



Konstrukce zkušebního zařízení pro testování šroubů připevňujících vodící čepy ke třmenu brzdy

Diplomová práce

Studijní program: N2301 – Strojní inženýrství
Studijní obor: 2302T010 – Konstrukce strojů a zařízení
Autor práce: **Bc. Jaroslav Veselý**
Vedoucí práce: doc. Dr. Ing. Pavel Němeček



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta strojní
Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jaroslav Veselý**
Osobní číslo: **S13000803**
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Konstrukce strojů a zařízení**
Název tématu: **Konstrukce zkušebního zařízení pro testování šroubů připevňujících vodící čepy ke třmenu brzdy**
Zadávací katedra: **Katedra vozidel a motorů**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Definujte základní metody testování šroubů připevňujících vodící čepy ke třmenu brzdy.
2. Navrhněte jednoúčelové zařízení pro testování šroubů připevňujících vodící čepy ke třmenu brzdy.
3. Zpracujte výrobní dokumentaci navrhovaného řešení.
4. Řešení zhodnoťte.

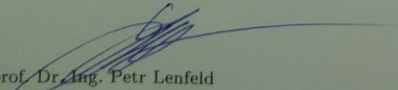
Rozsah grafických prací: **Výkresová dokumentace**
Rozsah pracovní zprávy: **50 stran textu + CD**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

- [1] VLK, František. Diagnostika motorových vozidel. Brno: Nakladatelství a vydavatelství VLK, 2006. ISBN 80-239-7064-X.
[2] PEŠÍK, Lubomír. Části strojů. 1. díl. Liberec: TU v Liberci 2005. ISBN 80-7083-938-4.
[3] PEŠÍK, Lubomír. Části strojů. 2. díl. Liberec: TU v Liberci 2005. ISBN 80-7083-939-2.

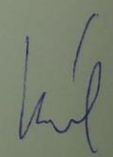
Vedoucí diplomové práce: **doc. Dr. Ing. Pavel Němeček**
Katedra vozidel a motorů

Datum zadání diplomové práce: **6. března 2015**

Termín odevzdání diplomové práce: **6. června 2016**


prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
děkan




Ing. Robert Voženilek, Ph.D.
vedoucí katedry

V Liberci dne 6. března 2015

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

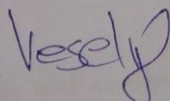
Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum: 27.5.2016

Podpis:





KONSTRUKCE ZKUŠEBNÍHO ZAŘÍZENÍ PRO TESTOVÁNÍ ŠROUBŮ PŘIPEVNŮJÍCÍ VODÍCÍ ČEPY KE TŘMENU BRZDY

Anotace

Tato diplomová práce se zabývá vytvořením konstrukčního návrhu testovacího zařízení pro testování šroubů připevňující vodící čepy ke třmenu brzdy ve spolupráci s firmou TRW Automotive s.r.o. Jablonec nad Nisou. Dále je v ní zpracován přehled základních zkoušek používaných pro testování šroubů, a jejich krátký popis.

Klíčová slova: zkoušky šroubů, brzdy, TRW, zkušební zařízení, konstrukce

CONSTRUCTION OF TESTING EQUIPMENT FOR TESTING BOLTS SECURING PINS IN BRAKE CALIPER

Annotation

This thesis deals with construction of testing equipment for testing bolts securing pins in brake caliper in cooperation with TRW Automotive s.r.o. Jablonec nad Nisou. Further there is created an overview of the basic tests used for testing of bolts, and their short description.

Key words: testing bolts, brakes, TRW, testing equipment, construction

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce doc. Dr. Ing. Pavlu Němečkovi, konzultantovi Ing. Radku Holubcovi a všem ostatním, kteří se podíleli na této práci nebo poskytli podklady pro její vytvoření. Dále bych chtěl také velice poděkovat rodině za plnou podporu během studia.



Obsah

1	Úvod.....	8
1.1	Požadavky na testovací zařízení.....	9
1.2	Představení TRW	9
1.3	Současný stav měření	10
2	Rešeršní část.....	11
2.1	Popis testovaných dílů.....	11
2.2	Základní metody používané k testování šroubů	12
2.2.1	Tahová zkouška.....	12
2.2.2	Zkoušky tvrdosti	26
2.2.3	Zkouška krutem.....	29
2.2.4	Zkouška rázové houževnatosti hlavy	31
2.2.5	Zkouška oduhličení	32
2.2.6	Zkouška struktury/metalografie	34
2.2.7	Junkerův vibrační test spolehlivosti utažení	38
3	Konstrukční část.....	39
3.1	Popis zkoušky.....	39
3.2	Upínací část zařízení.....	39
3.2.1	Postup upnutí třmenu do upínacího zařízení.....	41
3.2.2	Pevnostní výpočet	42
3.2.3	Volba pružiny.....	42
3.2.4	Excentrická páka použitá při upínání.....	47
3.3	Pohon.....	48
3.3.1	Převodovka.....	48
3.3.2	Servomotor	50
3.4	Snímač točivého momentu a úhlu pootočení	51
3.4.1	Snímač točivého momentu DR-2 od firmy LM.....	51
3.4.2	Snímač točivého momentu T20WN od firmy HBM.....	52
3.4.3	Výběr snímače.....	53
3.4.4	Připojení snímače točivého momentu	53
3.5	Lineární vedení.....	54
3.5.1	Lineární vedení pro nastavení polohy v ose testovaného šroubu a v horizontální ose kolmé k ose šroubu.....	54

3.5.2	Lineární vedení pro nastavení vertikální měřící polohy	56
3.6	Základna	57
4	Závěr	59
5	Seznam obrázků	60
6	Seznam tabulek	62
7	Seznam použité literatury	63



1 ÚVOD

Jedním z nejdůležitějších prvků aktivní bezpečnosti ve vozidle je jeho brzdový systém. Ten slouží ke zpomalení popř. k zastavení vozidla, čímž lze zabránit případné nehodě. Na tento systém je kladeno mnoho požadavků, především musí být vždy a za každých okolností spolehlivý. Proto musí být všechny jeho části dostatečně naddimenzovány a otestovány, než jsou začleněny do sériové výroby, stejně tak musí být průběžně testovány i během výroby, aby vždy splňovali předepsané hodnoty.

Mezi tyto části patří i šrouby připevňující vodící čepy ke třmenu brzdy, které jsou testovány různými způsoby. Jednou ze zkoušek, kterou jsou tyto šrouby testovány, je také tzv. krutová zkouška, ze které se dá určit, zda mechanické vlastnosti šroubů odpovídají požadavkům výrobce. V tomto případě firmy TRW Automotive s.r.o. Jablonec nad Nisou. Takto se testuje vždy náhodně několik kusů třmenů, na nichž jsou upevněny dva vodící čepy. Otestovat všechny tyto šrouby je časově náročné, a právě z důvodu zlepšení tohoto procesu testování bylo vytvořeno téma této diplomové práce. Jejím cílem by mělo být vytvořit konstrukční návrh testovacího zařízení, na kterém by se daly testovat všechny brzdové třmeny vyráběné ve firmě TRW Automotive s.r.o. Jablonec nad Nisou.

1.1 Požadavky na testovací zařízení

- Schopnost měřit točivý moment a pootočení s dostatečnou přesností
- Měření do maximálního točivého momentu 200 Nm
- Možnost upínání různých brzdových třmenů
- Rychlé a bezpečné upínání brzdových třmenů
- Nízké pořizovací náklady
- Jednoduchost, možnost výroby v dílně TRW
- Nízká hmotnost (možnost přenášení zařízení)

1.2 Představení TRW



Obr. 1 Logo firmy TRW Automotive s.r.o.

TRW (Thompson Ramo Wooldridge) Automotive zaměstnává přes 70 000 lidí ve více než 200 závodech po celém světě, díky čemuž patří mezi přední světové výrobce a dodavatele dílů pro automobilový průmysl [1].

Firma vyrábí mnoho různých dílů především pro podvozkový systém vozidel, jako jsou brzdové komponenty, díly řízení a zavěšení kol. Díly brzdových systémů zabírají více než 95 % výroby v TRW [1].

Počátky vývoje a výroby brzdových dílů v Jablonci nad Nisou začínají v roce 1952, kdy zde firma Autobrzdý n.p. započala výrobu brzd pro osobní a užitkové automobily. Podnik takto fungoval až do roku 1992, kdy se vyčlenil, a tak vznikla firma Autobrzdý s.r.o. O rok později tuto firmu převzal zahraniční investor a došlo ke změně jména na Lucas Autobrzdý s.r.o. Další velká změna nastala v roce 1999, kdy koncern TRW koupil firmu Lucas a v roce 2010 vznikla TRW Automotive Czech [1].



Obr. 2 Výrobní a montážní linky v TRW Automotive Czech s.r.o. Jablonec nad Nisou [1]

TRW Automotive Czech s.r.o. Jablonec nad Nisou se zabývá vývojem, výrobou a prodejem brzd a brzdových komponentů pro světové automobilky. Mezi jejich zákazníky patří například koncern VW (Škoda, Volkswagen, Audi, Seat), BMW, OPEL, Renault, Citroen, FORD, Kia a další [1].

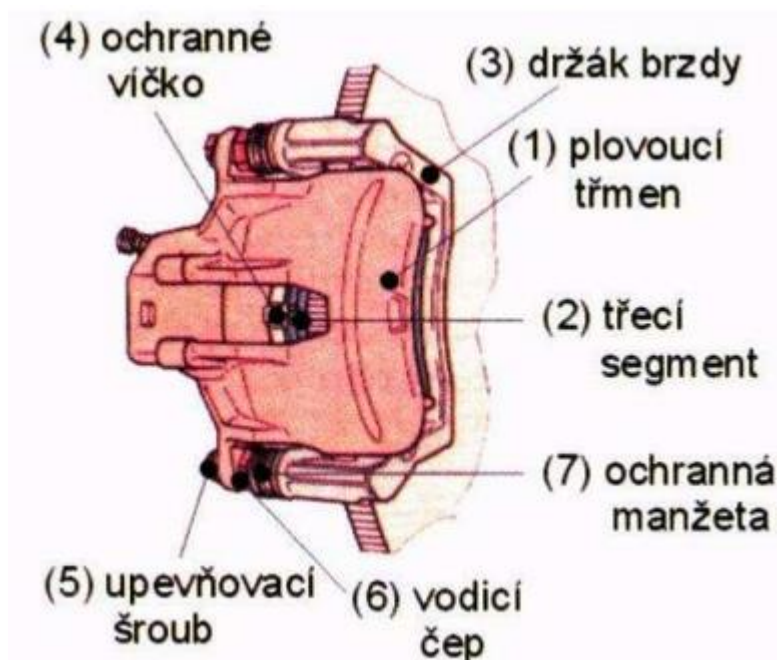
1.3 Současný stav měření

V současnosti testuje šrouby připevňující vodící čepy ke třmenu brzdy technik ve firmě TRW pomocí ručního momentového klíče. Nejprve testovaný třmen upne do svěráku a pomocí momentového klíče utahuje šroub až do jeho porušení. Tento postup není příliš efektivní, neboť se takto testuje deset kusů od každého typu třmenu, a každý třmen musí technik upínat dvakrát, což vyžaduje poměrně hodně času. Zároveň má používaný momentový klíč pro potřeby TRW poměrně hrubý krok měření pootočení, ovšem dokáže sám spočítat mez kluzu testovaného materiálu.

2 REŠERŠNÍ ČÁST

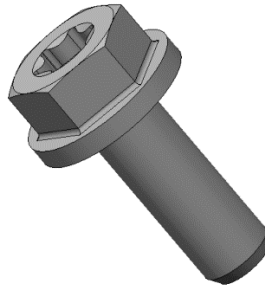
2.1 Popis testovaných dílů

Objektem testování jsou šrouby (5), které připevňují vodící čepy (6) ke třmenu brzd (1). Jedná se o kotoučové brzdy v provedení s plovoucím třmenem, kdy v pohyblivém tělese (třmenu) píst potlačuje vnitřní brzdové obložení (destičku) přímo k brzdovému kotouči. Tím se vyvolá reakce, která posune třmen v opačném směru, což přitlačí vnější brzdové obložení k brzdovému kotouči. Zde se kinetická energie vozidla mění v energii tepelnou, která je odváděna do okolí. Třmen se pohybuje po vodících čepích, které mu umožňují lineární pohyb ve směru osy kola automobilu.



Obr. 3 Kotoučová brzda s plovoucím třmenem [2]

Materiál šroubů používaných firmou TRW je TN 898 EN ISO 10.9, kde číslice 10.9 udává třídu pevnosti šroubu, tvar viz Obrázek 4. Třída pevnosti šroubů udává minimální pevnost v tahu R_m – první číslo krát 100 a minimální mez kluzu R_e , případně mez pružnosti $R_{p0,2}$ – první číslo vynásobíme desetinásobkem druhého čísla. Pro konkrétní třídu 10.9 tedy platí, že minimální pevnost v tahu je $R_m = 1\ 000$ MPa a minimální mez kluzu je $R_e = 900$ MPa. Tato třída se používá pro vysoce namáhané spoje.

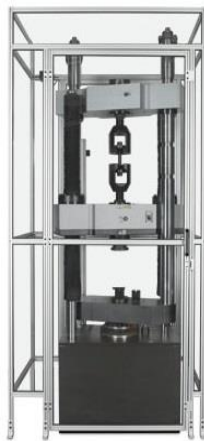


Obr. 4 Šroub připevňující vodící čepy ke třmenu brzdy používaný firmou TRW

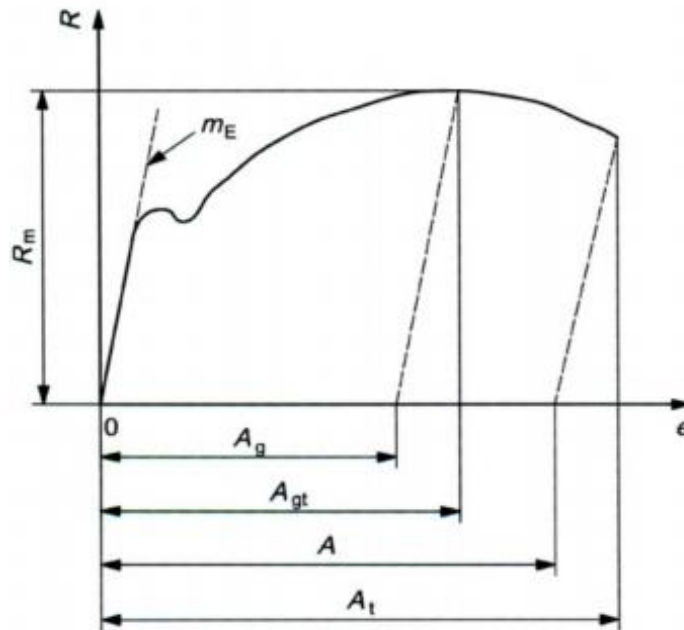
2.2 Základní metody používané k testování šroubů

2.2.1 Tahová zkouška

Tahová zkouška je základní a nejrozšířenější statická zkouška mechanických vlastností materiálu. Zkoušená mechanická součást se napíná v hydraulicky nebo mechanicky poháněném trhacím stroji (Obr. 5) pozvolna rostoucí silou, až dojde k přetržení součásti. Měří se velikost síly a odpovídající prodloužení. Výsledný graf závislosti zatěžující síly na prodloužení se nazývá pracovní diagram (Obr. 6).



Obr. 5 Zařízení pro tahovou zkoušku firmy Instron a detail uchycení testovaného šroubu v čelistech [9] [10]



Obr. 6 Pracovní diagram tahové zkoušky

- kde:

- A ... tažnost (stanovená průtahoměrem nebo přímo ze zkušebního tělesa) [%]
- A_g ... plastické prodloužení měřené průtahoměrem při maximálním zatížení [%]
- A_{gt} ... celkové prodloužení měřené průtahoměrem při maximálním zatížení [%]
- A_t ... celková tažnost [%]
- e ... prodloužení měřené průtahoměrem [%]
- m_E ... celková délka zkušebního tělesa [mm]
- R ... napětí [Pa]
- R_m ... mez pevnosti v tahu [MPa]
- Δe ... poloměr zaoblení [mm]

2.2.1.1 Tahová zkouška pod klínem zatížení dokončených šroubů

2.2.1.1.1 Popis zkoušky

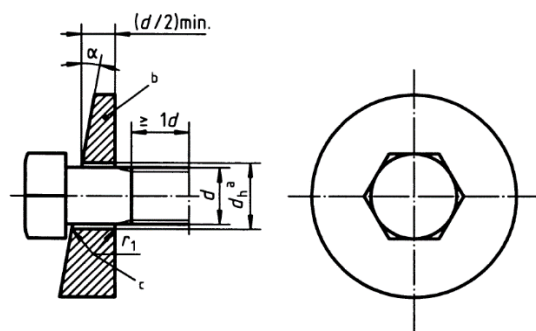
Pomocí této varianty tahové zkoušky se stanoví současně mez pevnosti v tahu dokončených šroubů R_m a neporušenost přechodové vrstvy mezi hlavou šroubu a dříkem šroubu se závitem nebo bez závitu [3].

