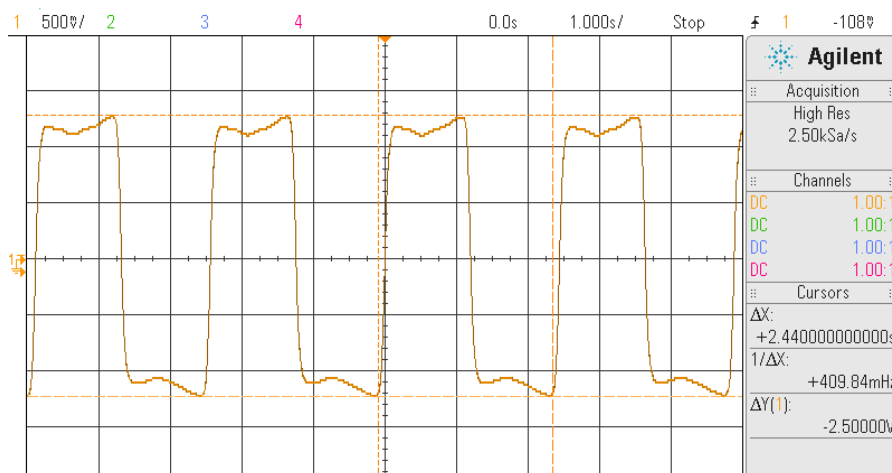
### Vzorek natřený tukem 1

Následující hodnoty jsou zaznamenány po uplynutí 1 minuty. Mezi měřeními docházelo k časové prodlevě 3 minuty, aby vzrůstající teplo způsobené třením neovlivnilo měření. Množství naneseného tuku  $m_T = 0,501$  g.

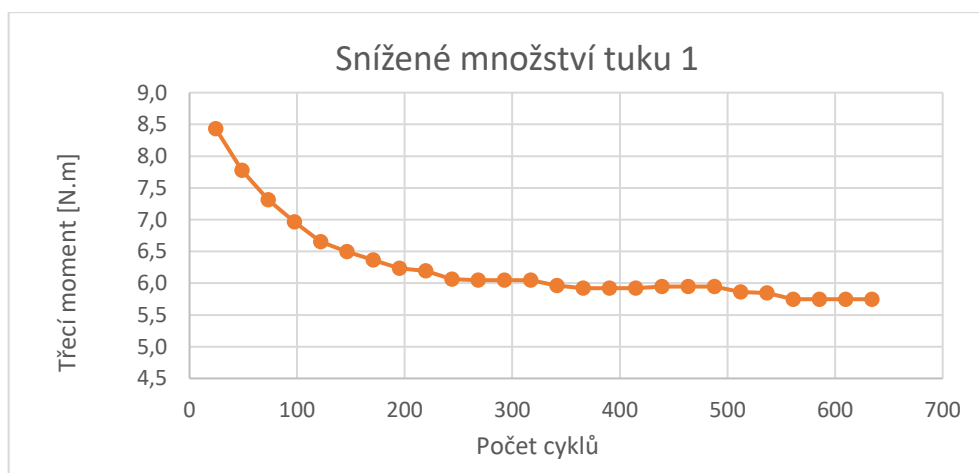
Tab.26 Měření při nanesení tuku 1, při zatížení  $F_z = 324$  N.

Průběh měření				
Čas [min]	Počet cyklů	Výška amplitudy $\Delta Y$ [V]	Třecí moment [N.m]	$\mu$ koeficient tření
1	24	3,667	8,431	0,165
2	49	3,382	7,776	0,153
3	73	3,180	7,310	0,143
4	98	3,030	6,966	0,137
5	122	2,893	6,652	0,131
6	146	2,825	6,494	0,127
7	171	2,768	6,365	0,125
8	195	2,712	6,236	0,122
9	220	2,693	6,193	0,121
10	244	2,630	6,063	0,119
11	268	2,631	6,049	0,119
12	293	2,631	6,049	0,119
13	317	2,631	6,049	0,119
14	341	2,593	5,963	0,117
15	366	2,575	5,920	0,116
16	390	2,575	5,920	0,116
17	415	2,575	5,920	0,116
18	439	2,587	5,948	0,117
19	463	2,587	5,948	0,117
20	488	2,587	5,948	0,117
21	512	2,550	5,862	0,115
22	537	2,543	5,848	0,115

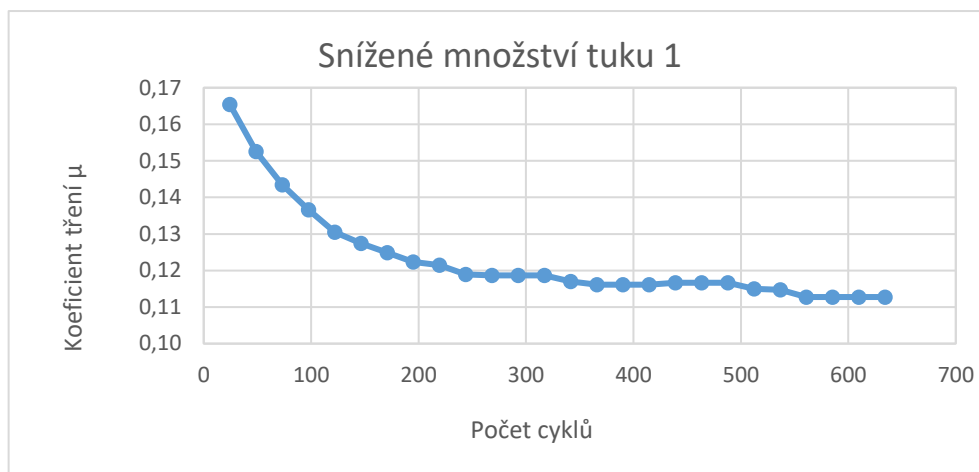
23	561	2,500	5,747	0,113
24	585	2,500	5,747	0,113
25	610	2,500	5,747	0,113
26	634	2,500	5,747	0,113



Obr.68 Záznam amplitudy z osciloskopu.



Graf 39 Závislost třecího momentu na počtu cyklů.



**Graf 40** Závislost koeficientu tření na počtu cyklů.

Z grafů Graf 39, Graf 40) závislosti třecího momentu a koeficientu tření na počtu cyklů vyplývá, že třecí moment a koeficient tření po spuštění měření postupně klesá. Tento pokles hodnot, lze vysvětlit postupným rozložením tuku na třecích plochách.

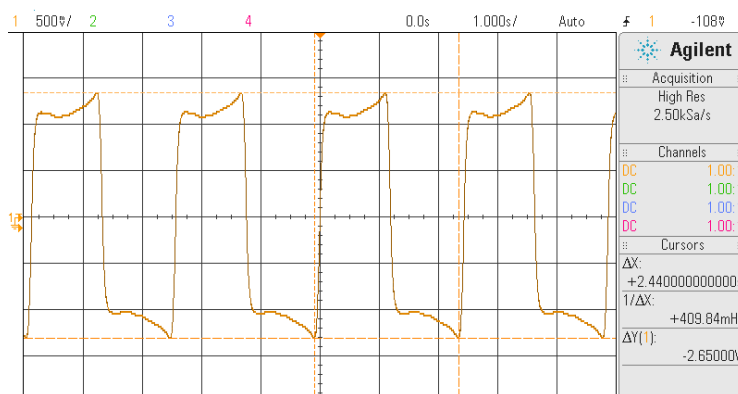
Na stejném tlumícím členu byl dále proveden test, při kterém byl interval mezi měřeními prodloužen na 20 minut. Všechny parametry měření zůstaly stejné. Tento test probíhal bez přestávek. Hodnoty jsou zobrazeny v Tab.27.

