



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

KONSTRUKČNÍ NÁVRH STOJANOVÉHO PŘÍPRAVKU PRO MĚŘENÍ KROUTÍCÍHO MOMENTU

DESIGN OF STAND FOR TORQUE MEASUREMENT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ondřej Zerzánek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Pavel Čípek

BRNO 2020

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student: **Ondřej Zerzánek**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Stavba strojů a zařízení
Vedoucí práce: **Ing. Pavel Čípek**
Akademický rok: 2019/20

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

Konstrukční návrh stojanového přípravku pro měření kroutícího momentu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Předmětem bakalářské práce je navrhnout stojanový přípravek pro přístroj MARK–10 od firmy Resideo, který slouží k měření kroutícího momentu např. u ovládní uzávěrů, upevňovacích prvků, atd. Práce obsahuje také návrh přípravku pro upevnění testovaných vzorků, protože testy vyžadují přesné a rovnoměrné natáčení vzorků, čímž je zajištěna přesnost měření. Student tedy navrhuje ucelené řešení stojanového přípravku včetně upínání a natáčení testovaných vzorků pro víceúčelové použití v oblasti testování součástí do plynových kotlů.

Cíle bakalářské práce:

Hlavním cílem práce je konstrukční návrh stojanového přípravku včetně doplňujících upínacích přípravků potřebných k testování celého spektra výrobků vyráběných firmou Resideo.

Dílčí cíle bakalářské práce:

- zpracovat rešerši problematiky přístrojových stojanů, polohovatelných upínacích přípravků a snímačů krouťacího momentu,
- provést analýzu všech dostupných řešení z rešerše a následně vyselektovat použitelné varianty pro danou problematiku,
- zpracovat nejméně 2 koncepční řešení daného problému,
- vybrat nejvhodnější řešení a to rozpracovat do fáze výrobní výkresové dokumentace.

Požadované výstupy: průvodní zpráva, výkresy součástí, výkres sestavení.

Rozsah práce: cca 27 000 znaků (15 – 20 stran textu bez obrázků).

Časový plán, struktura práce a šablona průvodní zprávy jsou závazné:

<http://ustavkonstruovani.cz/texty/bakalarske-studium-ukonceni/>

Seznam doporučené literatury:

SHIGLEY, Joseph Edward, et al. Konstruování strojních součástí. V Brně: Vutium, 2010.

SVOBODA, Pavel; BRANDEJS, Jan; DVOŘÁČEK, Jiří. Základy konstruování. Akademické nakladatelství CERM, 2015.

SPOTTS, Merhyle Franklin. Design of machine elements. Nirali Prakashan, 1953.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá konstrukčním návrhem stojanového přípravku pro měření kroutícího momentu a přípravků k tomu potřebných. Problém je řešen primárně za pomoci hliníkových profilů a nakoupených nebo vyrobených součástí. Při řešení je brána v úvahu omezená možnost výroby. Výsledkem práce je modelový návrh s výkresy a kritické zhodnocení návrhu. Je to užitečný příklad, jak se dá vyrobit stojan pro měření krutu, namísto zakoupení komerčně prodávaného za vysokou cenu.

KLÍČOVÁ SLOVA

Měřák krutu, Stojan pro měření krutu, Přípravek, Mark-10, měření

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with design of stand for torque measurements and additional fixtures. Issue is realized by aluminium profile systems and manufactured or purchased parts. Solution takes in account limited manufacturing options. Final part of this thesis is 3D model and critical evaluation of design. This thesis is useful example of how to create torque stand instead purchasing expensive commercially available stand.

KEYWORDS

Torque meter, Torque stand, fixture, Mark-10, measurement

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ZERZÁNEK, Ondřej. *Konstrukční návrh stojanového přípravku pro měření kroucího momentu* [Online]. Brno, 2020 [cit. 2020-06-25]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/124316>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. Vedoucí práce Pavel Čípek.

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu Ing. Pavlu Čípkovi za ochotu a rady při vpracování této práce. Dále děkuji Ing. Marku Kaňuchovi z firmy Ademco CZ s.r.o. (Resideo) za tuto možnost práci vytvořit. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat Ing. Karlu Kočárkovi také z této firmy, který mi poskytoval technické konzultace a vnukl spoustu nápadů. Závěrem také všem zaměstnancům vývojového centra firmy Resideo, kteří mi byli ochotni věnovat svůj čas.

PROHLÁŠENÍ AUTORA O PŮVODNOSTI PRÁCE

Prohlašuji, že bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně, pod odborným vedením Ing. Pavla Čípka. Současně prohlašuji, že všechny zdroje obrazových a textových informací, ze kterých jsem čerpal, jsou řádně citovány v seznamu použitých zdrojů.

.....