Pro stavební šrouby, které mají krátkou délku volného závitu, může být tahová zkouška pod klínem zatížení provedena s volnou závitovou délkou l_{th} menší než $1d$ [3].

Tato zkouška musí být provedena dle ISO 6892-1. Rychlost zkoušky nesmí být vyšší než 25 mm/min, a musí být plynulá až do výskytu lomu. Měří se největší zatížení F_m [3].

2.2.1.1.2 Zkušební zařízení

Zkušební zařízení pro zkoušku tahem musí splňovat podmínky dle ISO 7500-1. Zároveň musí být dostatečně tuhé, aby bylo zabezpečené proti ohybovému namáhání mezi hlavou a dříkem šroubu. Úhel klínu α upravuje pro různé velikosti šroubů norma ISO 898-1 [3].



- kde:

- d_h ... průměr daný normou ISO 273 (tabulka 10 v normě ISO 898) [mm]
- c ... zaoblení nebo sražení pod úhlem 45°
- b ... minimální tvrdost podložky 45HRC

Obr. 7 Schéma klínového uchycení šroubu [3]

2.2.1.1.3 Použitelnost zkoušky

Tuto variantu tahové zkoušky je možné využít pro testování šroubů splňujících tato kritéria:

- plochý nebo vroubkovaný povrch
- silnější hlavu než závitovou část
- silnější hlavu než libovolný dřík bez závitu
- průměr libovolného dříku bez závitu $d_s > d_2$ nebo $d_s \approx d_2$
- jmenovitou délku $l \geq 2,5d$
- délku závitu $b \geq 2d$
- stavební šroub $b < 2d$
- $3\text{mm} \leq d \leq 39\text{mm}$
- všechny třídy pevnosti

2.2.1.1.4 Vyhodnocení zkoušky

Mez kluzu R_m se vypočte z jmenovitého výpočtového průřezu $A_{s,nom}$ a největšího zatížení F_m , které je měřeno během zkoušky.

$$R_m = \frac{F_m}{A_{s,nom}}$$

$$A_{s,nom} = \frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{d_2 + d_3}{2} \right)^2$$

$$d_3 = d_1 - \frac{H}{6}$$

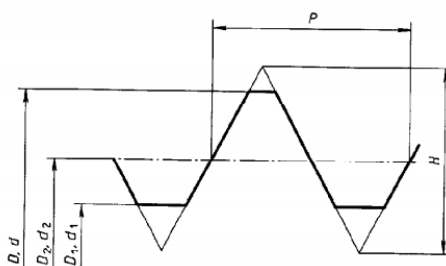
- kde:

d_1 ... základní malý průměr vnějšího závitu dle ISO 724 [mm]

d_2 ... základní roztečný průměr vnějšího závitu dle ISO 724 [mm]

d_3 ... malý průměr vnějšího závitu [mm]

H ... výška základního trojúhelníku závitu dle ISO 68-1 [mm]



Obr. 8 Základní rozměry závitu (d - šroub, D - matka) [3]

Pro dokončené šrouby s plochou hlavou s průměry většími než $1,7d$, které při této zkoušce selžou, mohou být hlavy šroubu obrobena na $1,7d$ a znovu přezkoušeny. Dále pro dokončené šrouby s plochou hlavou o průměru větším než $1,9d$ a úhlem klínu 10° může být zmenšen úhel klínu na 6° [3].

Podmínky pro splnění zkoušky pod klínem zatížení dokončených šroubů:

- pro šrouby $d_s > d_2$ a šrouby se závitem k hlavě se musí lom vyskytnout ve volné závitové délce
- pro spojovací součásti s $d_s \approx d_2$ se musí lom vyskytnout ve volné závitové délce nebo v dřívku bez závitu
- hodnoty R_m a minimální mezního zatížení $F_{m,min}$ musí vyhovovat normě ISO 898-1 [3]

Podmínky stanovení neporušenosti přechodové oblasti mezi hlavou a dříkem šroubu:

- lom se nesmí vyskytnout v hlavě šroubu
- u šroubů s dříkem bez závitu se nesmí lom vyskytnout v přechodové oblasti mezi hlavou a dříkem
- porucha způsobená lomem u šroubů se závitem k hlavě, se může šířit do přechodové oblasti mezi hlavou a dříkem šroubu pokud vzniká ve volné délce závitu [3]

2.2.1.2 Tahová zkouška dokončených šroubů pro stanovení pevnosti v tahu R_m

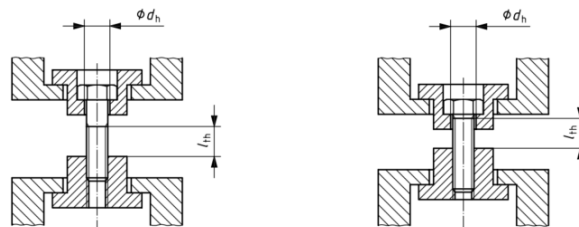
2.2.1.2.1 Popis zkoušky

Pomocí této tahové zkoušky se určuje pevnost v tahu dokončených spojovacích součástí R_m . Může se kombinovat s tahovou zkouškou pro šrouby úplné velikosti pro stanovení tažnosti při přetržení A_f a meze kluzu v 0,004 $8d$ neúměrného prodloužení R_{pf} (popsána samostatně v 2.2.1.3).

2.2.1.2.2 Zkušební zařízení

Zkušební zařízení pro zkoušku tahem musí splňovat podmínky dle ISO 7500-1 (Kovové materiály - Ověřování statických jednoosých zkušebních strojů – Část 1: Tahové a tlakové zkušební stroje – Ověřování a kalibrace systému měření síly). Musí být také zajištěno zamezení stranovému vychýlení spojovací součásti např. samoustavením. Svěrky a adaptéry musí splňovat tyto podmínky:

- tvrdost minimálně 45HRC
- průměr díry d_h dle ISO 898-1
- toleranční třídy závitů vnitřních závitových adaptérů dle ISO 898-1 [3]



-kde:

d_h ... průměr díry [mm]

l_{th} ... volná závitová délka spojovací součásti ve zkušebním zařízení [mm]

Obr. 9 Uchycení dokončeného šroubu při tahové zkoušce [3]

2.2.1.2.3 Použitelnost zkoušky

Tato varianta tahové zkoušky se využívá pro testování šroubů splňujících tato kritéria:

- silnější hlavu než dřík se závitem
- silnější hlavu než libovolný dřík bez závitu
- průměr libovolného dříku bez závitu $d_s > d_2$ nebo $d_s \approx d_2$
- jmenovitou délku $l \geq 2,5d$
- délku závitu $b \geq 2d$
- stavební šroub $b < 2d$
- $3\text{mm} \leq d \leq 39\text{mm}$
- všechny třídy pevnosti

2.2.1.2.4 Vyhodnocení zkoušky

Mez kluzu dokončených spojovacích součástí se vypočte stejným způsobem jako u tahové zkoušky pod klínem zatížení dokončených šroubů (2.2.1.1.4).

Podmínky pro splnění zkoušky dokončených šroubů:

- pro šrouby $d_s > d_2$ se musí lom vyskytnout ve volné závitové délce
- pro šrouby s $d_s \approx d_2$ se musí lom vyskytnout ve volné závitové délce nebo v dříku bez závitu
- hodnoty R_m a minimální mezního zatížení $F_{m,min}$ musí vyhovovat normě ISO 898-1
- porucha způsobená lomem u šroubů se závitem k hlavě, se může šířit do přechodové oblasti mezi hlavou a dříkem šroubu pokud vzniká ve volné délce závitu

2.2.1.3 Tahová zkouška pro šrouby úplné velikosti pro stanovení tažnosti při přetržení A_f a meze kluzu v $0,004\ 8d$ neúměrného prodloužení R_{pf}

2.2.1.3.1 Popis zkoušky

Pomocí této tahové zkoušky se určuje zároveň tažnost při přetržení spojovací součásti úplné velikosti A_f a mez kluzu v $0,004\ 8d$ neúměrného prodloužení pro spojovací součásti úplné velikosti. Může se kombinovat s tahovou zkouškou

dokončených šroubů pro stanovení pevnosti v tahu R_m (popsána samostatně v 2.2.1.2).

Tato zkouška musí být provedena dle ISO 6892-1. Rychlost zkoušky nesmí být vyšší než 10mm/min až do zatížení v 0,004 $8d$ neúměrného prodloužení F_{pf} a 25mm/min [3].

Zkušební zatížení f se měří nepřetržitě až do výskytu lomu, a to buď přímo pomocí elektronických zařízení, nebo na ohybové křivce po přerušení (křivka je vykreslována automaticky nebo graficky, viz ISO 6892-1). Pro přijatelné odpovídající grafické měření musí být stupnice křivky taková, že sklon křivky (rovná část křivky) bude ležet mezi 30° a 45° před osou zatížení. Šrouby jsou zkoušeny v adaptérech zobrazených na Obrázku 15. Délka činného závitu musí být minimálně $1d$ a volná závitová délka l_{th} namáhaná zatížením musí být alespoň $1,2d$ [3].

2.2.1.3.2 Zkušební zařízení

Zkušební zařízení musí splňovat stejné podmínky jako u tahové zkoušky dokončených šroubů pro stanovení pevnosti v tahu R_m (2.2.3.2.2). Zároveň musí být také dostatečně tuhé, aby se předešlo deformacím, které mohou ovlivňovat stanovení zatížení v 0,004 $8d$ neúměrného prodloužení F_{pf} nebo tažnosti při přetržení A_f [3].

2.2.1.3.3 Použitelnost zkoušky

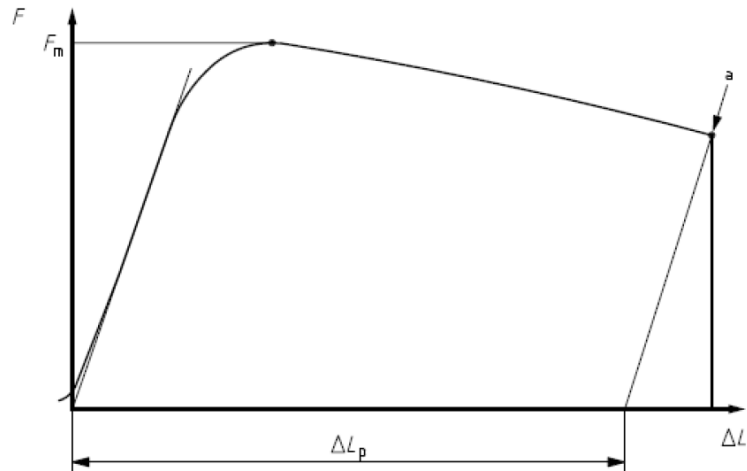
Tato varianta tahové zkoušky lze využít pro testování šroubů splňujících tato kritéria:

- šrouby se silnější hlavou, které mají dřík se závitem
- šrouby se silnější hlavou, které mají libovolný dřík bez závitu
- libovolný dřík bez závitu $d_s > d_2$ nebo $d_s \approx d_2$
- jmenovitou délku $l \geq 2,7d$
- délku závitu $b \geq 2,2d$
- šrouby s celkovou délkou $l_t \geq 3,2d$
- $3\text{mm} \leq d \leq 39\text{mm}$
- všechny třídy pevnosti

2.2.1.3.4 Vyhodnocení zkoušky

Určení tažnosti A_f při přetržení

Trvalé prodloužení ΔL_p je měřeno přímo na zátěžové křivce.



Obr. 10 Závislost prodloužení na zatížení pro určení tažnosti při přetržení [3]

Tažnost se vypočte z následujícího vztahu:

$$A_f = \frac{\Delta L_p}{1,2 \cdot d}$$

Určení meze kluzu v $0,0048d$ neúměrného prodloužení R_{pf}



Obr. 11 Závislost prodloužení na zatížení pro určení meze kluzu neúměrného prodloužení [3]

Mez kluzu v $0,004\ 8d$ neúměrného prodloužení R_{pf} se vypočte z následujícího vztahu:

$$R_{pf} = \frac{F_{pf}}{A_{s,nom}}$$

Podmínky pro splnění tahové zkoušky pro šrouby úplné velikosti pro stanovení tažnosti při přetržení A_f a meze kluzu v $0,004\ 8d$ neúměrného prodloužení R_{pf} :

- pro třídy pevnosti 4.8, 5.8, 6.8 musí tažnost A_f odpovídat normě ISO 898-1
- požadované hodnoty R_{pf} jsou ve zkoumání

2.2.1.4 Tahová zkouška pro šrouby s nepředpokládaným

lomem ve volné závitové délce způsobeným tvarem hlavy

2.2.1.4.1 Popis zkoušky

Při této variantě tahové zkoušky se stanovuje tahové zatížení pro šrouby s nepředpokládaným lomem ve volné závitové délce způsobený tvarem hlavy. Šrouby jsou upnuty v adaptérech zobrazených na Obrázku 15. Volná závitová délka l_{th} namáhaná zatížením musí být alespoň $1d$. Tato zkouška musí být provedena dle ISO 6892-1. Rychlost zkoušky nesmí překročit 25mm/min, a musí být plynulá až do výskytu lomu. Měří se největší zatížení F_m [3].

2.2.1.4.2 Zkušební zařízení

Zkušební zařízení musí splňovat stejné podmínky jako u tahové zkoušky dokončených šroubů pro stanovení pevnosti v tahu R_m (2.2.1.2.2).

2.2.1.4.3 Použitelnost zkoušky

Tato varianta tahové zkoušky se dá využít pro testování šroubů splňujících tato kritéria:

- libovolný dřík bez závitu $d_s > d_2$ nebo $d_s \approx d_2$
- jmenovitou délku $l \geq 2,5d$
- délku závitu $b \geq 2,0d$
- $3\text{mm} \leq d \leq 39\text{mm}$
- všechny třídy pevnosti

2.2.1.4.4 Vyhodnocení zkoušky

Hodnota F_m musí být větší nebo rovna minimálnímu meznímu zatížení dle odpovídajících výrobních norem nebo jiných specifikací.

2.2.1.5 Tahová zkouška pro spojovací součásti s tenkým dříkem

2.2.1.5.1 Popis zkoušky

Účelem této varianty tahové zkoušky je určení pevnosti v tahu R_m pro spojovací součásti s tenkým dříkem. Délka činného závitu musí být nejméně $1d$. Zkouška musí být plynulá až do výskytu lomu s maximální rychlostí 25 mm/min. Měří se největší zatížení F_m .

2.2.1.5.2 Zkušební zařízení

Zkušební zařízení musí splňovat stejné podmínky jako u tahové zkoušky dokončených šroubů pro stanovení pevnosti v tahu R_m (2.2.1.2.2).

2.2.1.5.3 Použitelnost zkoušky

Tato varianta tahové zkoušky se používá pro testování šroubů splňujících tato kritéria:

- libovolný dřík bez závitu $d_s > d_2$
- délka tenkého dříku $\geq 3d_s$
- délku závitu $b \geq 1d$
- $3\text{mm} \leq d \leq 39\text{mm}$
- třídy pevnosti 4.6, 5.6, 8.8, 9.8, 10.9 a 12.9/12.9

2.2.1.5.4 Vyhodnocení zkoušky

Pevnost v tahu R_m se vypočte na základě průřezu kolmém na osu tenkého dříku A_{ds} a největšího zatížení F_m .

$$R_m = \frac{F_m}{A_{ds}}$$

$$A_{ds} = \frac{\pi}{4} \cdot d_s^2$$

Lom se musí vyskytnout v oblasti tenkého dřívku, velikost R_m musí odpovídat normě ISO 898-1 [3].