Tab.27 Měření při nanesení tuku 1, při zatížení  $F_z = 324 \text{ N}$ . (Delší interval měření)

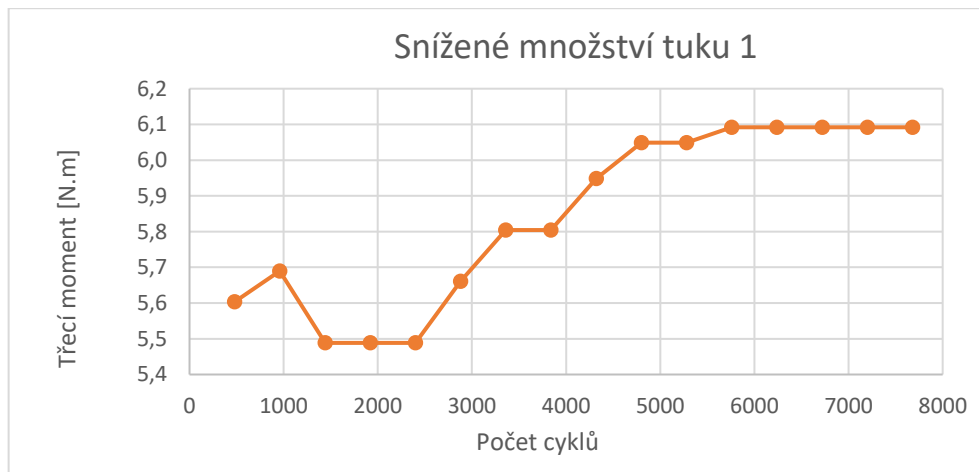
Průběh měření				
Čas [min]	Počet cyklů	Výška amplitudy $\Delta Y$ [V]	Třecí moment [N.m]	$\mu$ koeficient tření
20	480	2,437	5,603	0,110
40	960	2,475	5,690	0,112
60	1440	2,387	5,489	0,108
80	1920	2,387	5,489	0,108
100	2400	2,387	5,489	0,108
120	2880	2,462	5,661	0,111
140	3360	2,525	5,805	0,114
160	3840	2,525	5,805	0,114
180	4320	2,587	5,948	0,117
200	4800	2,631	6,049	0,119



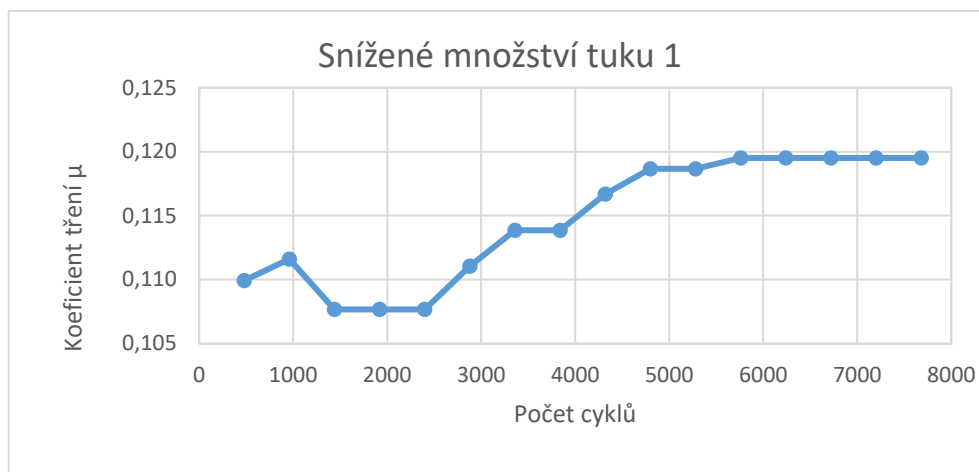
220	5280	2,631	6,049	0,119
240	5760	2,650	6,092	0,120
260	6240	2,650	6,092	0,120
280	6720	2,650	6,092	0,120
300	7200	2,650	6,092	0,120
320	7680	2,650	6,092	0,120



Obr.69 Záznam amplitudy z osciloskopu.



Graf 41 Závislost třecího momentu na počtu cyklů.



Graf 42 Závislost koeficientu tření na počtu cyklů.

Rostoucí tendence naměřených hodnot trvala až do 5760 cyklů. Hodnoty třecího momentu zůstaly ustáleny  $M_T = 6,092 \text{ N.m}$ . Koeficient tření zůstal ustálen  $\mu = 0,120$ . Při testu nebyl zaznamenán žádný nežádoucí zvuk. Záznam z osciloskopu (Obr.69) ukazuje vliv naneseného tuku na měřený vzorek. Je rozdílný oproti záznamu při měření bez tuku.

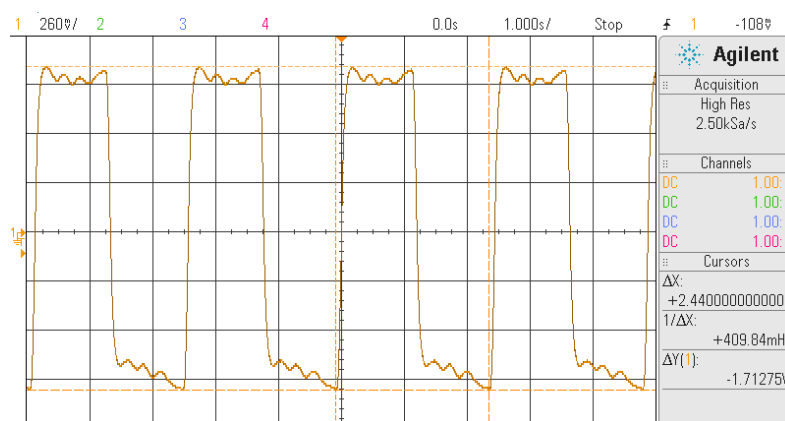
### Vzorek natřený tukem 2

Následující hodnoty jsou zaznamenány po uplynutí 1 minuty. Mezi měřeními docházelo k časové prodlevě 3 minuty, aby vzrůstající teplo způsobené třením neovlivnilo měření. Množství naneseného tuku  $m_T = 0,499 \text{ g}$ .

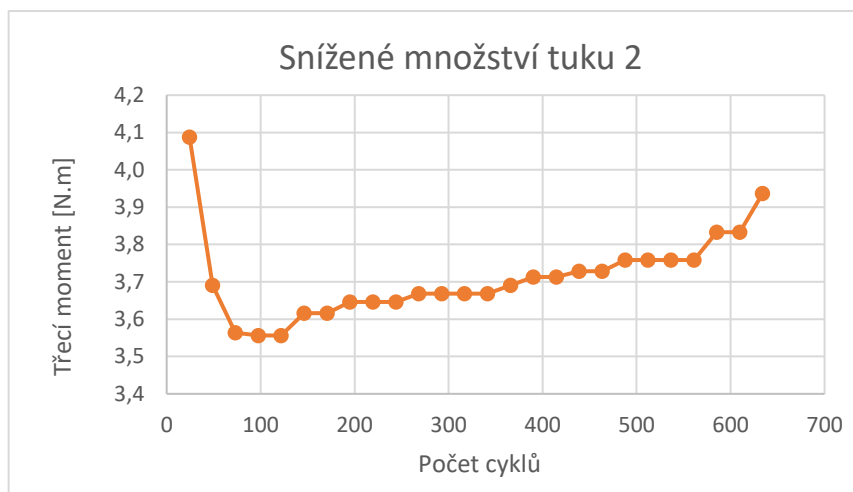
Tab.28 Měření při nanesení tuku 2, při zatížení  $F_z = 324 \text{ N}$ .