Podpis autora

OBSAH

1	ÚVOD	1
2	PODKLAD PRO KONSTRUKCI	2
2.1	Měřáky kroutícího momentu	2
2.1.1	Dynamometr	2
2.1.2	Elektrické snímače kroutícího momentu	2
2.1.3	Měřáky klíčového typu	4
2.1.4	Stolové měřáky	6
2.1.5	Stojanové přípravky	7
2.2	Převody pro přesné polohování	8
2.2.1	Děličky a otočné stoly	9
2.2.2	Šnekové převodovky	11
2.3	Posuvová soustava	11
2.3.1	Kuličkové šrouby	12
2.3.2	Pastorek a hřeben	13
2.3.3	Lineární vedení	14
2.4	Rám stojanu	16
2.4.1	Svařované	17
2.4.2	Spojované	17
2.4.3	Stavebnicové	18
3	ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE	19
3.1	Analýza problému	19
3.2	Cíl práce	20
4	KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ	21
4.1	Otočný stůl	21
4.2	Lineární vedení	22
4.3	Upínací deska stolu	23
4.4	Posouzení koncepčních řešení	24
4.4.1	Otočný stůl	24
4.4.2	Lineární vedení	24
4.4.3	Upínací deska stolu	24
5	KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ	25
5.1	Otočný stůl	26

5.2	Lineární vedení a rám	27
5.3	Upínací deska stolu	28
5.4	Držák snímače s měřákem	29
5.5	Nosná konstrukce	30
5.6	Nástavec pro axiální kompenzaci	31
5.7	Přípravky pro upínání	32
5.8	Ověření výpočty	33
5.8.1	Ověření pevnosti hřídele stolu	33
5.8.2	Ověření pevnosti nástavce pro axiální kompenzaci	34
6	DISKUZE	37
6.1	Zhodnocení konstrukčního návrhu	37
6.2	Ekonomické zhodnocení	39
7	ZÁVĚR	40
8	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	41
9	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN	43
9.1	Příklady použitých fyzikálních veličin	43
9.2	Příklad použitých zkratk	43
10	SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ	44
11	SEZNAM TABULEK	46
12	SEZNAM PŘÍLOH	47

1 ÚVOD

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem stojanového přípravku pro měření krouťicího momentu. V některých případech je zapotřebí měřit malé krouťicí momenty na různých úlohách jako je tomu v laboratořích firmy Ademco s.r.o. (Resideo). Úkolem této práce zlepšení používaných metod. Pro tato měření vlastní firma přesný měřicí přístroj, který se dá použít při držení v rukou, ale toto použití ovlivňuje naměřené hodnoty a zvyšuje nepřesnost. Přesnější alternativou je zakoupení příslušenství v podobě stojanu s otočným stolem a nástavci pro zpřesnění a konzistentnější měření. Příslušenství v podobě stojanu je ale cenově nevýhodné, a proto je další variantou návrh funkčně podobného příslušenství splňující konkrétní požadavky firmy.

Obsahem této práce bude v rešeršní části průzkum oblasti měřáků a snímačů krouťicího momentu. Dále stručné objasnění některých uvažovaných konstrukčních řešení, lineárního vedení a jeho pohonu, otočných stolů a jejich alternativ. Podrobněji jsou zde rozebrány možnosti a druhy měření krouťicího momentu. Kapitola převody pro přesné polohování popisuje možnosti řešení otočných stolů jak prodávaných variant přímo pro obráběcí stroje, tak variant užívajících převodových soukolí. V další kapitole jsou přiblíženy některé druhy posuvových soustav.

Výsledkem této práce bude průzkum možných řešení přístrojových stojanů a zhodnocení dostupných možností s porovnáním použitelnosti jednotlivých návrhů a konečnou volbou výsledného nejvhodnějšího řešení. Kapitola konstrukční řešení obsahuje návrhem konečného řešení stojanového přípravku pro měření krutu a jeho přídavných přípravků pro upínání vzorků s ohledem na potřeby firmy a realizovatelnost dostupnými technologiemi. Výsledný návrh je zde podrobněji popsán a rozebrán na konkrétní problematické uzly. V kapitole se po konstrukční části vyskytuje také ověřovací výpočtová část, která stanovuje hraniční parametry použití výsledného řešení.

Motivací a cílem této práce je získání zkušeností a vytvoření fyzického výrobku, který bude někomu nápomocný při práci a přinese lepší výsledky při měření.

2 PODKLAD PRO KONSTRUKCI

2.1 Měřáky kroučícího momentu

Pro snímání kroučícího momentu jsou používány různé druhy snímačů s rozdílnou konstrukcí pro různá měření. Velkou roli v tomto výběru hraje citlivost a rozsah použití, zda je měřen statický kroučící moment či moment na hřídeli motoru. Pro měření motorů se používají dynamometry.