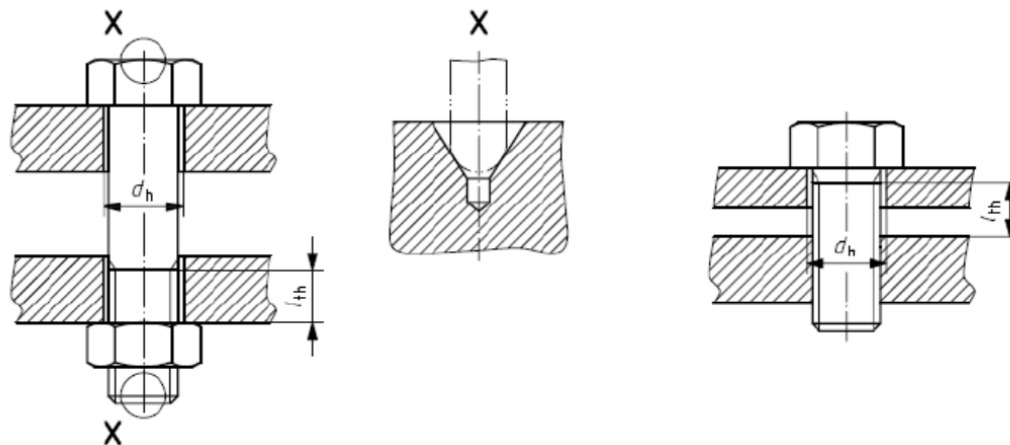
2.2.1.6 Tahová zkouška pro dokončené šrouby

2.2.1.6.1 Popis zkoušky

Při této zkoušce se šrouby zatěžují specifickým zkušebním zatížením (velikost zatížení dle ISO 898-1), a to pouze axiálním. Toto zatížení se musí držet po dobu 15s. Rychlost zkoušky nesmí přesáhnout 3mm/min. pro minimalizaci chyb měření způsobených vlivem teploty, je vyžadováno použití kleští nebo rukavic. Délka činného závitu musí být alespoň $1d$, zároveň volná závitová délka musí být minimálně $1d$. Měří se trvalá tažnost (pokud při zkoušce nastane) a celková délka po zkoušce l_1 (celková délka před zkouškou se značí l_0) [3].

2.2.1.6.2 Zkušební zařízení

Zkušební zařízení musí splňovat stejné podmínky jako u tahové zkoušky dokončených šroubů pro stanovení pevnosti v tahu R_m (2.2.1.2.2).



Obr. 12 Uchycení šroubu při tahové zkoušce pro dokončené šrouby [3]

2.2.1.6.3 Použitelnost zkoušky

Tato varianta tahové zkoušky se využívá pro testování šroubů splňujících tato kritéria:

- šrouby se silnější hlavou, které mají dřív se závitem
- šrouby se silnější hlavou, které mají libovolný dřív bez závitu



- průměr libovolného dřívku bez závitu $d_s > d_2$ nebo $d_s \approx d_2$
- jmenovitou délku $l \geq 2,5d$
- délku závitu $b \geq 2d$
- šrouby s celkovou délkou $l_t \geq 3d$
- $3\text{mm} \leq d \leq 39\text{mm}$
- všechny třídy pevnosti

2.2.1.6.4 Vyhodnocení zkoušky

Celková délka šroubu po zkoušce musí být stejná jako před zkouškou, s tolerancí $\pm 12,5\mu\text{m}$. Pokud po prvním měření šroub nevyhovuje (z důvodu nevyrovnanosti závitu, přímosti nebo nejistoty měření), může být zkouška opakována se zatížením o 3% vyšším, než je udáváno normou. Po tomto druhém měření se porovnává celková délka šroubu po prvním měření (l_1) s délkou po druhém měření (l_2), délky musí být stejné s tolerancí $\pm 12,5\mu\text{m}$ [3].

2.2.1.7 Tahová zkouška na obrobených vzorcích

2.2.1.7.1 Popis zkoušky

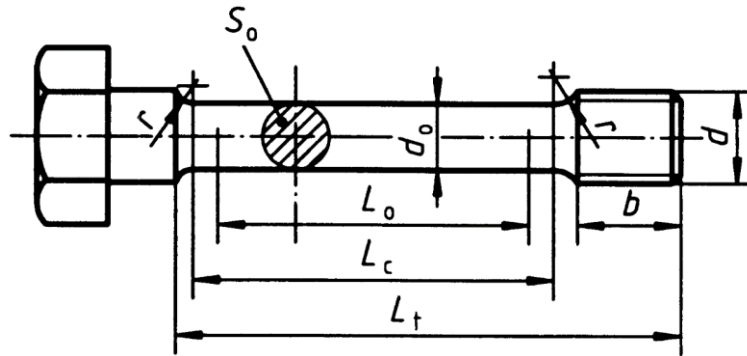
Při této zkoušce se určuje pevnost v tahu R_m , dolní mez kluzu v 0,2 % neúměrného prodloužení $R_{p0,2}$, tažnost při přetržení A , a procentuální zmenšení oblasti při přetržení Z [3].

Tato zkouška musí splňovat požadavky ISO 6892-1. Rychlost zkoušky nesmí přesáhnout 10mm/min nad zatížení v dolní mezi kluzu R_{eL} , nebo zatížení v mezi kluzu v 0,2 % neúměrného prodloužení $R_{p0,2}$ a přes 25 mm/min [3].

Zkouška musí být plynulá až do výskytu lomu. Měří se největší zatížení.

2.2.1.7.2 Zkušební vzorek

Zkoušená součást musí odpovídat normě ISO 898-1 (Obrázek 13). Průměr zkušební vzorku musí být $d_0 < d_{3min}$, ale kdykoliv je možné tak $d_0 \geq 3\text{mm}$. U zkušebních vzorků z kalených a popouštěných spojovacích součástí s $d > 16\text{mm}$, které jsou zmenšeny z původního průměru d_0 , nesmí rozdíl průměrů převyšovat 25 % (cca 44% počátečního průřezu kolmého na osu součásti) [3].



Obr. 13 Zkušební vzorek vytvořený ze šroubu pro zkoušku tahem [3]

- kde:

d ... jmenovitý průměr závitu [mm]

d_0 ... průměr obrobené zkoušené součásti [mm]

b ... délka závitu ($b \geq d$) [mm]

L_0 ... počáteční délka zkušební tělesa [mm]

- pro stanovení prodloužení $L_0 = 5 \cdot d_0$ nebo $5,65 \cdot \sqrt{S_0}$
- pro stanovení zmenšené oblasti $L_0 \geq 3 \cdot d_0$

L_c ... délka rovné části obrobené zkoušené součásti ($L_0 + d_0$) [mm]

L_t ... celková délka obrobené zkoušené součásti ($L_c + 2r + b$) [mm]

S_0 ... počáteční průřezová plocha zkoušené délky [mm²]

S_u ... průřez kolmý na osu obrobené zkoušené součásti před tahovou zkouškou [mm²]

r ... poloměr pod hlavou ($r \geq 4\text{mm}$) [mm]

2.2.1.7.3 Zkušební zařízení

Zkušební zařízení musí splňovat stejné podmínky jako u tahové zkoušky dokončených šroubů pro stanovení meze pevnosti v tahu R_m (2.2.1.2.2).

2.2.1.7.4 Použitelnost zkoušky

Tento typ tahové zkoušky může být použit pro spojovací součásti s těmito vlastnostmi:

- a) obrobené zkušební součásti vyrobené pro šrouby
 - jmenovitou délku $l \geq 6d_0 + 2r + d$ (Obrázek 13) ke stanovení A
 - jmenovitou délku $l \geq 4d_0 + 2r + d$ (Obrázek 13) ke stanovení Z
 - délku závitu $b \geq 1d$
 - $3\text{mm} \leq d \leq 39\text{mm}$



- b) obrobené zkušební součásti vyrobené pro závrtné šrouby
- celkovou délkou $l_t \geq 6d_0 + 2r + 2d$ (Obrázek 13) ke stanovení A
 - jmenovitou délkou $l_t \geq 4d_0 + 2r + 2d$ (Obrázek 13) ke stanovení Z
 - délkou závitu $b \geq 1d$
 - $3\text{mm} \leq d \leq 39\text{mm}$
 - délkou závitu závrtného konce (kov) $b_m \geq 1d$
- c) třídy pevnosti 4.6, 5.6, 8.8, 9.8, 10.9, a 12.9/12.9

2.2.1.7.5 Vyhodnocení zkoušky

Výsledkem této zkoušky jsou vypočtené hodnoty meze pevnosti v tahu R_m , dolní meze kluzu R_{eL} , nebo meze kluzu odečtené v 0,2 % neúměrného prodloužení $R_{p0,2}$. Tyto hodnoty musí dosahovat požadované velikosti dle ISO 6892-1. Dále se z naměřených hodnot počítá tažnost při přetržení A, za předpokladu, že L_0 je menší než $5d_0$, kde L_u je konečná délka obrobeného vzorku. Další vypočtenou hodnotou je procentuální zmenšení oblasti po přetržení, za předpokladu, že L_0 je menší než $3d_0$, kde S_u je průřez kolmý na osu vzorku po přetržení. Tuto zkoušku upravuje norma ISO 6892-1 [3].

- a) Mez pevnosti v tahu

$$R_m = \frac{F_m}{S_0} [MPa]$$

- b) Tažnost při přetržení

$$A = \frac{L_u - L_0}{L_0} \cdot 100 [\%]$$

- c) Procentuální zmenšení oblasti po přetržení

$$Z = \frac{S_0 - S_u}{S_0} \cdot 100 [\%]$$

2.2.2 Zkoušky tvrdosti

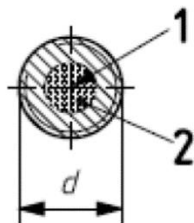
Tvrdot je definována jako odpor materiálu proti vnikání cizího tělesa. Je to jedna ze základních mechanických vlastností, společně s pevností a houževnatostí.

Existuje několik metod zkoušení tvrdosti materiálu, které lze dělit podle způsobu zatěžování na statické a dynamické, a podle typu deformace zkoušeného povrchu na elastické a plastické. Mezi staticko-plastické zkoušky tvrdosti patří zkoušky podle Brinella, Vickerse a Rockwella. Mezi dynamicko-plastické patří zkoušky pomocí Poldi kladívka a Baumannova kladívka, a nakonec dynamicko-elastické zkoušky, které jsou prováděny za pomoci Shoreho skleroskopu a Duroskopu.

Tvrdot se měří na dvou místech:

a) Tvrdot stanovená na příčném řezu přes závitovou část

Příčný řez musí být veden ve vzdálenosti $1d$ od konce závitu a povrch řezu musí být upraven. Tvrdot se měří v prostoru mezi axiální osou a středovou oblastí viz. Obr. 14. Pomocí této metody se měří tzv. tvrdot jádra.



- kde:

1 ... axiální osa šroubu

2 ... středová osa (s poloměrem $0,25d$)

Obr. 14 Středová oblast proměření tvrdosti [3]

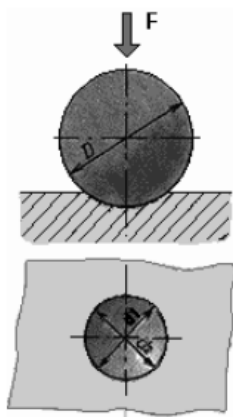
b) Tvrdot stanovená na povrchu

Zde se tvrdot měří na povrchu šroubu v ploché oblasti hlavy, na konci šroubu nebo na dříku bez závitu. Šroub se musí před zkouškou zbavit pokovení a různých povrchových úprav. Tato metoda se používá pro běžné kontroly [3].

2.2.2.1 Brinell (HB)

Tato metoda se využívá především pro měření tvrdosti u hrubozrnných a nehomogenních materiálů, u kterých nelze pro vtisk použít diamantový hrot. Je často používána u neželezných kovů a odlitků po normalizačním žihání.

Princip metody je ve vtlačování ocelové kuličky (HBS) nebo kuličky z karbidu wolframu (HBW) do zkoušeného předmětu působením síly F , jež směřuje kolmo na testovanou plochu. Poté se měří dva na sebe kolmé průměry vtisku. Detaily této metody měření tvrdosti upravuje norma ISO 6506-1 [5].



$$HB = \frac{0,102 \cdot F}{A} = \frac{0,102 \cdot 2}{\pi \cdot D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

- kde:

HB ... hodnota tvrdosti dle Brinella

F ... zatěžující síla [N]

D ... průměr zkušební kuličky [mm]

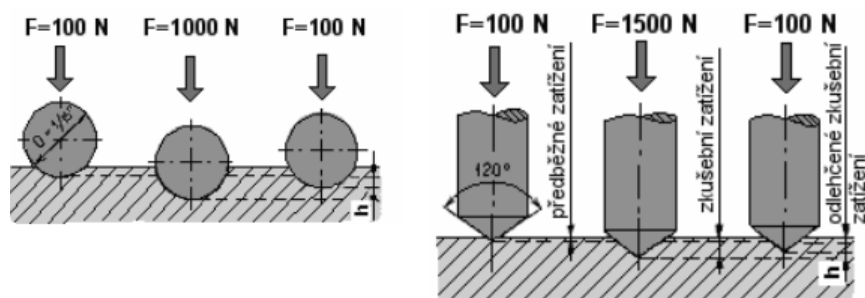
A ... aritmetický průměr úhlopříček vtisku [mm]

Obr. 15 Zkouška tvrdosti dle Brinella [5]

2.2.2.2 Rockwell (HRA, HRB, HRC)

Tato metoda se používá zejména při měření povrchové tvrdosti u tepelně zpracovaných součástí. Používají se dva druhy tvrdoměrů. První se stupnicí Rockwell standard 60-150 kg a druhý Rockwell superficial 15-45 kg pro měření tenkých vrstev o tloušťce až 0,2 mm [5].

Principem je vtlačování ocelové kuličky nebo diamantového kužele do povrchu testovaného tělesa. Tělisko se zatěžuje dvěma stupni zatížení. Měří se trvalé zvětšení hloubky po vniknutí vnikajícího tělesa. Detaily této metody měření tvrdosti upravuje norma ISO 6508-1 [5].

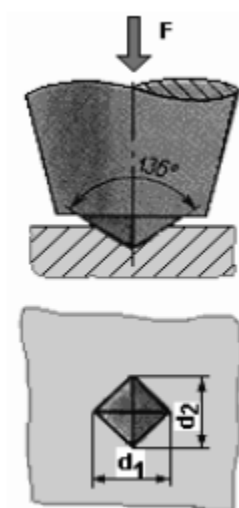


Obr. 16 Zkouška tvrdosti dle Rockwella [5]

2.2.2.3 Vickers (HV)

Tato zkouška tvrdosti je univerzální, jelikož ji lze použít jak pro měkké, tak i pro tvrdé materiály. Odstraňuje nevýhody měření tvrdosti podle Brinella i podle Rockwella. Dělí se na tři typy podle velikosti zkušebního zatížení (Zkouška tvrdosti dle Vickerse, Zkouška tvrdosti dle Vickerse při nízkém zatížení a Zkouška mikrotvrdosti podle Vickerse) [5].

Principem je vlačování diamantového, pravidelného čtyřbokého jehlanu o vrcholovém úhlu 136° zkušebním zatížením silou F , která působí kolmo na testovanou plochu. Měří se délka úhlopříček vtisku. Detaily této metody měření tvrdosti upravuje norma ISO 6507-1 [5].



$$HV = \frac{0,102 \cdot 2 \cdot F \cdot \sin \frac{136}{2}}{d^2} = 0,180 \cdot \frac{F}{d^2}$$

- kde:

HV ... tvrdost dle Vickerse

F ... zatěžující síla [N]

d ... aritmetický průměr úhlopříček [mm]

Obr. 17 Zkouška tvrdosti dle Vickerse [5]

2.2.2.4 Další metody zkoušení tvrdosti

Mezi další metody zkoušek tvrdosti patří např. Poldi kladívko. Hodnoty naměřené touto metodou jsou spíše orientační, avšak výhodou je její rychlé a snadné provedení. Používá se především na rozměrnějších dílech. Principem je vtlačování zkušebního tělesa na konci kladívka do zkoušeného materiálu. Velikost otisku se poté porovnává s velikostí otisku na etalonu [5].

Další metodou je Shoreho skleroskop, který se používá především u testování tvrdosti plastů, nebo Duroskop pro měření tvrdosti svislých ploch [5].

2.2.3 Zkouška krutem

2.2.3.1 Popis zkoušky

Při této zkoušce se stanovuje kroutící moment při upnutí šroubu do zkušebního zařízení. Šroub je upnut do zkušebního zařízení minimálně za dva úplné závity, volná závitová délka je alespoň $1d$. Následně je šroub zatěžován postupně se zvyšujícím kroutícím momentem. Tímto způsobem se testují šrouby, které nemohou být testovány tahovou zkouškou [4].