Průběh měření				
Čas [min]	Počet cyklů	Výška amplitudy $\Delta Y$ [V]	Třecí moment [N.m]	$\mu$ koeficient tření
1	24	1,778	4,087	0,080
2	49	1,605	3,691	0,072
3	73	1,550	3,564	0,070
4	98	1,547	3,556	0,070
5	122	1,547	3,556	0,070
6	146	1,573	3,616	0,071
7	171	1,573	3,616	0,071

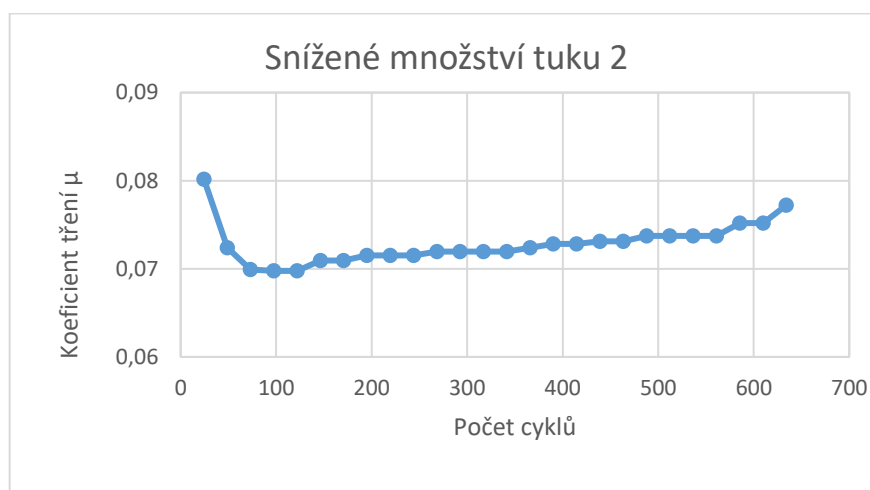
8	195	1,586	3,646	0,072
9	220	1,586	3,646	0,072
10	244	1,586	3,646	0,072
11	268	1,595	3,668	0,072
12	293	1,595	3,668	0,072
13	317	1,595	3,668	0,072
14	341	1,595	3,668	0,072
15	366	1,605	3,691	0,072
16	390	1,615	3,713	0,073
17	415	1,615	3,713	0,073
18	439	1,621	3,728	0,073
19	463	1,621	3,728	0,073
20	488	1,634	3,758	0,074
21	512	1,634	3,758	0,074
22	537	1,634	3,758	0,074
23	561	1,634	3,758	0,074
24	585	1,667	3,833	0,075
25	610	1,667	3,833	0,075
26	634	1,712	3,937	0,077



Obr. 70 Záznam amplitudy z osciloskopu.



**Graf 43** Závislost třecího momentu na počtu cyklů.



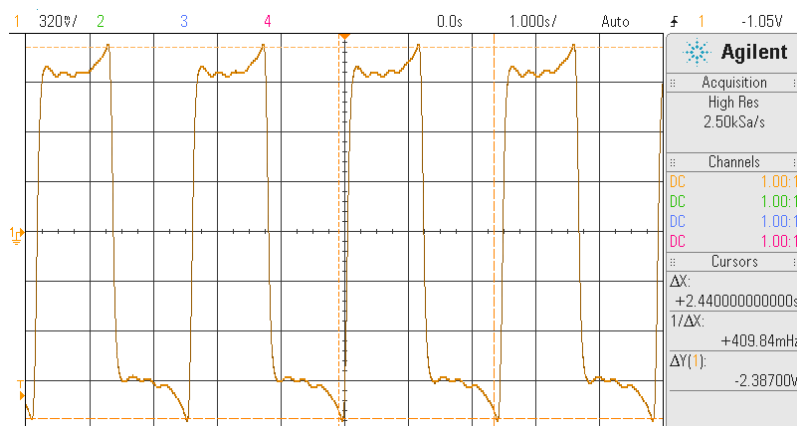
**Graf 44** Závislost koeficientu tření na počtu cyklů.

Při použití tuku 2 byl ze začátku zaznamenán menší pokles naměřených hodnot. Při 73 cyklech se tendence obrátila a hodnoty začaly postupně vzrůstat. Velikost třecího momentu  $M_T = 3,937$  N. m. Velikost koeficientu tření  $\mu = 0,077$ .

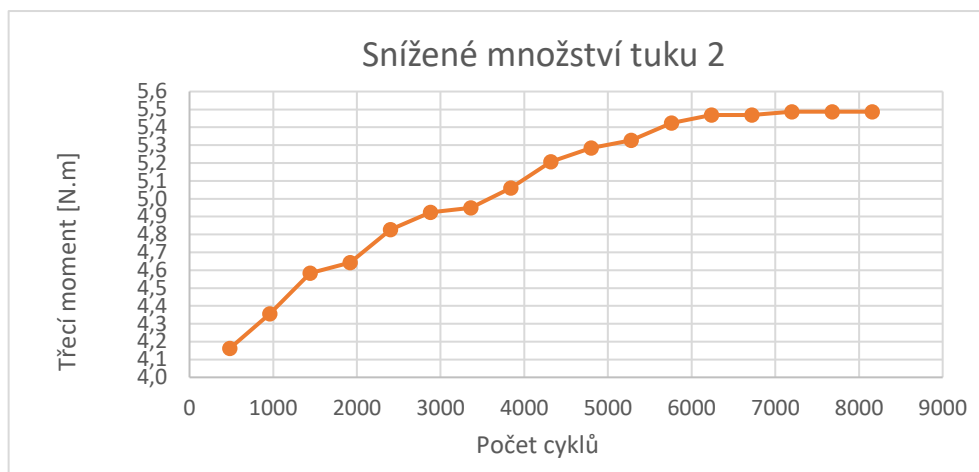
Na stejném tlumícím členu byl dále proveden test, při kterém byl interval mezi měřeními prodloužen na 20 minut. Všechny parametry měření zůstaly stejné. Tento test probíhal bez přestávek. Hodnoty jsou zobrazeny v Tab.29.

Tab.29 Měření při nanesení tuku 2, při zatížení  $F_z = 324 \text{ N}$ . (Delší interval měření)

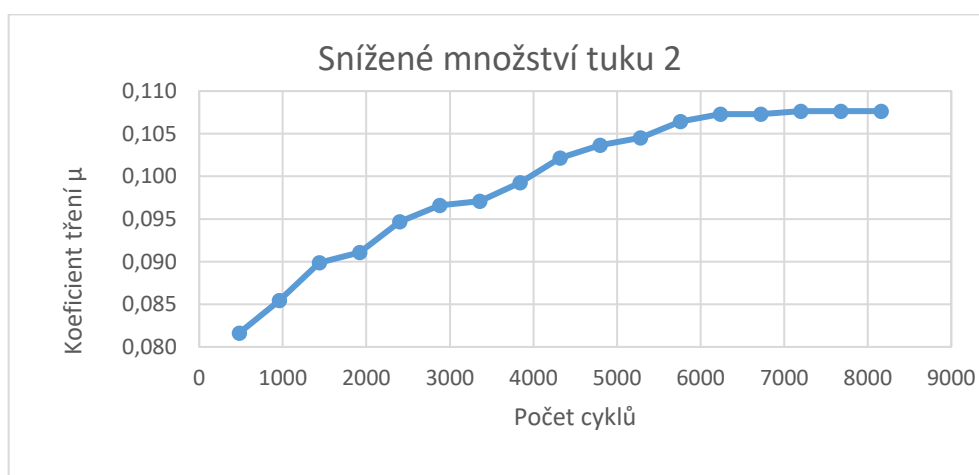
Průběh měření				
Čas [min]	Počet cyklů	Výška amplitudy $\Delta Y$ [V]	Třecí moment [N.m]	$\mu$ koeficient tření
20	480	1,810	4,161	0,082
40	960	1,894	4,356	0,085
60	1440	1,993	4,582	0,090
80	1920	2,019	4,643	0,091
100	2400	2,100	4,828	0,095
120	2880	2,142	4,924	0,097
140	3360	2,152	4,948	0,097
160	3840	2,201	5,060	0,099
180	4320	2,265	5,207	0,102
200	4800	2,298	5,284	0,104
220	5280	2,317	5,328	0,105
240	5760	2,359	5,425	0,106
260	6240	2,379	5,470	0,107
280	6720	2,379	5,470	0,107
300	7200	2,387	5,487	0,108
320	7680	2,387	5,487	0,108
340	8160	2,387	5,487	0,108



Obr.71 Záznam amplitudy z osciloskopu.