Výpočet minimálního kroutícího momentu

$$M_{Bmin} = \tau_{Bmin} \cdot W_{pmin}$$

$$W_{pmin} = \frac{\pi}{16} \cdot d_{3min}^3$$

$$\tau_{Bmin} = X \cdot R_{mmin}$$

- kde:

M_{Bmin} ... minimální kroutící moment [Nm]

τ_B ... pevnost v krutu [MPa]

W_p ... průřezový modul [mm³]

d_{3min} ... malý průměr vnějšího závitu ve vrcholu zaoblení závitového dna [mm]

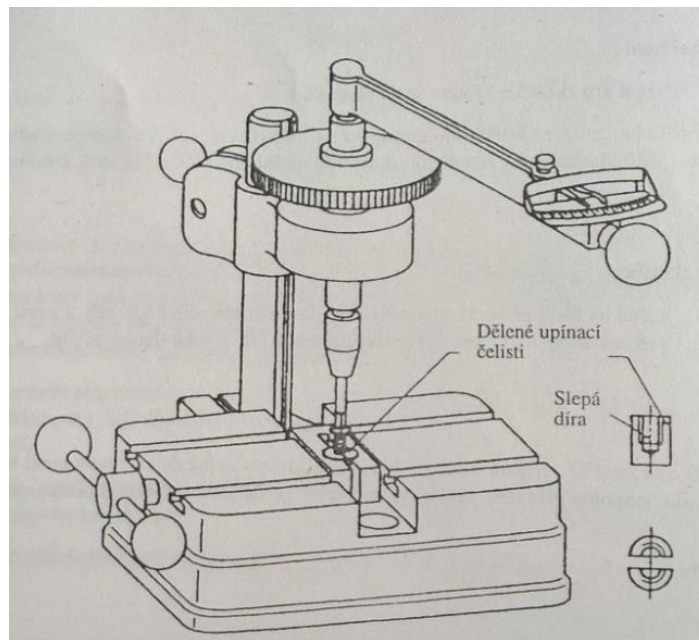
R_m ... pevnost v tahu [MPa]

X ... poměr τ_B / R_m

Tab. 1 Tabulka závislosti poměru X na pevnostní třídě šroubu [4]

Pevnostní třída šroubu	8.8	9.8	10.9	12.9
Poměr X	0,84	0,815	0,79	0,75

2.2.3.2 Zkušební zařízení



Obr. 18 Zkušební zařízení pro zkoušku krutem [4]

2.2.3.3 Použitelnost zkoušky

Tato zkouška může být použita pro šrouby splňující tato kritéria:

- $1\text{mm} \leq d \leq 10\text{mm}$
- závit menší než M3
- pevnostní třídy 8.8 až 12.9
- $1\text{mm} \leq d \leq 10\text{mm}$, které nemohou být podrobeny zkoušce tahem

2.2.3.4 Vyhodnocení zkoušky

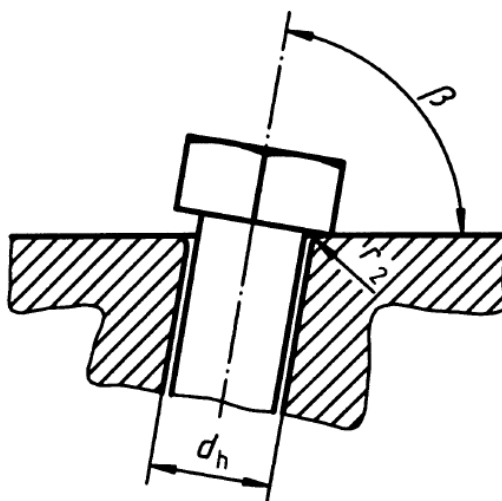
Zkoušené šrouby jsou posouzeny za vyhovující pokud se před dosažením minimálních krouťících momentů (jejich velikost pro dané šrouby upravuje norma ISO 898-7) neobjeví trhliny [4].

2.2.4 Zkouška rázové houževnatosti hlavy

2.2.4.1 Popis zkoušky

Pomocí této zkoušky se ověřuje celistvost mezi přechodovou oblastí hlavy a dřívku šroubu na pevném bloku v daném úhlu. Tato zkouška je většinou používána v případě, kdy nemůže být použita tahová zkouška pod klínem zatížení z důvodu krátkého závitu spojovací součásti. Principem je udeření několika ranami kladivem do hlavy šroubu, dokud se hlava neohne o $90^\circ - \beta$. Zkouška musí být provedena nejméně osmkrát, ale ne více než desetkrát. Blok musí být pevně uchycen [3].

2.2.4.2 Zkušební zařízení



Obr. 19 Uchycení testovaného šroubu při zkoušce rázové houževnatosti hlavy [3]

Tab. 2 Úhel pevného bloku β pro zkoušku rázové houževnatosti hlavy šroubu [3]

Třída pevnosti	4.6	5.6	4.8	5.8	6.8	8.8	9.8	10.9	12.9/12.9
β	60°		80°						

Pevný blok (Obrázek 19) musí splňovat tyto požadavky:

- tvrdost min. 45HRC
- tloušťka min. $2d$
- úhel β dle Tabulky 2
- průměr díry d_h a poloměr r_1 dle ISO 898-1

2.2.4.3 Použitelnost zkoušky

Tato zkouška je možná u šroubů, které mají tyto vlastnosti:

- šrouby se silnější hlavou, které mají dřík se závitem
- $d \leq 10\text{mm}$
- jmenovitá délka $l \geq 1,5d$
- všechny třídy pevnosti

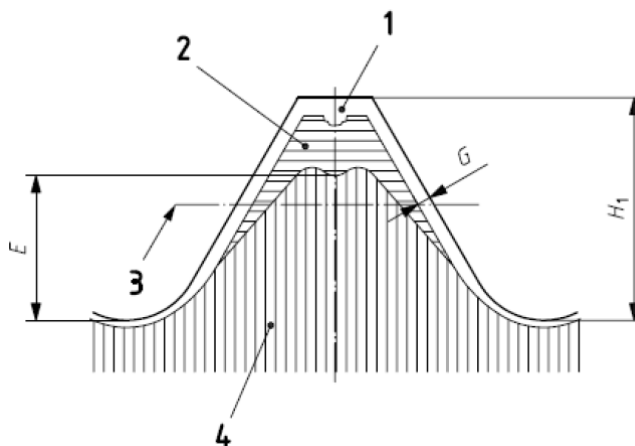
2.2.4.4 Vyhodnocení zkoušky

V přechodové oblasti mezi hlavou a dříkem šroubu nesmí být ani náznak praskání. Pokud se trhliny objeví v prvním závitu u šroubů se závitem k hlavě, je to podmínka, že nenastane lom u hlavy.

2.2.5 Zkouška oduhličení

Tato zkouška má za úkol zjistit, zda je kalený a popouštěný povrch šroubu oduhličený a jaká je hloubka oduhličené oblasti. Snížení obsahu uhlíku, způsobené tepelným zpracováním může být příčinou snížení meze pevnosti v závitu, což může vést až poruše součásti.

Ke zjištění oduhličení se používají dvě metody. Buď to metoda mikroskopická, nebo metoda tvrdosti. Mikroskopická metoda připouští měření celkové oduhličené oblasti G, pokud tato oblast existuje, a výšky oblasti základního kovu E (Obr. 20). Pomocí metody tvrdosti se měří výška základního kovu E a může se s její pomocí zjistit částečné oduhličení v mikrotvrdosti.



Obr. 20 Oblasti oduhličení [3]

- kde:

1 ... celkové oduhličení

2 ... částečné oduhličení

3 ... roztečná přímka

4 ... základní kov

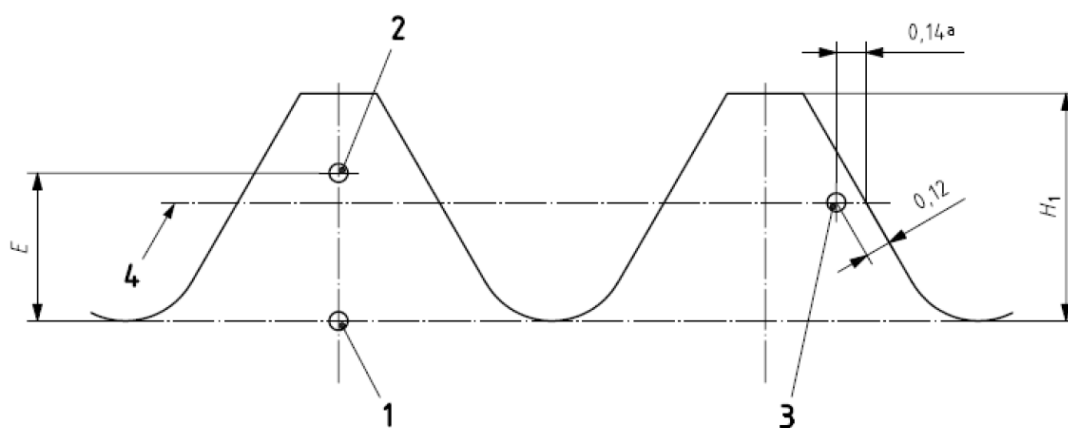
E ... výška neoduhličené oblasti závitu [mm]

G ... hloubka celkového oduhličeného závitu [mm]

H_1 ... výška vnějšího závitu v maximálních materiálových podmínkách [mm]

2.2.5.1 Zkouška oduhličení a nauhličení měřením tvrdosti

Tato metoda je použitelná pro spojovací součásti tříd pevnosti 8.8 až 12.9/12.9 a s roztečí závitu $P \geq 1,25\text{mm}$. Měření se provádí ve dvou místech (Obr. 21). Při přípravě zkušební vzorku není nutné odstraňovat povlakovaný povrch. Tvrdost se měří podle Vickerse, zkušební zatížení je 2,942N (Vickers HV 0,3) [3].



Obr. 21 Zkouška oduhličení a nauhličení měřením tvrdosti [3]

- kde:

1, 2, 3 ... body měření (1 je referenční bod)

4 ... roztečná přímka

^a ... hodnota 0,14mm je uvedena jen jako pomocná ke stanovení dalšího bodu na roztečné přímce

E ... výška neoduhličené oblasti závitu [mm]

H_1 ... výška vnějšího závitu v maximálních materiálových podmínkách [mm]

Vyhodnocení zkoušky:

Oduhličení, když: $HV(2) \geq HV(1) - 30$

Nauhličení, když $HV(3) \leq HV(1) + 30$

2.2.5.2 Zkouška oduhličení metalograficky

Tato metoda se využívá pro zkoušení šroubů všech velikostí, pevnostních tříd 8.8 až 12.9/12.9. Dále je připraven zkušební vzorek a pod mikroskopem (100x zvětšení) změřeno oduhličení. Detaily viz. 2.2.6. Velikost celkového oduhličení musí odpovídat normě ISO 898-1 [3].

2.2.6 Zkouška struktury/metalografie

Metalografie je nauka, která se zabývá pozorováním a zkoumáním vnitřní stavby kovů a slitin. Jejím cílem je zviditelnění struktury materiálu a následné studium pomocí optického nebo elektronového mikroskopu. Umožňuje zjišťovat souvislosti mezi strukturou materiálu a jeho vlastnostmi, sledovat a kontrolovat vlastnosti materiálu při jeho výrobě a zpracování, a hledat příčiny vad materiálu, případně vysvětlit důvody selhání zařízení.

Postup přípravy zkoumaného vzorku:

1. Odběr vzorku

- Odebíraný vzorek, tzv. metalografický výbrus musí zcela charakterizovat zkoumaný materiál. Většinou se z tohoto důvodu musí odebrat několik vzorků z různých míst zkoumané součásti. Vzorky se odebírají řezáním, vrtáním, frézováním, apod. Při odebírání vzorku by se mělo zajistit co nejmenší ovlivnění teplotou, což by mohlo vzorek znehodnotit. Z tohoto důvodu se používají různé chladicí kapaliny [6].



2. Preparace vzorku

- Odebrané vzorky se musí zalít do umělé hmoty, aby se zlepšila manipulace při následném broušení a leštění. Také se tím zvětší plocha metalografického výbrusu. Rozlišují se tři základní typy preparace, a to za studena (pro vzorky náchylné na zvýšené teploty, používá se epoxidová nebo akrylátová pryskyřice), za tepla (vzorek se zasype plastovou drtí, za působení tepla a tlaku se drť roztaví a obklopí vzorek) a vakuově (používá se v kombinaci s epoxidovou pryskyřicí, kdy vzorek zalitý v pryskyřici tuhne ve vakuu) [6].

3. Broušení

- Brousíme proto, abychom dosáhli rovinného povrchu vzorku s minimálním poškozením. Menší poškození povrchu se broušením snadno odstraní. Brousíme buďto ručně (pro objemné vzorky) nebo mechanicky pomocí různých brusných a leštících nástrojů. Výhodou mechanického broušení je kvalitnější povrch než po ručním broušení a také možnost brousit několik vzorků najednou [6].

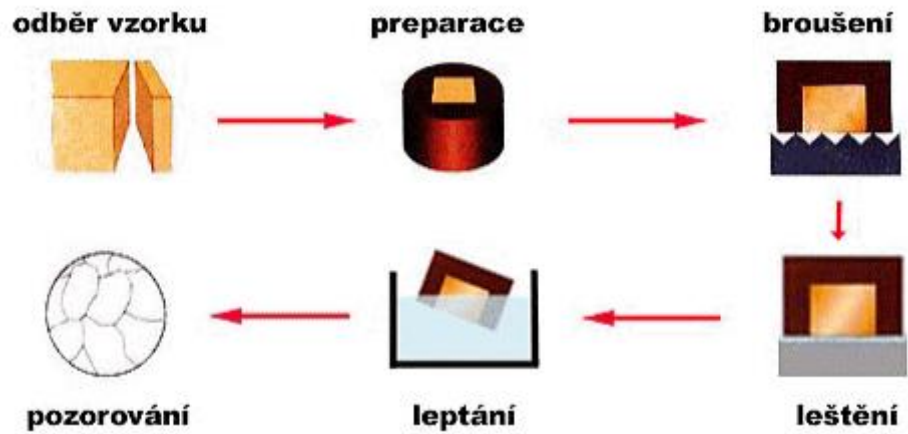
4. Leštění

- Pomocí leštění zlepšíme kvalitu povrchu po broušení. Při leštění už materiál neubývá, pouze se zahlazují vrcholy povrchové drsnosti. Leštění rozdělujeme na mechanické, elektrolytické a chemické [6].

5. Leptání

- Leptání je proces, při kterém dochází ke zviditelnění jednotlivých strukturních součástí. Provádí se pomocí leptacího činidla, které je nanášeno pomocí pipety, nebo je do něho ponořen celý vzorek. Činidlo se nechá chvíli působit a poté se vzorek omyje lihem, aby se zabránilo dalšímu naleptávání. Jako činidlo se nejčastěji používá 3% nebo 5% roztok kyseliny dusičné v lihu (Nital), na odolnější kovy poté Lučavka královská [6].

Jednotlivé kroky přípravy nám velmi ovlivňují výsledné hodnoty metalografické zkoušky, a proto je důležité tyto kroky provádět co nejprecizněji.



Obr. 22 Schéma metalografické zkoušky [6]

Po přípravě vzorků následuje jejich vyhodnocování. K tomuto účelu se používají tzv. metalografické mikroskopy. Ty se skládají z objektivu, okuláru, pomocných čoček, zrcátek a hranolů [6].



Obr. 23 Metalografický mikroskop [6]

Používají se různé metody pozorování:

1. Pozorování na světlém poli

Světlo prochází objektivem a dopadá kolmo na testovaný vzorek, pozorujeme odražené paprsky. Rovné plochy metalografického výbrusu se jeví jako světlé, rýhy a nerovnosti jako tmavé [6].

2. Pozorování v tmavém poli

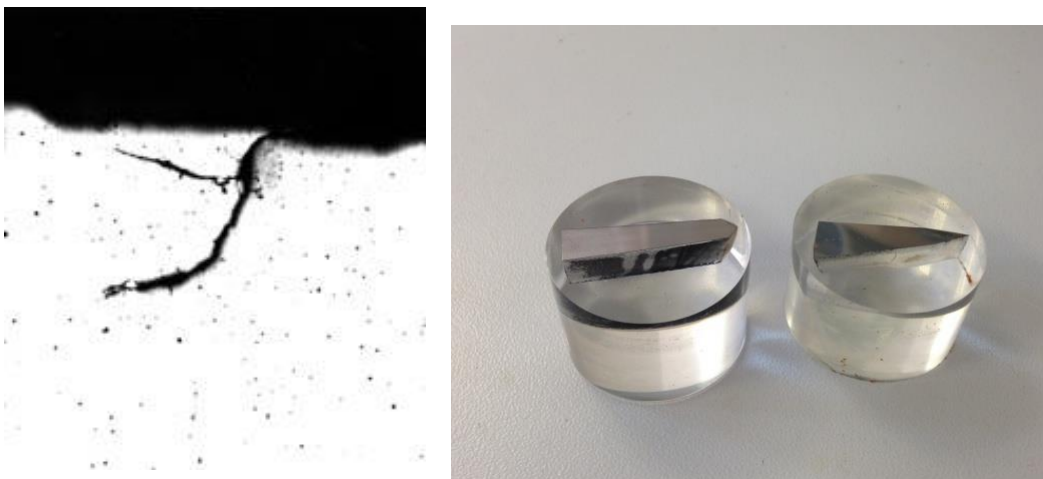
Světlo nejprve prochází mezikružím a odráží se od planparalelní destičky. Na vzorek dopadá šikmo a odráží se mimo objektiv. Rovné plochy se jeví tmavé a nerovnosti světlé [6].

3. Pozorování v polarizovaném světle

Tato metoda se používá u vzorků, které jsou obtížně pozorovatelné běžnými metodami. Spočívá v použití polarizačního filtru, kterým docílíme barevnějšího kontrastu mezi rovnými plochami a nerovnostmi [6].

4. Pozorování pomocí Nomarskiho kontrastu

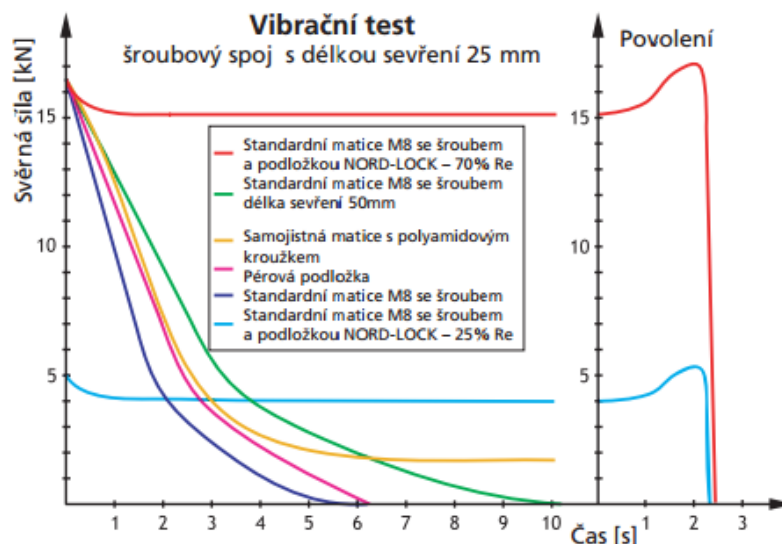
U této metody je paprsek světla polarizován dvakrát.



Obr. 24 Vlevo povrchová trhлина na ocelovém vzorku, vpravo metalografický výbrus zalitý v pryskyřici [6]

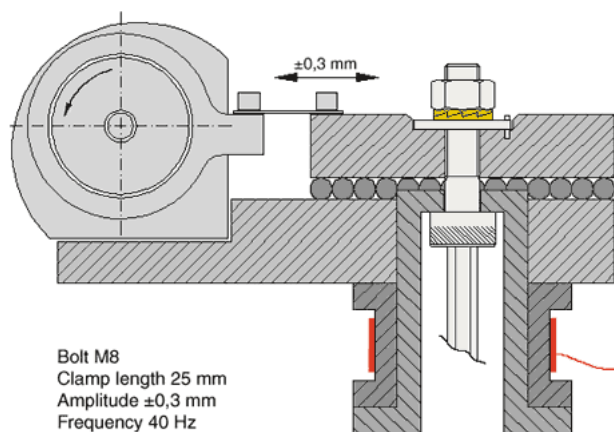
2.2.7 Junkerův vibrační test spolehlivosti utažení

Pomocí tohoto testu se nezkouší přímo mechanické vlastnosti šroubů, ale testuje se chování šroubového spoje pod dynamickým zatížením. Tento test byl vyvinut v Německu a upraven normou DIN 65151. Používá se k němu přístroj nazývaný podle jeho tvůrce Junkerův stroj.



Obr. 25 Diagram naměřený během Junkerova testu (Nord-Lock, 2007)

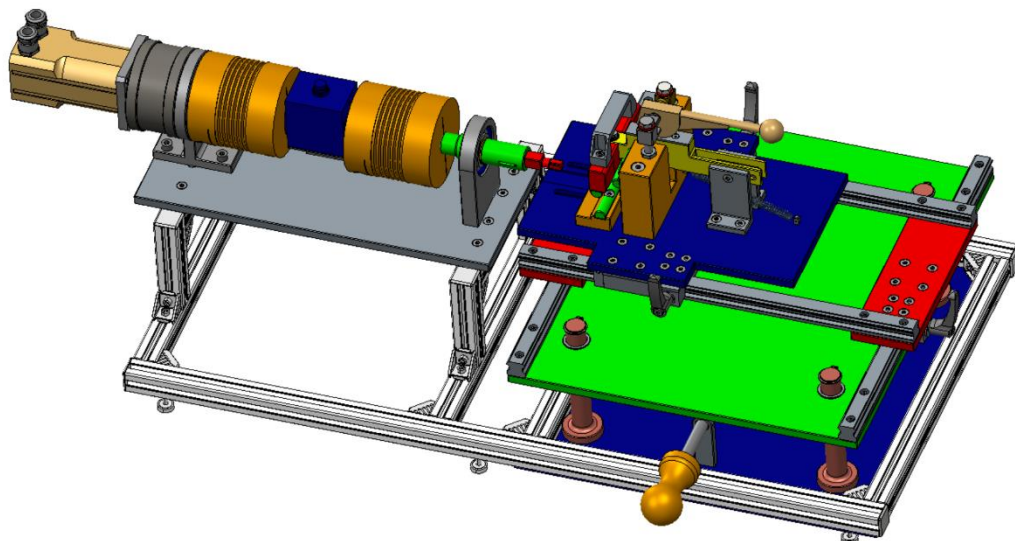
Princípem je, že se šroubem a maticí sešroubují dvě desky. Přístroj poté pomocí výstředníku kmitá vrchní deskou proti spodní. Síla předpětí v takto vytvořeném spoji je snímána tenzometrickým snímačem a zapisována do diagramu síla sevření – čas (počet cyklů).



Obr. 26 Schéma Junkerova testovacího stroje pro testování šroubu M8, délka sevření 25 mm, amplituda $\pm 0,3$ mm a frekvence 45 Hz (Nord-Lock, 2007)

3 KONSTRUKČNÍ ČÁST

3.1 Popis zkoušky



Obr. 27 Zkušební zařízení

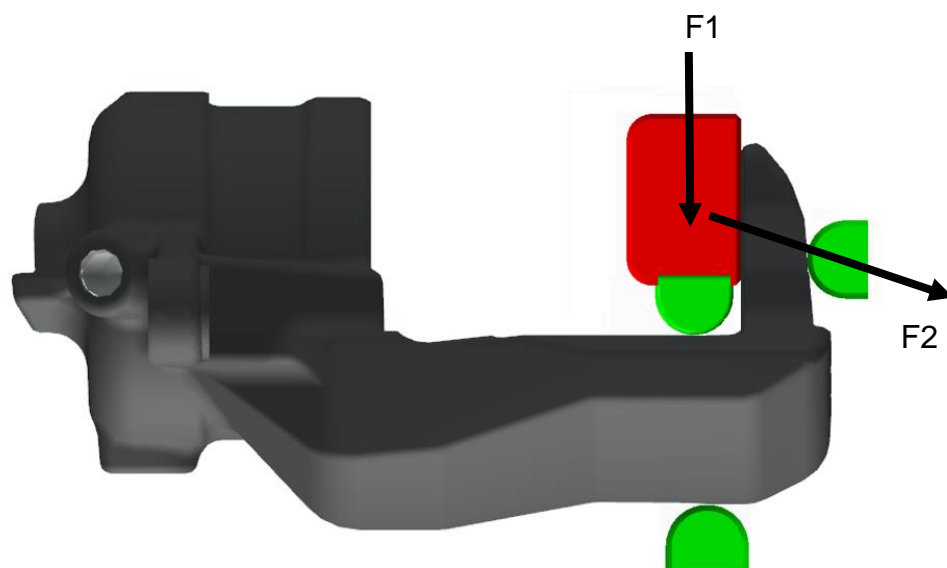
Zkoušený brzdový třmen je upnut společně s vodícím čepem a šroubem, který ho připevňuje ke třmenu do zkušebního zařízení. Poté je nastavena pomocí lineárních vedení zkušební poloha, kdy se zkoušený šroub dosedne do konce zkušebního zařízení opatřeného bitem o správné velikosti (záleží na hlavě zkoušeného šroubu). Jedná se o běžné bity používané v tzv. GOLA sadách. Následně je spuštěno zařízení, které šroub utahuje plynule až do porušení rychlostí cca. 17 ot/min. Po přerušení šroubu technik zkoušku zastaví a vyhodnotí údaje ze snímače pomocí vhodného softwaru v připojeném PC.

3.2 Upínací část zařízení

Jeden z hlavních požadavků na testovací zařízení byla možnost upnout všechny brzdové třmeny vyráběné v TRW Automotive s.r.o. Jablonec nad Nisou. Třmenů tato firma vyrábí nepřehledné množství, jsou to složité odlitky složené z mnoha nepravidelných ploch, zároveň má téměř každý třmen rozdílnou velikost.

Díky této různorodosti není upnutí všech variant třmenů do jednoho zařízení jednoduché. Jedna z možností by bylo vyrobit pro každou vyráběnou variantu samostatný upínací přípravek. Tato možnost je ovšem velmi nákladná, a oproti současnému stavu testování by nepřinesla téměř žádnou výhodu.

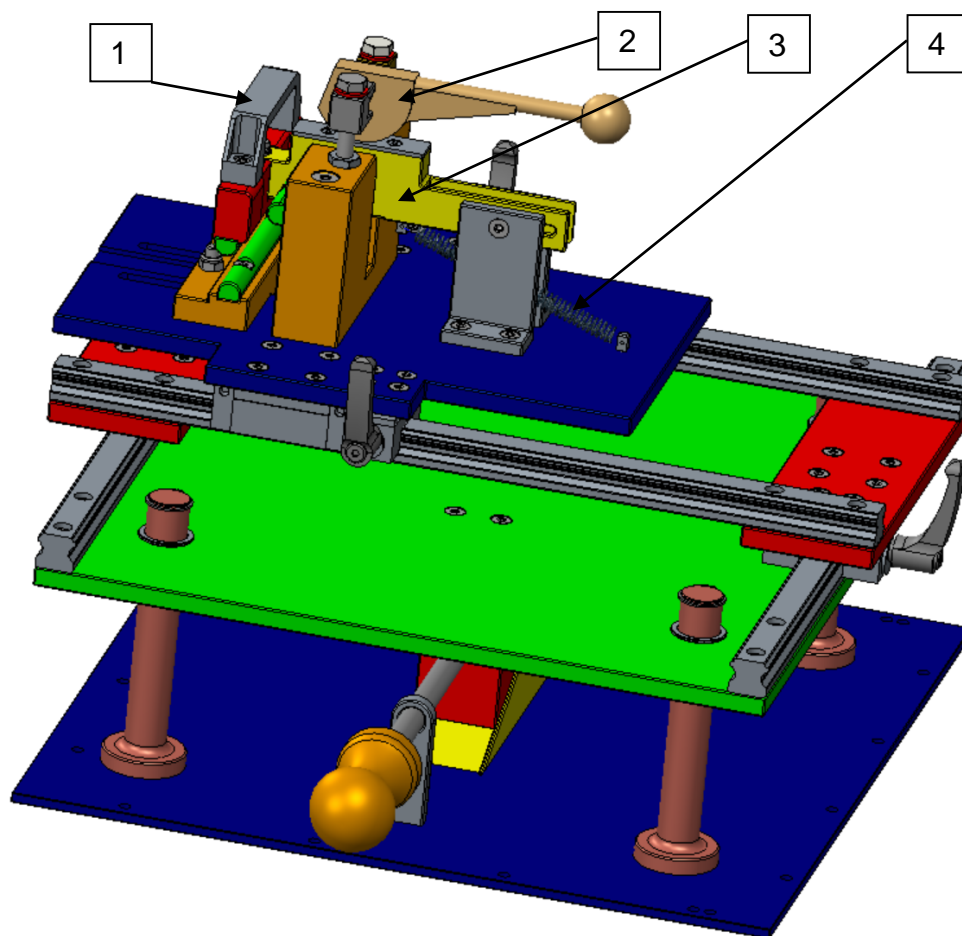
Lze využít skutečnost, že každý brzdový třmen je vždy na stejném místě obroben, a to takovým způsobem, že obrobená plocha je kolmá na osu testovaného šroubu připevňující vodící čepy ke třmenu brzdy. Touto plochou je oblast, kde se o třmen opírají brzdové destičky naproti brzdovému pístu. Díky této vlastnosti bylo možné upnout všechny varianty do jednoho zařízení.



Obr. 28 Schéma upnutí třmenu brzdy ve zkušebním zařízení

Na obrázku 30 je znázorněno schéma upnutí brzdového třmenu, kde červeně a zeleně jsou vyznačené dotykové členy upínacího mechanismu. Horizontální dotykové členy jsou plynule stavitelné v rozmezí 100mm, vertikální členy jsou stavitelné krokově (ve třech krocích po 15 mm). Rozmezí nastavení dotykových členů bylo určeno na požadavek firmy TRW, vzhledem k velikostem třmenů, které tato firma momentálně vyrábí. V místech dotyku mezi zeleně vyznačenými členy a třmenem dochází k bodovému, případně přímkovému dotyku. V místě dotyku mezi červeně vyznačeným členem a třmenem dochází k plošnému dotyku. Zároveň jsou ve schématu vyznačeny upínací síly. Hlavní upínací sílu F_1 , která je vytvářena pomocí excentru a vedlejší upínací sílu od pružiny F_2 .

3.2.1 Postup upnutí třmenu do upínacího zařízení

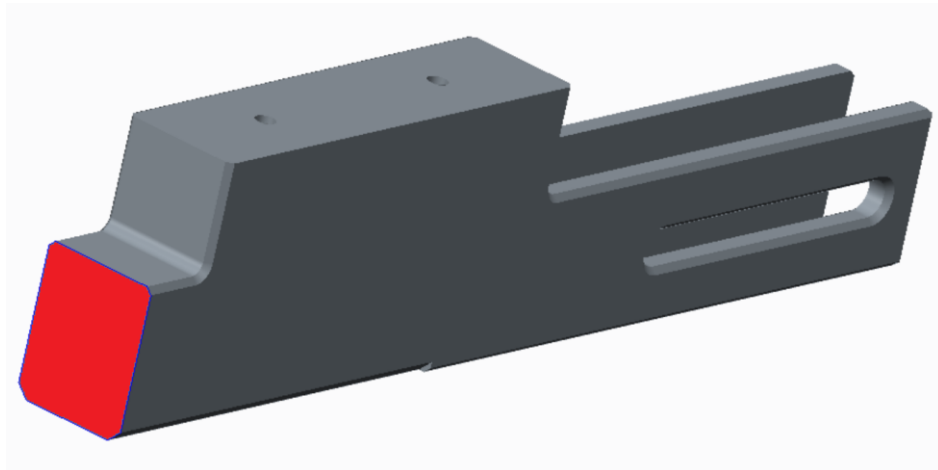


Obr. 29 Upínací část zkušebního zařízení

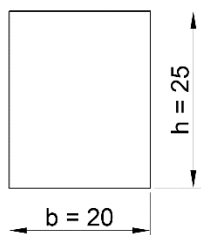
Zkušební technik nejprve odaretuje excentrickou páku (2) směrem nahoru, poté jí lehce stlačí směrem dolů a vytlačí ji do boku do cca. 90° úhlu. Následně za madlo (1) na koci upínacího táhla (3) zatáhne táhlo do horní polohy. Poté může vyjmout třmen ze zařízení popřípadě vložit jiný. K upnutí se vloží testovaný třmen do zařízení dle schématu na obrázku č. 30, stlačí se táhlo upínání do spodní polohy, kde táhlo společně se třmenem zaaretuje síla od pružiny (4). Poté technik vykloní excentrickou páku do upínací polohy a stlačí ji dolů, čímž upne třmen do zkušebního zařízení. Následně pomocí lineárních vedení nastaví měřící polohu, kdy testovaný šroub přesně dosedne do rotační hlavy zkušebního zařízení.

3.2.2 Pevnostní výpočet

Pro pevnostní výpočet byla zvolena nejvíce namáhaná součást, a to upínací táhlo. Byl počítán v nekritičtějších místě (Obr. 32), s největším zatěžujícím kroutícím momentem $M_k = 200\text{Nm}$. Hodnota maximálního dovoleného napětí pro namáhání krutem τ_{KDOV} je pro konstrukční ocel 11 500 rovna 125MPa . Pro výpočet bylo zanedbáno zkosení hran v počítaném průřezu ($1 \times 45^\circ$).