**Graf 45** Závislost třecího momentu na počtu cyklů.



**Graf 46** Závislost koeficientu tření na počtu cyklů.

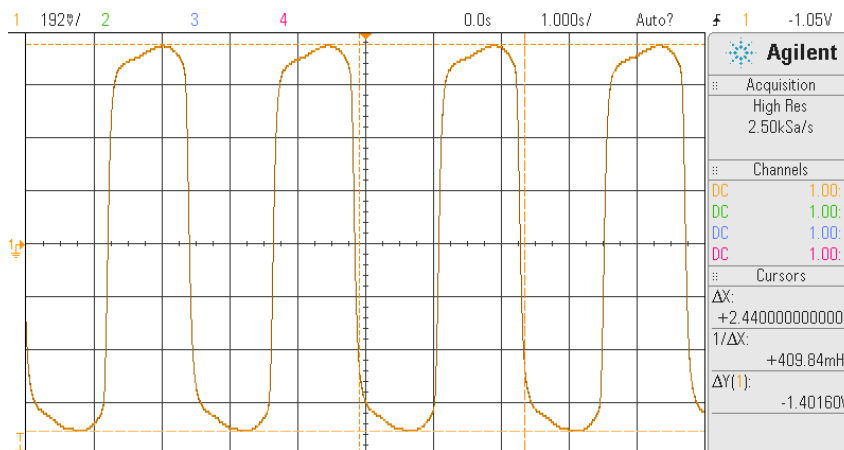
Z grafů (Graf 45, Graf 46) je patrné, že dochází k nárůstu hodnot do 7 200 provedených cyklů. Dále hodnoty zůstávají konstantní. Velikost třecího momentu  $M_T = 5,487$  N. m. Velikost koeficientu tření  $\mu = 0,108$ . Při testu nebyl zaznamenán žádný nežádoucí zvuk. Záznam z osciloskopu (Obr.71) je nepravidelný, křivka byla zdeformována více než za použití tuku 1.

### Vzorek natřený tukem 3

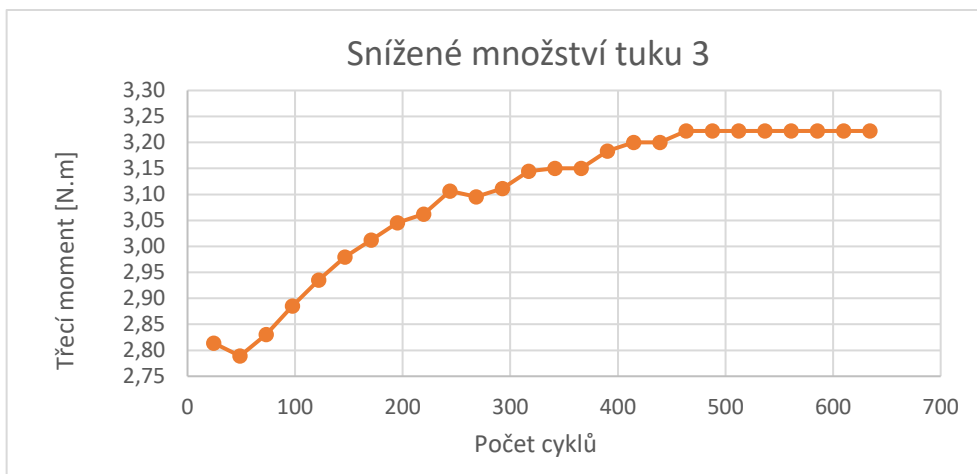
Následující hodnoty jsou zaznamenány po uplynutí 1 minuty. Mezi měřeními docházelo k časové prodlevě 3 minuty, aby vzrůstající teplo způsobené třením neovlivnilo měření. Množství naneseného tuku  $m_T = 0,503$  g.

Tab.30 Měření při nanesení tuku 3, při zatížení  $F_z = 324 \text{ N}$ .

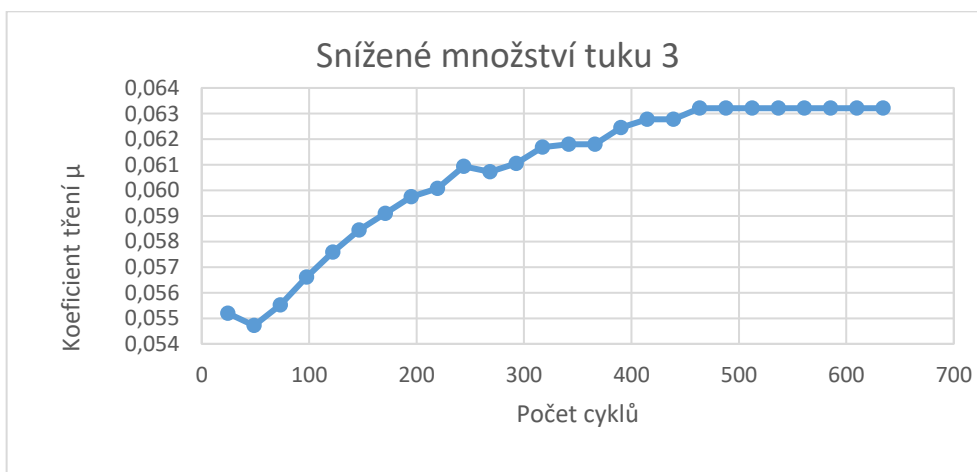
<b>Průběh měření</b>				
<b>Čas [min]</b>	<b>Počet cyklů</b>	<b>Výška amplitudy <math>\Delta Y</math> [V]</b>	<b>Třecí moment [N.m]</b>	<b><math>\mu</math> koeficient tření</b>
1	24	1,224	2,814	0,055
2	49	1,213	2,789	0,055
3	73	1,231	2,830	0,056
4	98	1,255	2,886	0,057
5	122	1,276	2,935	0,058
6	146	1,296	2,979	0,058
7	171	1,310	3,012	0,059
8	195	1,324	3,046	0,060
9	220	1,332	3,062	0,060
10	244	1,351	3,106	0,061
11	268	1,346	3,095	0,061
12	293	1,353	3,112	0,061
13	317	1,368	3,145	0,062
14	341	1,370	3,150	0,062
15	366	1,370	3,150	0,062
16	390	1,384	3,183	0,062
17	415	1,392	3,200	0,063
18	439	1,392	3,200	0,063
19	463	1,401	3,222	0,063
20	488	1,401	3,222	0,063
21	512	1,401	3,222	0,063
22	537	1,401	3,222	0,063
23	561	1,401	3,222	0,063
24	585	1,401	3,222	0,063
25	610	1,401	3,222	0,063
26	634	1,401	3,222	0,063



Obr. 72 Záznam amplitudy z osciloskopu.



Graf 47 Závislost třecího momentu na počtu cyklů.



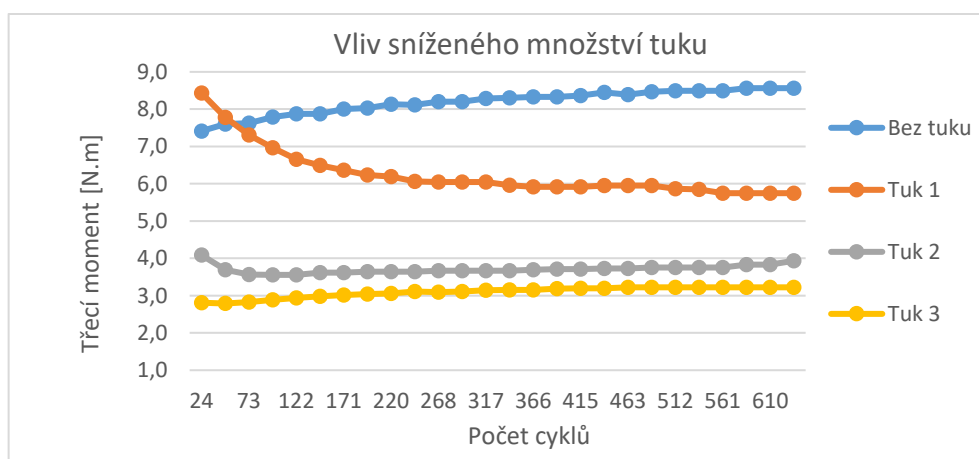
Graf 48 Závislost koeficientu tření na počtu cyklů.