Obr. 30 Upínací táhlo s vyznačeným kritickým průřezem



Obr. 31 Rozměry

táhla v
nekritičtějších
místě

$$W_K = 0,219 \cdot b^2 h = 2190\text{mm}^3$$

$$\tau_K = \frac{M_K}{W_K} \leq \tau_{KDOV} \rightarrow \tau_K = \frac{200000}{2190} = 91,32\text{MPa} \leq 125\text{MPa}$$

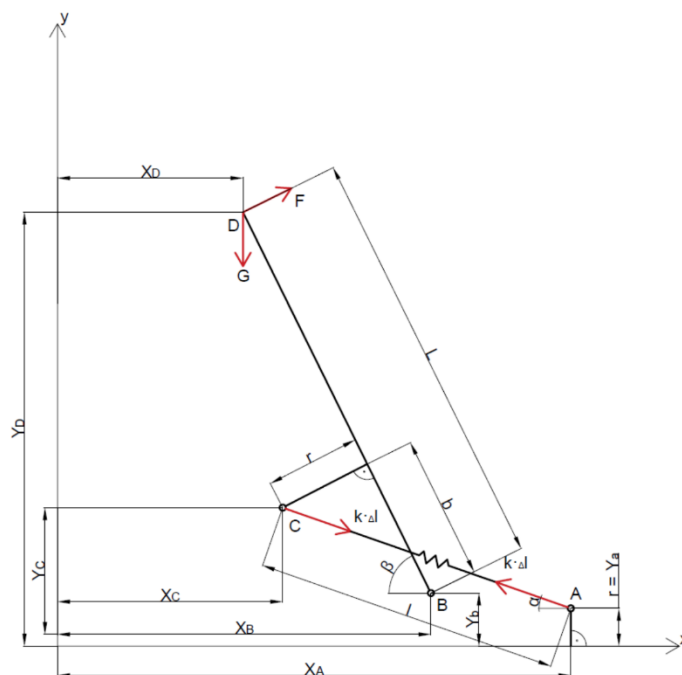
→ VYHOVUJE

3.2.3 Volba pružiny

Tato pružina vytváří vedlejší upínací sílu, která udržuje polohu upínaného třmenu před vlastním upnutím pomocí excentru. Zároveň tato pružina udržuje upínací zařízení v otevřeném stavu při vkládání nebo vyjímání testovaného třmenu.

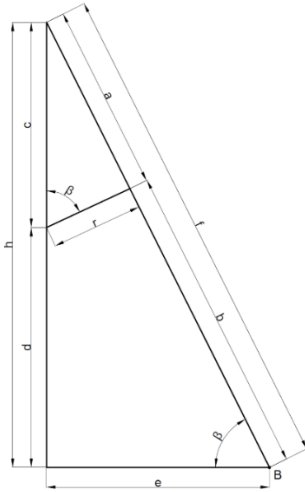
Její tuhost by měla být dostatečná, aby udržela měřenou součást ve zkušební poloze, ale zároveň by měla být dostatečně poddajná pro pohodlnou manipulaci.

3.2.3.1 Silové poměry na upínací částí zkušebního zařízení



Obr. 32 Silové poměry na upínacím zařízení

Výsledkem tohoto výpočtu je velikost síly F potřebné k otevření upínacího zařízení. Tato síla by měla být dostatečně malá z důvodu manuální obsluhy zařízení. Výsledkem je zároveň také síla vyvíjená pružinou, tato síla musí být dostatečně velká pro předepnutí třmenu do zařízení a udržení tohoto zařízení v otevřené pozici, ale zároveň dostatečně malá, neboť je na ni závislá síla F vyvíjená technikem.



$$\operatorname{tg}\beta = \frac{a}{r} \rightarrow a = \operatorname{tg}\beta \cdot r$$

$$f = a + b = \operatorname{tg}\beta \cdot r + b$$

$$\cos\beta = \frac{e}{f} \rightarrow e = \cos\beta \cdot (\operatorname{tg}\beta \cdot r + b)$$

$$\sin\beta = \frac{h}{f} \rightarrow h = \sin\beta \cdot f = \sin\beta \cdot (\operatorname{tg}\beta \cdot r + b)$$

$$\cos\beta = \frac{r}{c} \rightarrow c = \frac{r}{\cos\beta}$$

$$d = h - c = \sin\beta \cdot (\operatorname{tg}\beta \cdot r + b) - \frac{r}{\cos\beta}$$

Obr. 33 Pomocný obrázek

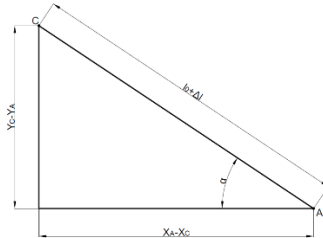
pro výpočet silových poměrů 1

- výpočet momentů k bodu B

$$-G \cdot \cos\beta \cdot (L - b) - k \cdot \Delta l \cdot \sin\beta (\operatorname{tg}\beta \cdot r + b) + k \cdot \Delta l \cdot$$

$$\cdot \cos\alpha \left[\sin\beta [\operatorname{tg}\beta \cdot r + b] - \frac{r}{\cos\beta} \right] + F(L - b) = 0$$

- závislost prodloužení pružiny Δl na úhlu α v krajní poloze ($\beta=0$)



Obr. 34 Pomocný obrázek pro výpočet silových poměrů 2

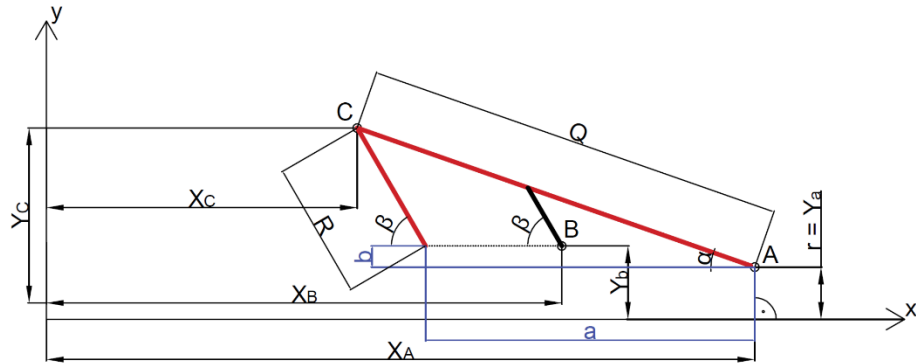
$$X_C = X_B - e = X_B - \cos\beta \cdot (\operatorname{tg}\beta \cdot r + b)$$

$$Y_C = Y_B + d = Y_B + \sin\beta \cdot (\operatorname{tg}\beta \cdot r + b) - \frac{r}{\cos\beta}$$

$$\cos\alpha = \frac{X_A - X_C}{l_0 + \Delta l} = \frac{X_A - X_B + \cos\beta \cdot (\operatorname{tg}\beta \cdot r + b)}{l_0 + \Delta l}$$

$$\Delta l = \frac{X_A - X_B + \cos\beta \cdot (\operatorname{tg}\beta \cdot r + b)}{\cos\alpha} - l_0$$

- závislost úhlu α na úhlu β



Obr. 35 Pomocný obrázek pro výpočet silových poměrů 3

$$Q \cdot \sin\alpha = R \cdot \sin\beta + b$$

$$Q \cdot \cos\alpha = R \cdot \cos\beta + a$$

$$Q = \frac{R \cdot \sin\beta + b}{\sin\alpha}$$

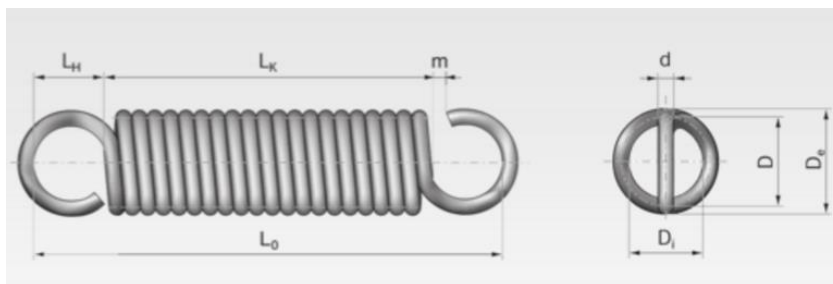
$$b = Y_B - Y_A$$

$$a = \left[(X_A - X_C) - \frac{Y_C - Y_B}{\operatorname{tg}\beta} \right]$$

$$R = \frac{Y_C - Y_B}{\sin\beta}$$

$$\frac{R \cdot \sin\beta + b}{\sin\alpha} \cdot \cos\alpha = R \cdot \cos\beta + a \rightarrow \operatorname{cotg}\alpha = \frac{R \cdot \cos\beta + a}{R \cdot \sin\beta + b}$$

Nyní se tyto vztahy vložily do programu MS Excel, úhel β se volil v rozmezí 0° až 90° . Z katalogu firmy Hennlich Industrietechnik s.r.o. byla poté zvolena pružina, jejíž vlastnosti nejlépe odpovídali požadavkům (průměr pružiny, její základní délka a maximální prodloužení, vyvozovaná síla).



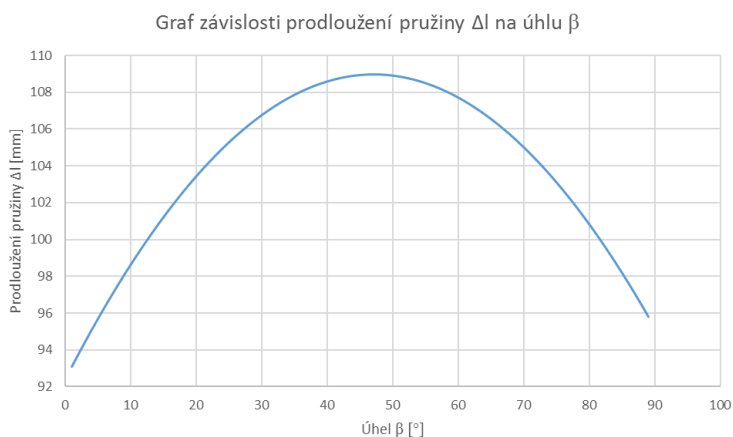
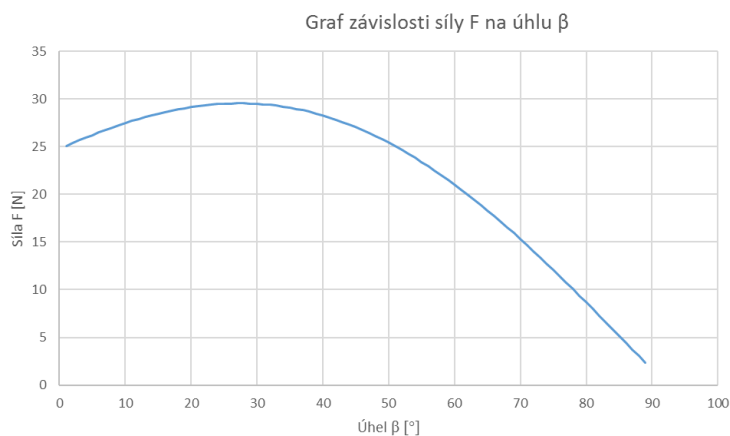
Obr. 36 Rozměry zvolené pružiny

Tab. 3 Vlastnosti zvolené pružiny

d [mm]	D _e [mm]	L ₀ [mm]	L _k [mm]	L _a [mm]	R [N/mm]	L _n [mm]	S _n [mm]	F ₀ [N]	F _n [N]	M [g]
0,9	9,9	67,6	55,4	6,1	0,15	225	157,4	2,45	26,3	3,11

Této pružině odpovídají tyto hodnoty:

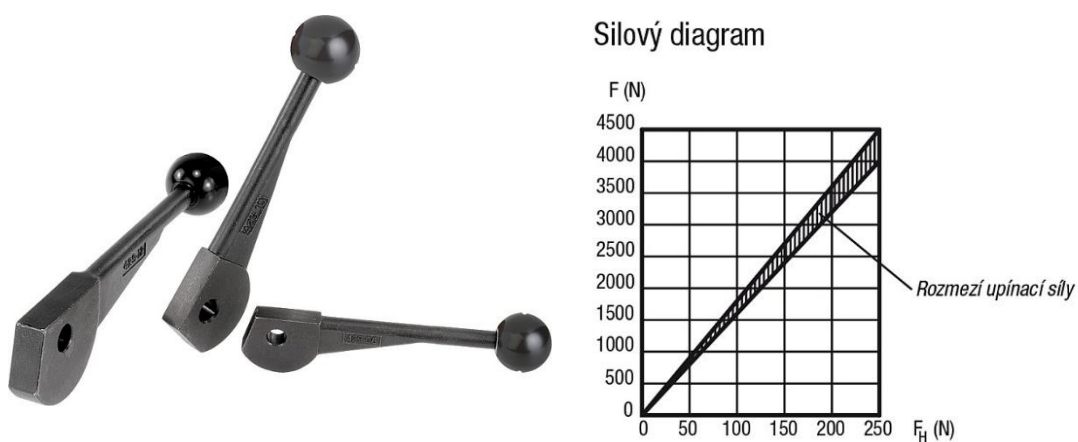
- maximální síla F potřebná k otevření upínací části zkušebního zařízení $F = 28,1\text{N}$
- maximální prodloužení pružiny $\Delta l = 111,47\text{mm}$



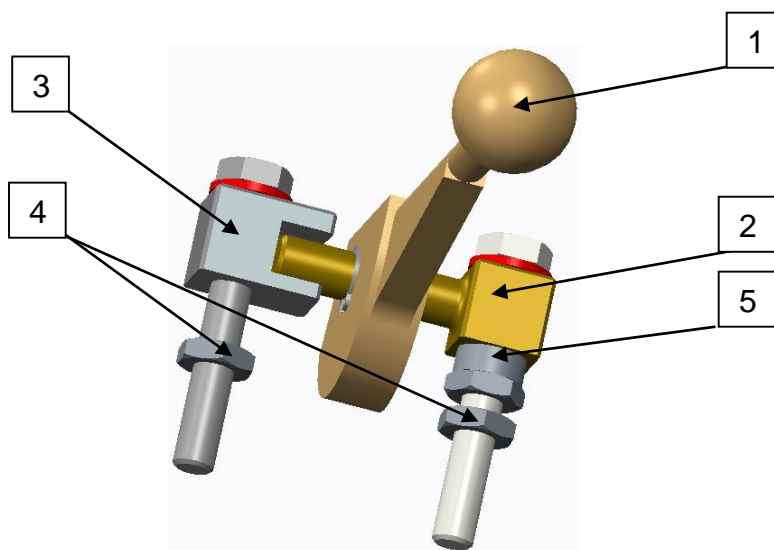
Obr. 37 Grafy závislosti síly F a prodloužení pružiny Δl na úhlu β

3.2.4 Excentrická páka použitá při upínání

K vyvození patřičné upínací síly, a potřebě snadného a rychlého upínání třmenu do zkušebního zařízení bylo zvoleno použití excentrické páky. Tato páka dosedá na plochu tvořenou destičkou z kvalitní oceli, aby se zamezilo poškození upínacího táhla z hliníkové slitiny. Existuje několik firem, které excentrické upínací prvky vyrábí a dodává. Vzhledem k dobře a přehledně zpracovaným informačním materiálům, a také volně dostupným CAD souborům byla použita páka od firmy KIPP.



Obr. 38 Vlevo použitá excentrická páka, vpravo závislost upínací síly (F) na síle vyvozované technikem při upínání (F_H)



Obr. 39 Uchycení excentrické páky



- 1 - excentrická páka KIPP
- 2 - otočné uchycení páky
- 3 – zajištění páky
- 4 – aretační matky, zajišťující polohu páky
- 5 – gumová podložka

3.3 Pohon

Pro pohon tohoto testovacího zařízení se volilo mezi elektrickým, nebo vzhledem k již existující rozvodné pneumatické síti ve zkušebně TRW, pneumatickým pohonem. Výhody elektrického pohonu oproti pneumatickému jsou, pro požadovaný točivý moment (200Nm), podstatně menší zástavbové rozměry a nižší hmotnost. Tento fakt společně s vyšší bezpečností a jednodušší regulací byly hlavní důvody pro volbu pohonu pomocí elektrického servomotoru.

Použití elektromotor disponující dostatečným točivým momentem, by bylo nevhodné vzhledem k velikosti motoru a jeho hmotnosti. Bylo tedy nutné použít přídatnou jednostupňovou převodovku, která by zvětšila točivý moment motoru na požadovaných cca 200Nm. K tomuto účelu se používají především planetové převodovky. Snaha docílit co nejmenších rozměrů a hmotností při co nejvyšším převodovém poměru vedla k použití nikoliv planetové převodovky, ale převodovky cykloidní.

Ideální volbou byl výrobce, který by dodal elektromotor i převodovku už sestavené a připravené k montáži. Tím by odpadly problémy se spárováním převodovky a motoru od různých výrobců, a také s výrobou dalších součástí jako jsou příruby apod. Česká firma TG Drives se zabývá kompletní dodávkou servopohonů od roku 1995, tato firma byla doporučena lidmi z Katedry vozidel a motorů.