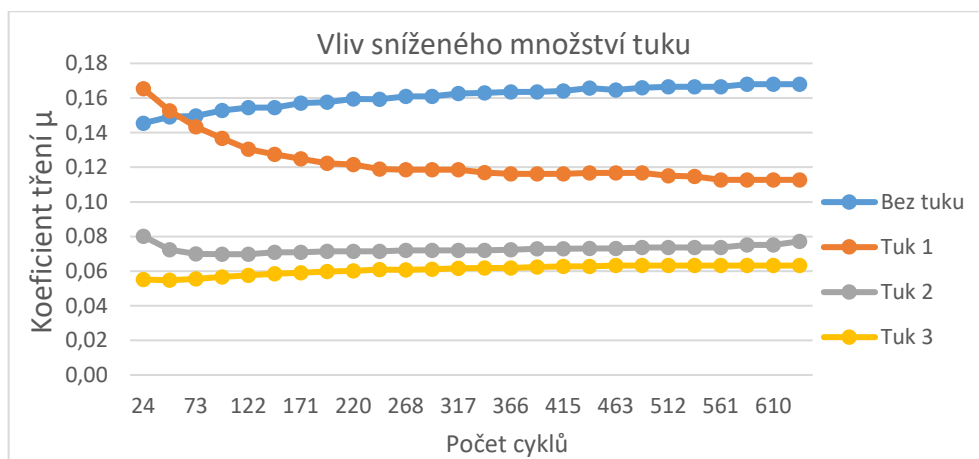
Při použití tuku 3 byl ze začátku zaznamenán menší pokles naměřených hodnot. Při 49 cyklech se tendence obrátila a hodnoty začali postupně vzrůstat, až se ustálily. Velikost třecího momentu  $M_T = 3,222 \text{ N.m}$ . Velikost koeficientu tření  $\mu = 0,063$ . Naměřené hodnoty se pohybovaly ve velmi malém intervalu. Po 79 cyklech docházelo při tření k nežádoucímu zvuku. Další měření s tukem 3 nebylo provedeno, protože vyvolávání zvuku z napínáku řemene je nežádoucí.

## Porovnání výsledků

Z výsledků měření vyplývá, že různé druhy použitého tuku výrazně ovlivňují třecí děj. Následující grafy (Graf 49, Graf 50, Graf 51, Graf 52) zobrazují porovnání měření bez použití tuku a měření s použitím jednotlivých tuků. Pro vzorek bez použití tuku jsou použity data z Tab.18. Parametry měření jsou totožné.

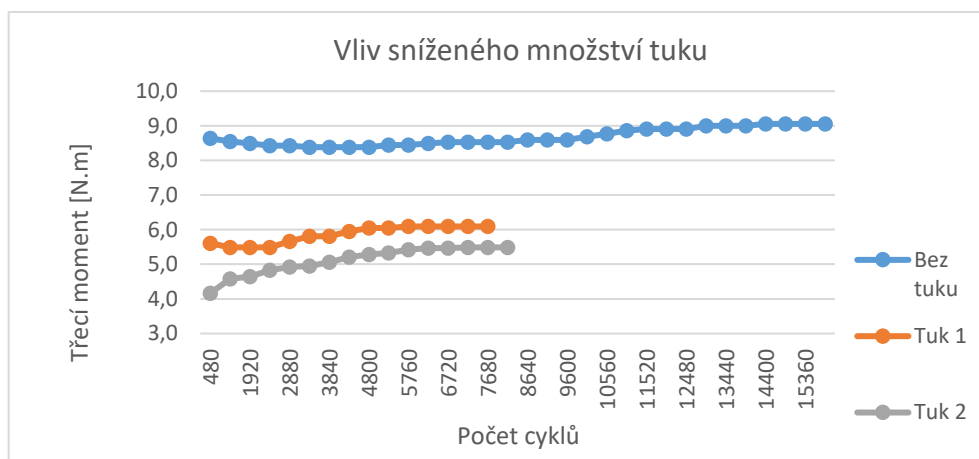


Graf 49 Porovnání závislosti třecího momentu na počtu cyklů.

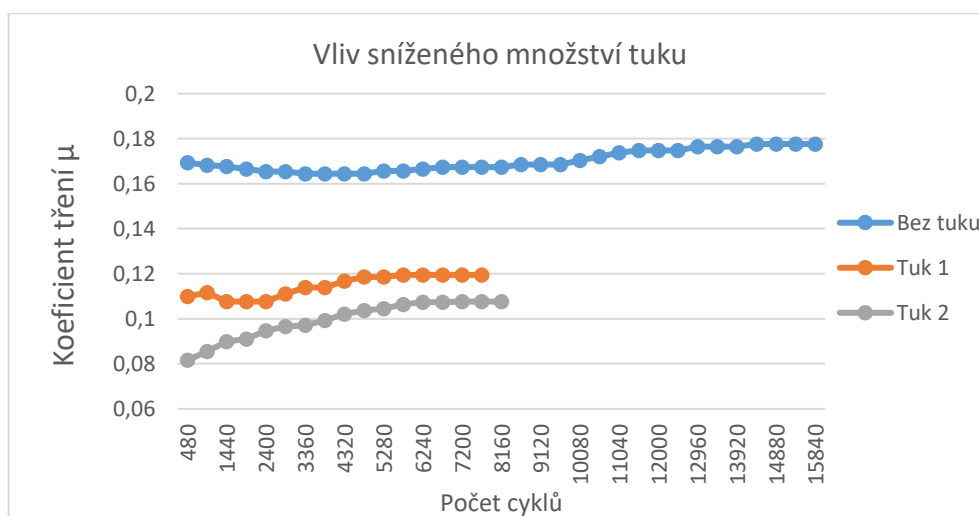


Graf 50 Porovnání závislosti koeficientu tření na počtu cyklů.

Při použití tuku 1 byly naměřené hodnoty nižší než bez použití tuku. Použitím tuku 2 došlo ke snížení naměřených hodnot, oproti tuku 1. Tuk 3 tyto hodnoty snížil ještě více, než při použití tuku 2.



**Graf 51** Porovnání závislosti třecího momentu na počtu cyklů.



**Graf 52** Porovnání závislosti koeficientu tření na počtu cyklů.

Výsledné koeficienty tření a velikosti třecích momentů jsou zobrazeny v následující tabulce (Tab.31).

Tab.31 Porovnání naměřených výsledků.

Vzorek	Bez tuku	Tuk 1	Tuk 2
Třecí moment [N.m]	9,055	6,092	5,487
Koeficient tření $\mu$	0,178	0,119	0,108

Ustálení naměřených hodnot došlo nejprve na vzorku opatřeným tukem 1 při 4 800 cyklech. Vzorek opatřený tukem 2 zůstal ustálen při 7 200 cyklech. Vzorek bez použití tuku zůstal ustálen při 14 400 cyklech. Vzorek s tukem 3 byl z měření vyřazen, neboť docházelo při měření k nežádoucímu zvuku.

## 5.4 Použitá měřidla

Pro předešlá laboratorní měření byla použita tato měřidla.

1. Laboratorní ověřená/cejchovaná váha KERN EW 620-3NM (Obr.73).  
Tato váha měří s přesností 1 mg.
2. Osciloskop DSOX2014A (Obr.74).
3. Snímač třecího momentu typ C 110 B (Obr.75).



Obr.73 Laboratorní váha KERN EW 620-3NM.



*Obr.74 Osciloskop DSOX2014A.*



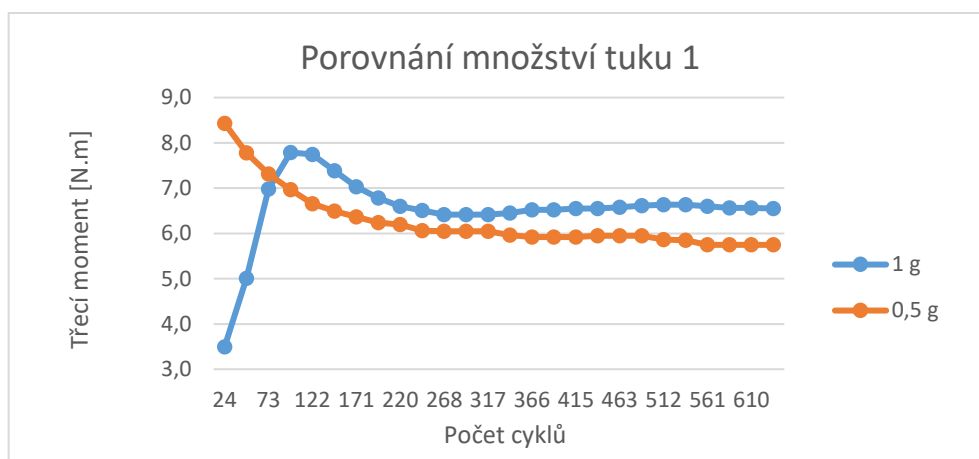
*Obr.75 Snímač třecího momentu typ C 110 B.*

## 6 Technicko-ekonomické posouzení navrženého řešení

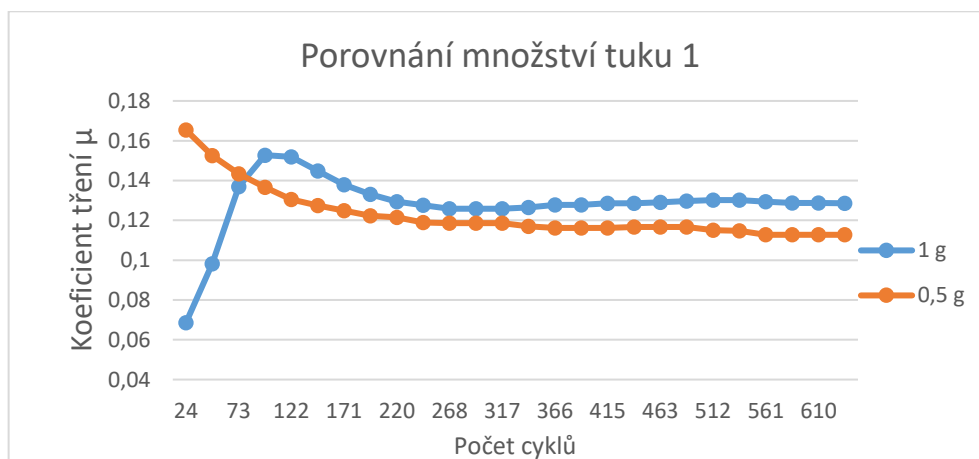
Z předcházejících laboratorních měření byly zaznamenány výsledky vlivu použitého tuku a jeho použité množství. V této části diplomové práce je porovnán vliv snížení množství tuku z 1 gramu na 0,5 gramu při stejném zatížení axiální silou.

### Porovnání množství tuku 1

Pro porovnání byla použita data z Tab.19 a Tab.26.

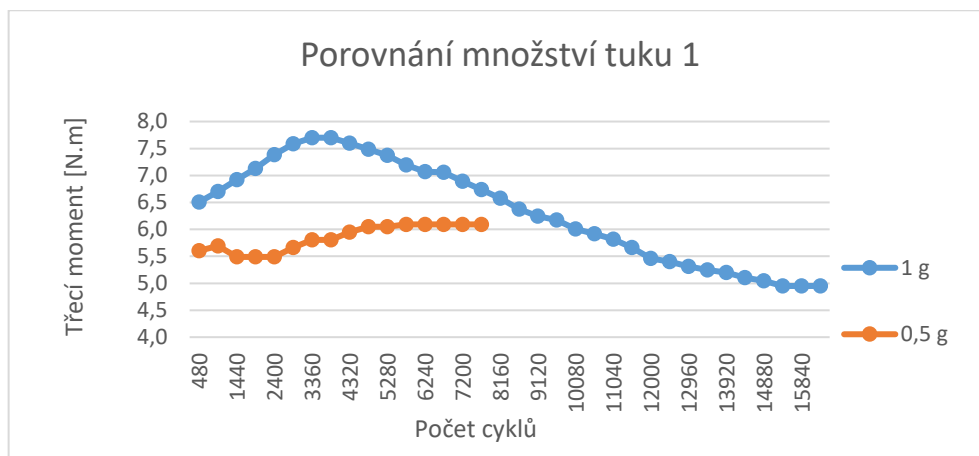


**Graf 53** Porovnání závislosti třecího momentu na počtu cyklů.

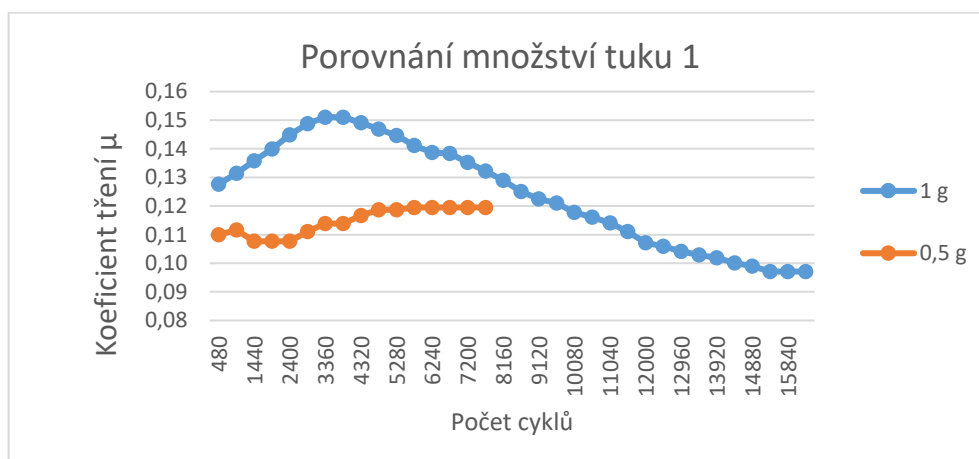


**Graf 54** Porovnání závislosti koeficientu tření na počtu cyklů.

Pro porovnání byla použita data z Tab.20 a Tab.27.



**Graf 55** Porovnání závislosti třecího momentu na počtu cyklů.



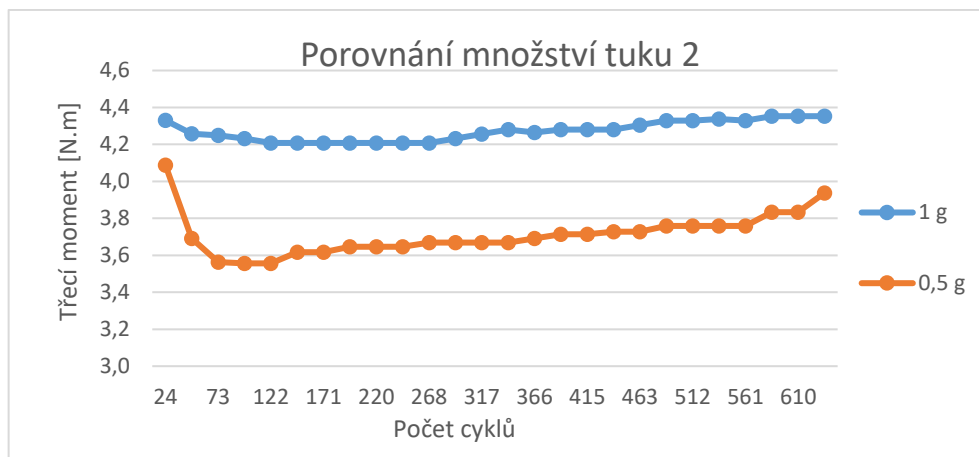
**Graf 56** Porovnání závislosti koeficientu tření na počtu cyklů.