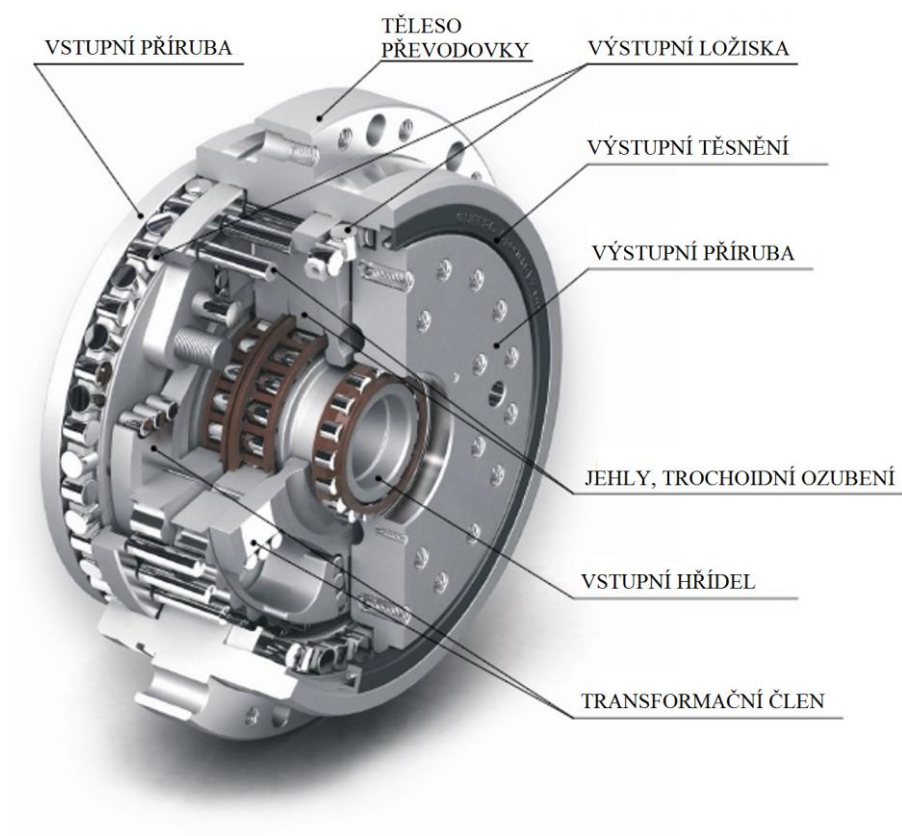
3.3.1 Převodovka

Cykloidní převodovky jsou velmi přesné převodovky, které se vyznačují vysokou torzní tuhostí, přesností a účinností při kompaktních rozměrech. Zároveň dovolují dosáhnouti velmi vysokých převodových poměrů (až několik stovek :1). [7]

Převodovky Twinspin, které vyrábí slovenská společnost Spinea dodává firma TG Drives na český trh a vyrábí se v různých velikostech podle požadovaného převodového poměru a velikosti výstupního točivého momentu. Pro zadání (200Nm) vyhovuje typ TS 110. [7]

Tab. 4 Vybrané vlastnosti převodovky Twinspin TS110 [7]

Převodový poměr	119
Maximální točivý moment	244Nm
Jmenovité vstupní otáčky	2000min ⁻¹
Základní rozměry (průměr x šířka)	110 x 61,5mm
Hmotnost	3,8kg



Obr. 40 Řez převodovkou Twinspin [7]

3.3.2 Servomotor

Pro pohon zařízení byl zvolen elektrický servomotor z nabídky firmy TG Drives řady TGH. Jedná se o řadu segmentových servomotorů, kde jsou nejprve navinuty jednotlivé fáze na segmenty statoru, ze kterých se poté vytvoří svazek. Segmentové složení statorového svazku umožňuje navíjet každý segment (pól-fázi) vinutí zvlášť v rozloženém stavu. Samostatné navíjení segmentů umožňuje dosáhnout lepšího plnění vinutí a tím zvýšení hustoty magnetického pole generované statorem a také zkrácení čel vinutí. Jak zvýšení plnění tak zkrácení čel vinutí má za následek celkové zkrácení svazku o 40–50 %. Řada servomotorů TGH se vyznačuje zkrácenou délkou motoru o 20–30 % v porovnání se servomotory se stejným momentem řady TGT. [7]



Obr. 41 Servomotor firmy TG Drives typ TGH

Minimální točivý moment motoru:

$$M_{Mmin} = \frac{M_{pož}}{i_p} = \frac{200}{119} = 1,68Nm$$

- kde:

M_{Mmin} ... minimální točivý moment motoru [Nm]

$M_{pož}$... požadovaný moment [Nm]

i_p ... převodový poměr převodovky [-]

Vzhledem k minimálnímu točivému momentu, a dalším požadovaným vlastnostem (ochrana, brzda, typ konektoru atd.) byl po dohodě s firmou TRW zvolen servomotor:

TGH3-0270-20-320/T1P-R01

Tab. 5 Tabulka vybraných vlastností zvoleného servomotoru [7]

Jmenovitý moment	2,9Nm
Jmenovité otáčky	2000min ⁻¹
Jmenovitý výkon	911W
Základní rozměry (délka x průměr)	149 x 80mm
Hmotnost	3,2kg

3.4 Snímač točivého momentu a úhlu pootočení

Požadavky na snímač točivého momentu a úhlu pootočení byly:

- možnost připojení k již existujícímu zázemí zkušebny TRW
- možnost snímání 200Nm
- vhodné zástavbové rozměry
- jednoduchá montáž
- rotační snímač

3.4.1 Snímač točivého momentu DR-2 od firmy LM

Tab. 6 Tabulka vybraných vlastností snímače točivého momentu DR-2 od firmy LM

Typ snímače	tenzometrický
Velikost snímaného točivého momentu	1 - 500Nm
Třída přesnosti	0,1
Typ mechanického uchycení	pero
Maximální otáčky	1000min ⁻¹
Možnost dodání spojek pro připojení snímače	ano
Základní rozměry (délka x výška)	140 x 68mm
Průměr hřídele	30mm



Obr. 42 Snímač točivého momentu DR-2 od firmy LM

3.4.2 Snímač točivého momentu T20WN od firmy HBM

Tab. 7 Tabulka vybraných vlastností snímače točivého momentu T20WN od firmy HBM

Typ snímače	optický
Velikost snímaného točivého momentu	0,1 - 200Nm
Třída přesnosti	0,2
Typ mechanického uchycení	svěrné spojení
Maximální otáčky	3000min ⁻¹
Možnost dodání spojek pro připojení snímače	ano
Základní rozměry (délka x výška)	170 x 73mm
Průměr hřídele	26mm



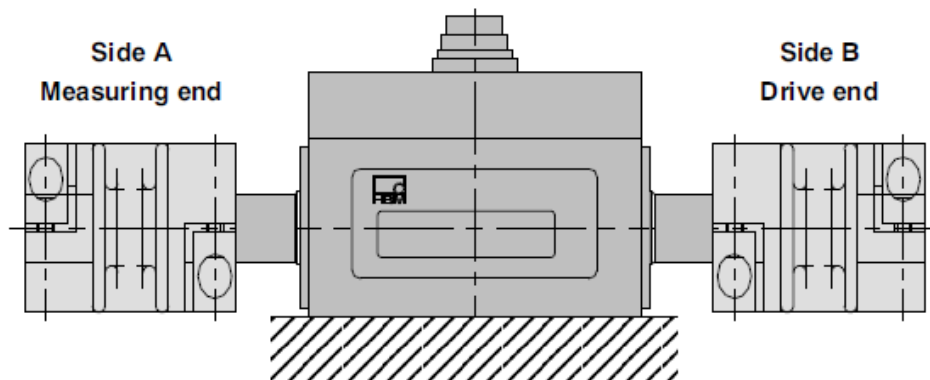
Obr. 43 Snímač točivého momentu T20WN od firmy HBM

3.4.3 Výběr snímače

Při volbě snímače točivého momentu a úhlu byl brán zřetel na softwarové vybavení zkušebny TRW a zkušenosti s různými snímači. Výběr se tedy omezil na snímače od firem Lorenz Messtechnik GmbH a Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH (dále jen LM a HBM). Pro zadaný maximální snímaný točivý moment 200Nm vyhovují z nabídky těchto firem typy DR-2 od LM a T20WN od HBM. Pouze z hlediska maximální hodnoty měřeného točivého momentu by se dala použít většina snímačů převyšujících hodnotu snímaného točivého momentu 200Nm, vzhledem k co nejmenším zástavbovým rozměrům se výběr omezil na tyto dva snímače. Oba dva snímače vyhovují všem požadavkům, po dohodě s firmou TRW byl zvolen snímač T20WN od firmy HBM.

3.4.4 Připojení snímače točivého momentu

Připojení snímače točivého momentu je realizováno pomocí dvou třecích spojek, ty dodává firma HBM jako příslušenství ke svému snímači. Výstupní a vstupní průměry těchto spojek jsou volitelné v rozsahu 24 – 56 mm. Průměr hřídele snímače je 26 mm.



Obr. 44 Snímač točivého momentu firmy HBM zapojený pomocí třecích spojek

3.5 Lineární vedení

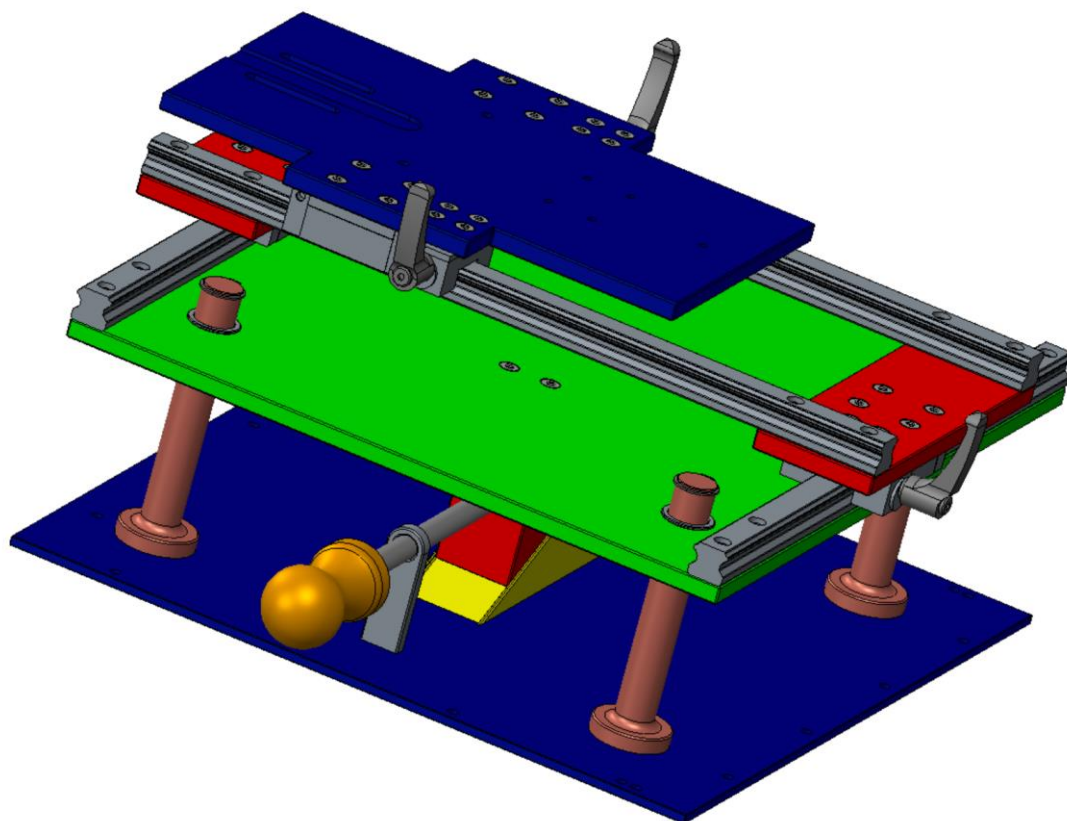
Pro zajištění nastavení měřicí polohy ve třech osách bylo použito celkem tři lineární vedení. Kde nastavení v horizontálních osách bylo zajištěno pomocí lineárního vedení firmy HIWIN, a nastavení vertikální polohy bylo zajištěno pomocí vedení vyrobitelem v dílně firmy TRW.

3.5.1 Lineární vedení pro nastavení polohy v ose testovaného šroubu a v horizontální ose kolmé k ose šroubu

Lineární vedení zde bylo voleno po předchozích zkušenostech zkušebny TRW s výrobky firmy HIWIN s.r.o. Použito bylo vedení řady HG, konkrétně HGL. Jedná se o lineární kuličkové vedení se čtyřmi oběžnými řadami kuliček, tento typ vedení disponuje vysokou tuhostí a únosností. Zároveň typ HGL má nižší zástavbovou výšku než ostatní lineární vedení nabízených firmou HIWIN s.r.o. Dráhy lineárního vedení budou realizovány kolejnicemi typu HGR typ R, tedy ze shora šroubovanými kolejnicemi, taktéž od firmy HIWIN s.r.o., o délkách 250mm pro vedení v ose šroubu a 450mm v ose kolmé na osu šroubu. Vozíčky, vzhledem k nejnižším zástavbovým rozměrům byly zvoleny HGL25CA. Tyto vozíčky snesou momentové zatížení ve všech osách maximálně 320Nm, pro daný krouticí moment tedy vyhovují. [8]



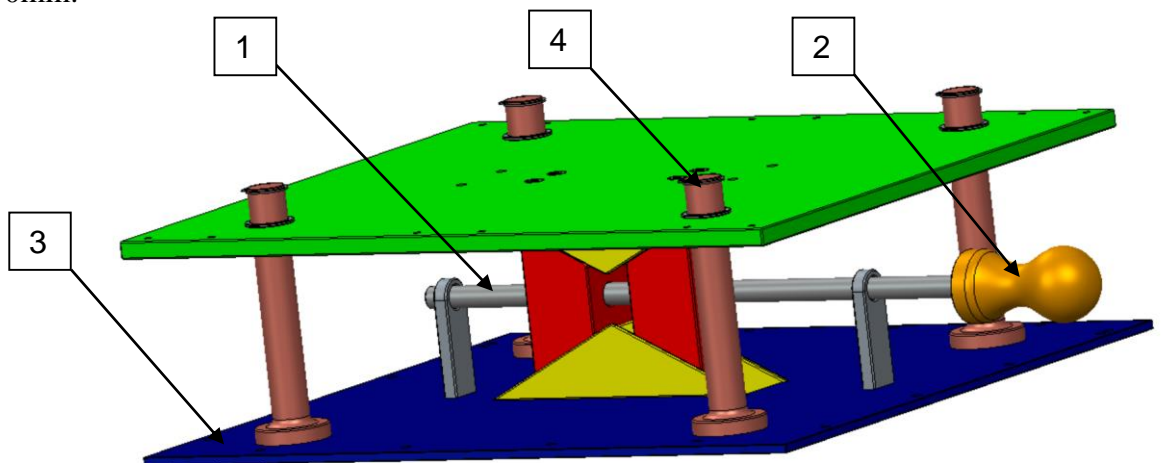
Obr. 45 Lineární vedení HGL od firmy HIWIN s.r.o. [8]



Obr. 46 Použitá lineární vedení pro zajištění měřicí polohy

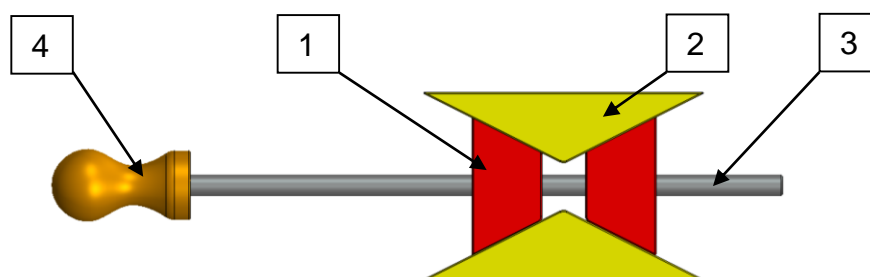
3.5.2 Lineární vedení pro nastavení vertikální měřicí polohy

Nastavení vertikální měřicí polohy je zajišťováno otáčením závitové tyče (1) pomocí madla (2). Nosná deska upínací části zkušebního zařízení (3) je usazena na čtyřech vodících segmentech (4) a zajištěna pomocí pojistných kroužků. Tyto vodítka jsou ukotveny v základní desce pomocí šroubů M10. Rozsah nastavení je 50mm.