Z grafů (Graf 53, Graf 54) lze vyčíst, že při krátkodobém testu snížením množství tuku o 50% dochází ke snížení koeficientu tření z 0,128 na 0,113. Rozdíl snížení hodnot činí 11,7 %.

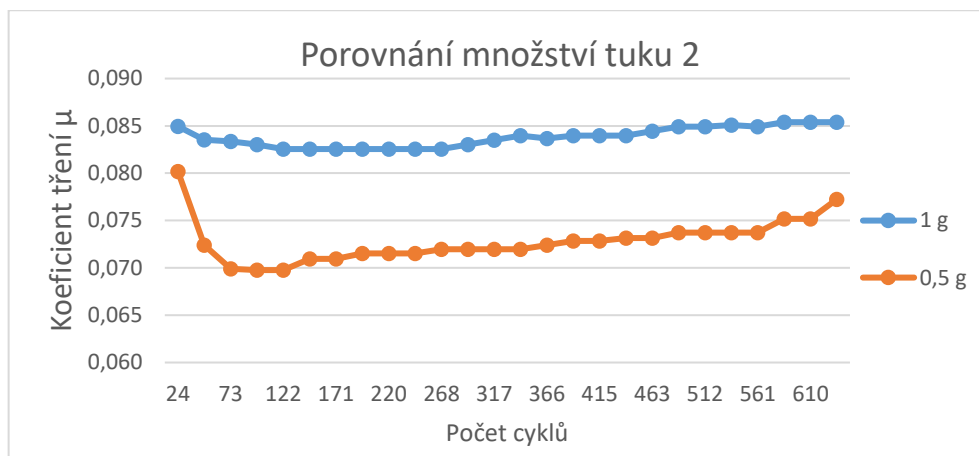
Porovnáním testů, při kterém byl interval mezi měřeními prodloužen na 20 minut (Graf 55, Graf 56), lze vyčíst následující informace. Při použití 1 gramu tuku se test ustálil po 15 360 cyklech. Při použití 0,5 gramu tuku se test ustálil již při 5 760 cyklech. Snížením množství tuku o 50 % dochází ke zvýšení koeficientu tření z 0,097 na 0,119. Snížením množství tuku vzrostl koeficient tření o 22,7 %.

## Porovnání množství tuku 2

Pro porovnání byla použita data z Tab.21 a Tab.28.

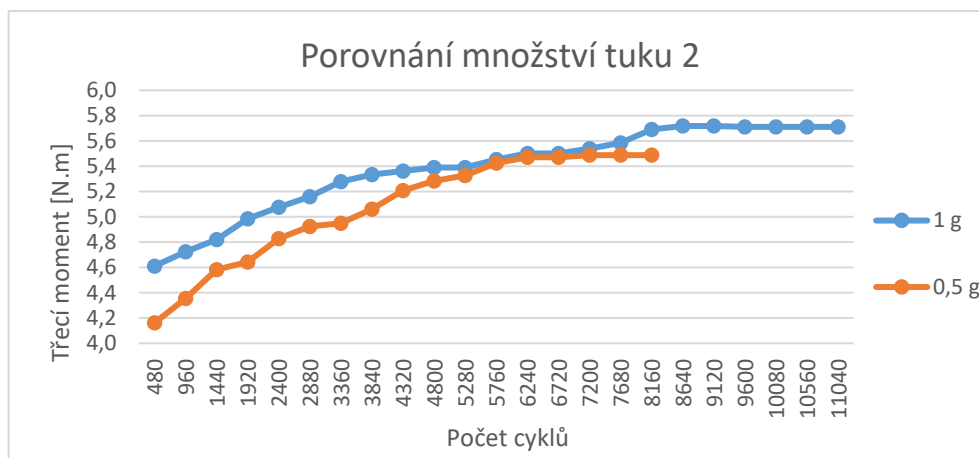


**Graf 57** Porovnání závislosti třecího momentu na počtu cyklů.

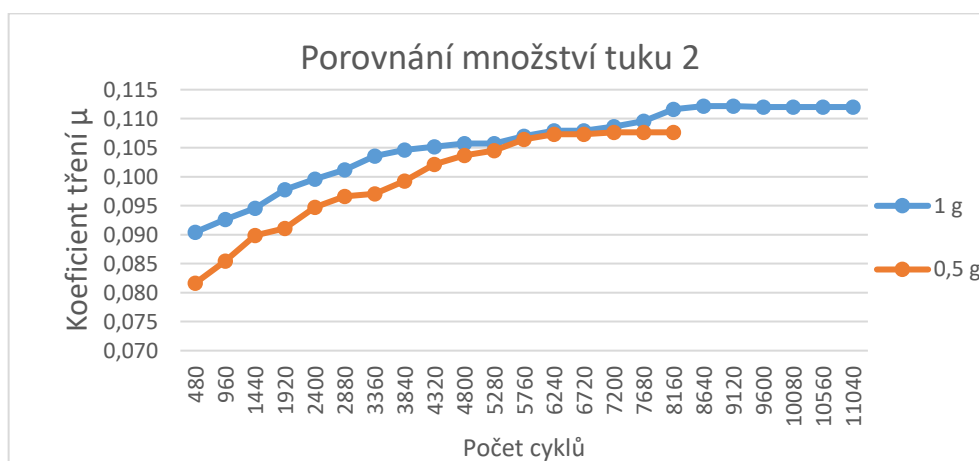


**Graf 58** Porovnání závislosti koeficientu tření na počtu cyklů.

Pro porovnání byla použita data z Tab.22 a Tab.29.



**Graf 59** Porovnání závislosti třecího momentu na počtu cyklů.



**Graf 60** Porovnání závislosti koeficientu tření na počtu cyklů.

Z grafů (Graf 57, Graf 58) lze vyčíst, že při krátkodobém testu snížením množství tuku o 50% dochází ke snížení koeficientu tření z 0,085 na 0,077. Rozdíl snížení hodnot činí 9,4 %.

Porovnáním testů, při kterém byl interval mezi měřeními prodloužen na 20 minut (Graf 59, Graf 60), lze vyčíst následující informace. Při použití 1 gramu tuku se test ustálil po 8 640 cyklech. Při použití 0,5 gramu tuku se test ustálil již při 6 240 cyklech. Snížením množství tuku o 50 % dochází ke snížení koeficientu tření z 0,112 na 0,108. Snížením množství tuku došlo ke snížení koeficientu tření o 3,6 %.



## 7 Závěr

Teoretická část diplomové práce shrnuje rozbor sledované problematiky. Jsou zde popsány řemenové převody. Možnosti opásání řemenových převodů. Druhy používaných řemenů. Možnosti napínání řemene. Dále jsou zde popsány systémy napínání řemene, které jsou používány v moderních osobních automobilech.

V praktické části diplomové práce jsou popsány části kónických systémů napínáků řemene. Jsou zde popsány vlastnosti materiálů používaných pro výrobu tlumících členů a používaných maziv v napínacích řemene. Dále jsou zde popsány prováděné testy napínáků řemene, které provádí firma Mubea. Firma dále poskytla přístroj pro měření tření mezi tlumícím členem a karbonitridovaným protikusem.

Nejprve byl měřen vliv použitého tuku na velikost třecího momentu a koeficientu tření. Množství použitého tuku pro měření odpovídá  $1,000 \pm 0,005$  gramu. Tuk byl na vzorek nanesen pomocí štětce. Axiální síla působící na vzorek  $F_z = 164$  N. Při měření bez použití tuku byla velikost třecího momentu  $M_T = 4,540$  N.m a velikost koeficientu tření  $\mu = 0,175$ . Použitím tuku 1 naměřené hodnoty nepatrně vzrostly. Velikost třecího momentu  $M_T = 4,837$  N.m. Velikost koeficientu tření  $\mu = 0,187$ . Při použití tuku 2 naměřené hodnoty byly menší než při měření bez použití tuku. Velikost třecího momentu  $M_T = 3,569$  N.m. Velikost koeficientu tření  $\mu = 0,138$ . Použitím tuku 3 naměřené hodnoty se snížily ještě více, než při použití tuku 2. Velikost třecího momentu  $M_T = 1,748$  N.m. Velikost koeficientu tření  $\mu = 0,068$ .