Obr. 47 Lineární vedení pro zajištění vertikální měřicí polohy

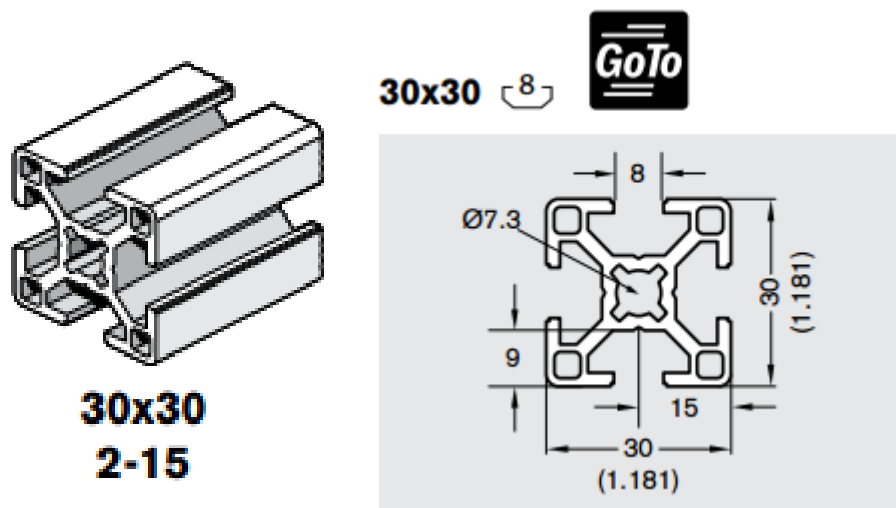
Nastavení požadované výšky je realizováno stahováním pohyblivých členů klínového tvaru (1) mezi dva pevné klíny (2). Požadovaný pohyb je docílen otáčením závitové tyče (3) opatřené trapézovým závitem. Tento závit má v délce 150mm od volného konce závitové tyče pravý smysl, od 150mm do 250mm smysl levý. Tímto je docílen společný pohyb členů k sobě (při otáčení rukojeti (4) ve směru hod. ručiček), či od sebe (při otáčení proti směru hod. ručiček).



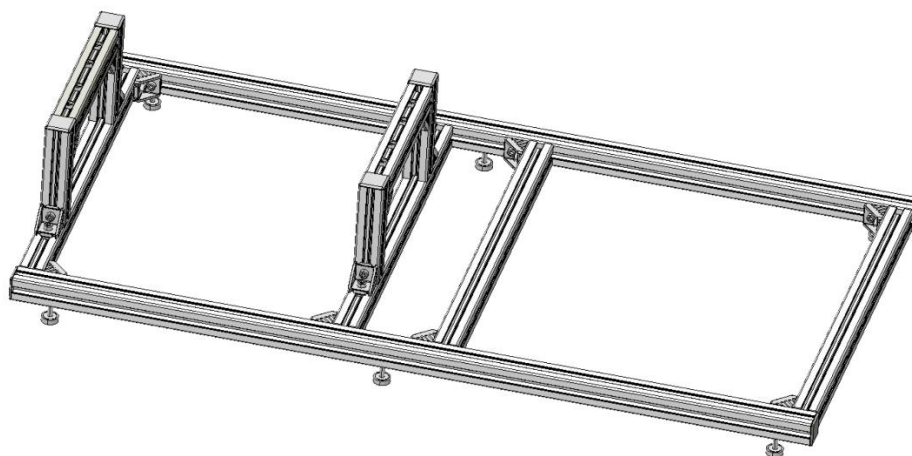
Obr. 48 Princip vertikálního lineárního vedení

3.6 Základna

Jako základ nosné konstrukce celého zařízení byly použity hliníkové profily od firmy Bosch Rexroth. Tato firma byla zvolena, neboť zkušebna TRW má již zkušenosti s jejími výrobky a zároveň dostatek případných náhradních dílů a příslušenství. Je to stavebnicový systém, který je vhodný, a který se také často používá pro konstrukci jednoúčelových zařízení. Mezi jeho výhody patří velká modulárnost, je lehký a zároveň dostatečně pevný. Výrobce nabízí nepřehledné množství příslušenství k tomuto systému, včetně různých podpěr a zátek. Všechny tyto součásti, jako modely CAD, jsou ke stažení na stránkách výrobce.



Obr. 49 Hliníkový profil použitý při návrhu nosné konstrukce



Obr. 50 Základna zkušebního zařízení složená z komponentů BOSCH Rexroth



Použit byl profil o velikosti 30x30mm. Jednotlivé profily jsou spojeny pravoúhlými spojkami a šrouby M6, tyto spojky jsou dodávány společně se šrouby jako sada. Uchycení ostatních částí, jako je lineární vedení a uchycení pohonného ústrojí je realizováno pomocí tzv. nut matek velikosti 8 a šroubů M6. Tyto nut matky jsou speciální matky o tvaru, který přesně odpovídá tvaru drážky v hliníkovém profilu. Ostatní použité příslušenství je také dodávané firmou Bosch Rexroth.

4 ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce byl konstrukční návrh zkušebního zařízení pro testování šroubů připevňující vodící čepy ke třmenu brzdy. Zařízení mělo být vyrobitelné v dílnách firmy TRW, a zároveň být použitelné v již existující infrastruktuře laboratoří této firmy.

V rešeršní části práce je vypracován přehled základních metod zkoušení šroubů. Jejich krátký popis, použitelnost a požadavky pro splnění dané zkoušky.

Návrh konstrukce a volby jednotlivých komponent probíhal pod vedením firmy TRW, tak aby bylo docíleno co nejvyššího splnění požadavků firmy. Samotné zkušební zařízení se skládá ze tří základních částí, a to z upínací části, základny a pohonu se snímačem momentu.

Základna byla realizována pomocí komponent od firmy BOSCH Rexroth, se kterými již mají v laboratořích firmy TRW bohaté zkušenosti. Toto zajišťuje potřebné znalosti pro samotné sestavení základny, ale i dostatek případných náhradních dílů či doplňků. Pro pohon zkušebního zařízení slouží servomotor společně s cykloidní převodovkou od firmy TG Drives, tato firma je schopna dodat komponenty už složené v jednom celku, a připravené k montáži. Vyrobit bude potřeba pouze přírubu uchycení samotného pohonu k základně zařízení. Snímačem kroutícího momentu byl po dohodě s TRW zvolen snímač od firmy HBM. S výrobky od této firmy mají v laboratořích TRW již také bohaté zkušenosti, díky tomu nebude problém s připojením snímače, ani s vyhodnocováním zkoušek. Upínací mechanismus byl celý navrhnut v této práci, pouze lineární vedení, které umožňuje nastavení potřebné zkušební polohy je dodáváno firmou HIWIN.

Hlavním požadavkem na zkušební zařízení byla možnost upínání všech třmenů vyráběných v TRW. Tento požadavek byl prozatím splněn. V budoucnu, pokud se začne vyrábět brzdový třmen, který díky svým rozměrům nebude moci být upnut do tohoto zařízení, bude možnost změnit rozměry upínací části zařízení. Princip upínání bude i tak nadále vyhovovat. Zároveň byly splněny požadavky na výkon i mobilitu zařízení. Celé zařízení váží cca. 25kg, neměl by být tedy problém ho přemístit, popřípadě ho uskladnit když nebude využíváno.

5 SEZNAM OBRÁZKŮ

OBR. 1 LOGO FIRMY TRW AUTOMOTIVE S.R.O.	9
OBR. 2 VÝROBNÍ A MONTÁŽNÍ LINKY V TRW AUTOMOTIVE CZECH S.R.O. JABLONEC NAD NISOU [1].....	10
OBR. 3 KOTOUČOVÁ BRZDA S PLOVOUCÍM TŘMENEM [2].....	11
OBR. 4 ŠROUB PŘIPEVŇUJÍCÍ VODÍCÍ ČEPY KE TŘMENU BRZDY POUŽÍVANÝ FIRMOU TRW	12
OBR. 5 ZAŘÍZENÍ PRO TAHOVOU ZKOUŠKU FIRMY INSTRON A DETAIL UCHYCENÍ TESTOVANÉHO ŠROUBU V ČELISTECH [9] [10]	12
OBR. 6 PRACOVNÍ DIAGRAM TAHOVÉ ZKOUŠKY	13
OBR. 7 SCHÉMA KLÍNOVÉHO UCHYCENÍ ŠROUBU [3]	14
OBR. 8 ZÁKLADNÍ ROZMĚRY ZÁVITU (D - ŠROUB, D - MATKA) [3]	15
OBR. 9 UCHYCENÍ DOKONČENÉHO ŠROUBU PŘI TAHOVÉ ZKOUŠCE [3]	16
OBR. 10 ZÁVISLOST PRODLOUŽENÍ NA ZATÍŽENÍ PRO URČENÍ TAŽNOSTI PŘI PŘETRŽENÍ [3]	19
OBR. 11 ZÁVISLOST PRODLOUŽENÍ NA ZATÍŽENÍ PRO URČENÍ MEZE KLUZU NEÚMĚRNÉHO PRODLOUŽENÍ [3].....	19
OBR. 12 UCHYCENÍ ŠROUBU PŘI TAHOVÉ ZKOUŠCE PRO DOKONČENÉ ŠROUBY [3]....	22
OBR. 13 ZKUŠEBNÍ VZOREK VYTVOŘENÝ ZE ŠROUBU PRO ZKOUŠKU TAHEM [3].....	24
OBR. 14 STŘEDOVÁ OBLAST PROMĚŘENÍ TVRDOSTI [3].....	26
OBR. 15 ZKOUŠKA TVRDOSTI DLE BRINELLA [5]	27
OBR. 16 ZKOUŠKA TVRDOSTI DLE ROCKWELLA [5].....	28
OBR. 17 ZKOUŠKA TVRDOSTI DLE VICKERSE [5]	28
OBR. 18 ZKUŠEBNÍ ZAŘÍZENÍ PRO ZKOUŠKU KRUTEM [4]	30
OBR. 19 UCHYCENÍ TESTOVANÉHO ŠROUBU PŘI ZKOUŠCE RÁZOVÉ HOUŽEVNATOSTI HLAVY [3]	31
OBR. 20 OBLASTI ODUHLIČENÍ [3].....	32
OBR. 21 ZKOUŠKA ODUHLIČENÍ A NAUHLIČENÍ MĚŘENÍM TVRDOSTI [3].....	33
OBR. 22 SCHÉMA METALOGRAFICKÉ ZKOUŠKY [6]	36
OBR. 23 METALOGRAFICKÝ MIKROSKOP [6].....	36
OBR. 24 VLEVO POVRCHOVÁ TRHLINA NA OCELOVÉM VZORKU, VPRAVO METALOGRAFICKÝ VÝBRUS ZALITÝ V PRYSKYŘICI [6].....	37
OBR. 25 DIAGRAM NAMĚŘENÝ BĚHEM JUNKEROVA TESTU (NORD-LOCK, 2007).....	38
OBR. 26 SCHÉMA JUNKEROVA TESTOVACÍHO STROJE PRO TESTOVÁNÍ ŠROUBU M8, DÉLKA SEVŘENÍ 25 MM, AMPLITUDA $\pm 0,3$ MM A FREKVENCE 45 HZ (NORD-LOCK, 2007).....	38
OBR. 27 ZKUŠEBNÍ ZAŘÍZENÍ.....	39
OBR. 28 SCHÉMA UPNUTÍ TŘMENU BRZDY VE ZKUŠEBNÍM ZAŘÍZENÍ	40
OBR. 29 UPÍNACÍ ČÁST ZKUŠEBNÍHO ZAŘÍZENÍ.....	41

OBR. 30 UPÍNACÍ TÁHLO S VYZNAČENÝM KRITICKÝM PRŮŘEZEM.....	42
OBR. 31 ROZMĚRY TÁHLA V NEJKRITIČTĚJŠÍM MÍSTĚ	42
OBR. 32 SILOVÉ POMĚRY NA UPÍNACÍM ZAŘÍZENÍ	43
OBR. 33 POMOCNÝ OBRÁZEK.....	44
OBR. 34 POMOCNÝ OBRÁZEK PRO VÝPOČET SILOVÝCH POMĚRŮ 2	44
OBR. 35 POMOCNÝ OBRÁZEK PRO VÝPOČET SILOVÝCH POMĚRŮ 3	45
OBR. 36 ROZMĚRY VOLENÉ PRUŽINY	46
OBR. 37 GRAFY ZÁVISLOSTÍ SÍLY F A PRODLOUŽENÍ PRUŽINY ΔL NA ÚHLU B.....	46
OBR. 38 VLEVO POUŽITÁ EXCENTRICKÁ PÁKA, VPRAVO ZÁVISLOST UPÍNACÍ SÍLY (F) NA SÍLE VYVOZOVANÉ TECHNIKEM PŘI UPÍNÁNÍ (F_H).....	47
OBR. 39 UCHYCENÍ EXCENTRICKÉ PÁKY.....	47
OBR. 40 ŘEZ PŘEVODOVKOU TWINSPIIN [7]	49
OBR. 41 SERVOMOTOR FIRMY TG DRIVES TYP TGH	50
OBR. 42 SNÍMAČ TOČIVÉHO MOMENTU DR-2 OD FIRMY LM	52
OBR. 43 SNÍMAČ TOČIVÉHO MOMENTU T20WN OD FIRMY HBM.....	53
OBR. 44 SNÍMAČ TOČIVÉHO MOMENTU FIRMY HBM ZAPOJENÝ POMOCÍ TŘECÍCH SPOJEK.....	54
OBR. 45 LINEÁRNÍ VEDENÍ HGL OD FIRMY HIWIN S.R.O. [8]	55
OBR. 46 POUŽITÁ LINEÁRNÍ VEDENÍ PRO ZAJIŠTĚNÍ MĚŘÍCÍ POLOHY	55
OBR. 47 LINEÁRNÍ VEDENÍ PRO ZAJIŠTĚNÍ VERTIKÁLNÍ MĚŘÍCÍ POLOHY	56
OBR. 48 PRINCIP VERTIKÁLNÍHO LINEÁRNÍHO VEDENÍ	56
OBR. 49 HLINÍKOVÝ PROFIL POUŽITÝ PŘI NÁVRHU NOSNÉ KONSTRUKCE	57
OBR. 50 ZÁKLADNA ZKUŠEBNÍHO ZAŘÍZENÍ SLOŽENÁ Z KOMPONENTŮ BOSCH REXROTH	57



6 SEZNAM TABULEK

TAB. 1 TABULKA ZÁVISLOSTI POMĚRU X NA PEVNOSTNÍ TŘÍDĚ ŠROUBU [4]	30
TAB. 2 ÚHEL PEVNÉHO BLOKU B PRO ZKOUŠKU RÁZOVÉ HOUŽEVNATOSTI HLAVY ŠROUBU [3]	31
TAB. 3 VLASTNOSTI ZVOLENÉ PRUŽINY	46
TAB. 4 VYBRANÉ VLASTNOSTI PŘEVODOVKY TWINSPIN TS110 [7]	49
TAB. 5 TABULKA VYBRANÝCH VLASTNOSTÍ ZVOLENÉHO SERVOMOTORU [7]	51
TAB. 6 TABULKA VYBRANÝCH VLASTNOSTÍ SNÍMAČE TOČIVÉHO MOMENTU DR-2 OD FIRMY LM	51
TAB. 7 TABULKA VYBRANÝCH VLASTNOSTÍ SNÍMAČE TOČIVÉHO MOMENTU T20WN OD FIRMY HBM.....	52



7 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Oficiální internetové stránky firmy TRW [online]. Dostupné z:
<http://www.trwczech.cz/>
- [2] Výukové materiály Gymnázium a Střední odborná škola, Podbořany, příspěvková organizace k předmětu Automobily 1. [online] Dostupné z:
http://mechmes.websnadno.cz/dokumenty/pri-teo-10.2_brzdyabrzdazarizeniautomobilu_kotoucovebrzdy.pdf
- [3] ČSN EN ISO 898-1. *Mechanické vlastnosti spojovacích součástí z uhlíkové a legované oceli - Část 1: Šrouby se specifikovanými třídami pevnosti - Hrubá a jemná rozteč*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
- [4] ČSN EN ISO 898-7. *Spojovací součásti. Mechanické vlastnosti spojovacích součástí. Část 7: Zkouška krutem a minimální krouticí momenty pro šrouby se jmenovitým průměrem 1 mm až 10 mm*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1995.
- [5] MUZIKANT, Miroslav. *Měření tvrdosti na rotačních součástech* [online]. Brno 2009. Dostupné z:
https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=16930
- [6] Výukové materiály VŠCHT Praha k předmětu Metalografie I. [online] Dostupné z:
http://old.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/fm_metalografie_1/teorie.htm
- [7] TG Drives s.r.o. [online]. Dostupné z:
<http://www.tgdrives.cz/>
- [8] Hiwin s.r.o. [online]. Dostupné z:
<http://www.hiwin.cz/>
- [9] AADFW Inc. [online]. Dostupné z:
<http://www.aadfwinc.com/index-10.html>
- [10] Instron Inc. [online]. Dostupné z:
<http://www.instron.us/en-us/testing-solutions/by-standard/iso/iso-898-1>
- [11] LEINVEBER, Jan; VÁVRA, Pavel. *Strojnické tabulky*. Albra 2009
- [12] PEŠÍK, Lubomír. *Části strojů*. Liberec 2005