Poté byl měřen vliv velikosti axiální síly na velikost třecího momentu a koeficientu tření. Axiální síla působící na vzorek byla zvýšena  $F_z = 324$  N. Tato hodnota axiální síly odpovídá hodnotám během provozu. Množství použitého tuku pro měření odpovídá  $1,000 \pm 0,002$  gramu. Při měření bez použití tuku byla velikost třecího momentu  $M_T = 9,055$  N.m a velikost koeficientu tření  $\mu = 0,178$ . Použitím tuku 2 došlo ke snížení naměřených hodnot. Velikost třecího momentu  $M_T = 5,710$  N.m. Velikost koeficientu tření  $\mu = 0,112$ . Při použití tuku 1 naměřené hodnoty byly menší, než při měření s použitým tukem 2. Velikost třecího momentu  $M_T = 4,950$  N.m. Velikost koeficientu tření  $\mu = 0,097$ . Použitím tuku 3 naměřené hodnoty se snížily ještě více, než při použití tuku 1. Velikost třecího momentu  $M_T = 3,167$  N.m. Velikost koeficientu tření  $\mu = 0,062$ . Největší rozdíl naměřeného koeficientu tření byl u vzorku natřeným tukem 1.

Pro posouzení technicko-ekonomického řešení bylo provedeno měření s menším množstvím tuku, než se obvykle v praxi používá. Množství naneseného tuku odpovídá  $0,500 \pm 0,003$  g. Axiální síla působící na vzorek odpovídala velikosti  $F_z = 324$  N. Snížením aplikovaného množství tuku 1 o 50 % vzrostl koeficient tření o 22,7 %. Při snížení množství tuku 3 se při testu začal ozývat nežádoucí hluk. Snižování množství tuku 3 je zcela nevhodné. Nejlepšího výsledku bylo dosaženo při snížení množství tuku 2. Snížením aplikovaného množství tuku 2 o 50 % se koeficient tření snížil o pouhých 3,6 %. Snížením množství tuku lze z ekonomického hlediska dosáhnout značných úspor. Snížení použitého tuku má i značný vliv z ekologického hlediska. Před zavedením snížení tuku 2 do praxe doporučuji provést testy, které byly popsány v kapitole 4.

Tato práce v závěru vyřešila zadání v rozsahu obvyklém pro spolupráci ČVUT a technické praxe a bez souhlasu této vysoké školy a firmy Mubea není možno aplikovat výsledky.

## 8 Použitá literatura

- [1] „Mubea,“ [Online]. Available: <https://www.mubea.com/cz/home/>. [Přístup získán 15 08 2017].
- [2] „Mubea Carbo Tech,“ 2012. [Online]. Available: <http://www.carbotech.at/>. [Přístup získán 15 08 2017].
- [3] „Wikipedia,“ 2017. [Online]. Available: <https://de.wikipedia.org/wiki/Mubea>. [Přístup získán 15 08 2017].
- [4] „RepairPal,“ 2018. [Online]. Available: <https://repairpal.com/estimator/drive-belt-tensioner-replacement-cost>. [Přístup získán 2 6 2018].
- [5] V. ŠVEC, Části a mechanismy strojů: Mechanické převody., Praha: ČVUT ISBN 80-01-01934-9., 1999.
- [6] R. KRŮŽ, Stavba a provoz strojů II: Převody., Praha: SNTL - Nakladatelství, 1978.
- [7] M. Beneda, Variátory a jejich použití., Plzeň: Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni., 2013.
- [8] M. SVOBODOVÁ, „Převody a mechanismy: Řemenové převody.,“ [online]. 2013 [cit. 2017-08-07]. Dostupné z: [http://domes.spssbrno.cz/web/DUMy/SPS,%20MEC,%20CAD/VY\\_32\\_INOVACE\\_15-09.pdf](http://domes.spssbrno.cz/web/DUMy/SPS,%20MEC,%20CAD/VY_32_INOVACE_15-09.pdf), 2013.
- [9] S. K. J. HOSNEDL, Příručka strojního inženýra: Obecné strojní části 2., Praha: ISBN 80-7226-202-5, 2000.
- [10] F. DRASTÍK, Základy strojírenství. Doplnkové skriptum., Praha: ČVUT, 1985.
- [11] J. DILLINGER, Moderní strojírenství pro školu i praxi., Praha: ISBN 978-80-86706-19-1, 2007.
- [12] „Pikron Ploché řemeny,“ [Online]. Available: Dostupné z: <https://www.pikron.cz/admin/images/1046.pdf>. [Přístup získán 08 08 2017].
- [13] R. KRŮŽ, C. MARTINISKO a K. WEIGNER, Strojírenská konstrukce I., Praha: SNTL, 1986.
- [14] M. AKADEMIE, „Belt Tension Systems,“ 2013. [Online]. Available: [https://academy.group.mubea.net/Academy%20brochures/Produkttheft\\_Riemenspannsystem\\_EN\\_v2.pdf](https://academy.group.mubea.net/Academy%20brochures/Produkttheft_Riemenspannsystem_EN_v2.pdf). [Přístup získán 09 09 2017].

- [15] L. DEBRUIN, Energy and Feasibility Analysis of Gasoline Engine Start/Stop Technology., Ohio: Vysokoškolská práce. The Ohio State University., 2013.
- [16] M. VAŠINA, STUDIUM MATERIÁLŮ Z HLEDISKA TLUMENÍ ZVUKU A VIBRACÍ., Brno: Tézé habilitační práce. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ., 2010.
- [17] P. STÍSKAL, BEZÚDRŽBOVÝ SVISLÝ SOUSTRUH., Brno: Diplomová práce. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ., 2012.
- [18] L. Grach, „ČIŠTĚNÍ VNITŘNÍCH PLOCH OTOPNÉ SOUSTAVY., Praha:“ Bakalářská práce, ČVUT, 2016.
- [19] Č. 656901., Plastická maziva. Klasifikace podle penetrace., 1990.
- [20] *Pulley life test*, Mubea, 2009.
- [21] *BDS-Validation*, Mubea, 2008.
- [22] Pracovní postup, *Návod pro obsluhu zařízení měření tloušťky Damping elementu*, Mubea, 2007.
- [23] *Hubload step test*, Mubea, 2007.
- [24] *Pravidla bezpečného zacházení při obsluze a údržbě kabinového rentgenového systému MUI5F*, Státní úřad pro jadernou bezpečnost, 2010.
- [25] *Hysteresis of Belt Tensioners*, Mubea, 2007.
- [26] E. ČERNÝ, Dynamický tester napínáku řemene., Plzeň: Diplomová práce. ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI., 2015.
- [27] Kříkava, *Měření sklonu napínáku*, Mubea, 2011.
- [28] Kříkava, *Měření výšky napínáku*, Mubea, 2012.
- [29] Kříkava, *Měření amplitudy a frekvence stroboskopem.*, Mubea, 2011.
- [30] *Wear and Tear Test*, Mubea, 2017.
- [31] ČSN EN ISO 9227, Korozní zkoušky v solných atmosférách - Zkoušky solnou mlhou., Praha: Úřad pro technickou normalizace, metrologii a státní zkušebnictví., 2012.
- [32] *Salt Spray Test*, Mubea, 2017.
- [33] *Aggressive Liquid Resistance*, Mubea, 2017.
- [34] *Dynamic Hysteresis*, Mubea, 2017.
- [35] *Resonance Shaker Test*, Mubea, 2017.

- [36] *Mud Test*, Mubea, 2017.
- [37] *Start-Stop-Test*, Mubea, 2017.
- [38] *Customer Engine Test*, 2017: Mubea.
- [39] *Vehicle Test*, Mubea, 2017.
- [40] J. BEČKA, *Tribologie.*, Praha: ČVUT, ISBN 80-01-01621-8, 1997.