2.1.1 Dynamometr

Dynamometr je stejnosměrný točivý elektrický stroj. Může se ale jednat i o stroj střídavý. Využívá se principu akce a reakce. Stator stroje je uložený otočně, měřený kroučící moment se přenáší do motoru a má tendenci s ním otáčet. Proti otáčení působí např. pružina. Natočení statoru je tedy proporcionální kroučícímu momentu, který chceme měřit. Typicky je měřena síla na rameni známé délky. K měření se používá např. váha nebo jiný elektrický snímač síly (tenzometrický). Kroučící moment je vypočítán za pomoci vzorce (1): [1]

$$M = F \cdot l \quad [Nm] \quad (1)$$

F ...měřená síla [N]

l ...délka ramene [m]

2.1.2 Elektrické snímače kroučícího momentu

Tento typ využívá tenzometrů umístěných na deformované hřídeli. Tenzometry jsou umístěné pod úhlem 45 °. Zapojení je do plného můstku z důvodů velké citlivosti a automatické teplotní kompenzace. Napájení můstku je buď bateriové, nebo na principu elektromagnetické indukce přenosem energie přes malou vzduchovou mezeru. V tom případě je stator snímače vybaven vinutím, druhé vinutí je proti němu na rotoru. Energie se přenáší jako v transformátoru. Výstup signálu z můstku je v dnešní době nejčastěji digitalizován a bezdrátově přenášen přímo do měřícího zařízení nebo do přijímače na statoru a odtud pak dál drátově. Na trhu se vyskytují jak samotné snímače, tak zařízení s integrovaným snímačem, pro rychlé a jednoduché zjišťování kroučícího momentu. Druhou variantou je zařízení pro externí snímače neboli vyhodnocovací jednotka bez integrovaného snímače určená pro řady patentovaných snímačů. Umožňující dynamickou kontrolu kroučících momentů a simulování operací provedených různým montážním nářadím. [1]

Digitální měřák momentu

Na trhu se vaskytují snímače momentu s odnímatelným nebo integrovaným snímačem k zařízení. Pro měření přesných měření je zde měřák s integrovaným snímačem, který má snímací frekvenci až 2 000 Hz při vysoké přesnosti až +/- 0,5 % z celého rozsahu. Jsou malé a lehké přenosné. Napájení je bateriové s možností zapojení přímo do sítě. Měřáky jsou vybaveny pokročilejšími funkcemi měření a jsou schopné zaznamenávat data a později je přenést do počítače pro detailní analýzu. Měřáky od firmy Mark-10 (Obrázek 1) jsou opatřeny kleštinami pro upínání součástí a prodávají se ve více rozsahových provedeních v odtupňování s rozsahem měřeného momentu do 7, 14, 36, 135, 570, 1 150 Ncm. Určení použití je cíleno na laboratorní měření. V tabulce 1 je porovnání podobných snímačů od různých výrobců. [4]



Obrázek 1: Digitální měřák momentu Mark-10 TT03 [4]

Tabulka 1: Porovnání digitálních snímačů momentu [2 - 4]

Maximální rozsah:	Minimální rozsah:	Přesnost:	Výrobce:	Modelová řada:
+/- 11,5 Nm	+/- 0,07 Nm	0,5 %	Mark-10	TT03
+/- 0,6 Nm	+/- 0,3 Nm	0,5 %	Futek	TAT200
+/- 5 Nm	+/- 0,5 Nm	1 %	Natis	MS
+/- 20 Nm	+/- 0,2 Nm	0,25 %	Lorenz	D-2431
+/- 6 Nm	+/- 0,05 Nm	0,5 %	CEDAR	DIS-RL
+/- 10 Nm	+/- 0,3 Nm	0,5 %	Mecmesin	TS

2.1.3 Měřáky klíčového typu

Tento typ najde použit ve výrobě a dílně, kdy samotné měřící zařízení je zabudováno v klíči či šroubováku s výměnnými bity či nástavci pro široké spektrum klíčů. Na trhu se vyskytují mechanické analogové verze a zároveň digitální elektronické. V této části se zaměříme na měřící klíče pro zjišťování momentu. Na trhu také existuje mnoho momentových utahováků s prokluzem s možností nastavení požadovaného momentu pro utažení, kdy se v momentě překročení dané hodnoty začne klíč protáčet.

Mechanické momentové šroubováky a klíče

Levnější méně přesné měřáky měří moment otáčení vpravo i vlevo s přesností $\pm 3\%$, funkce podržení maxima zaznamenaná nejvyšší dosažený moment. Šroubovák je vybaven držákem pro výměnné bity. Na trhu se vyskytují různé konstrukce s rozsahy stupnic 0,1 Nmm – 16 Nm. Větší hodnoty momentu je už těžké vygenerovat za pomoci ruky a šroubováku, proto jsou pro tyto případy určeny měřáky podobající se klíči na utahování. Momentové klíče mají podobné vlastnosti jako momentové šroubováky. Pro porovnání jsou na obrázku 2 zobrazeny oba druhy od stejného výrobce. Díky větší páce je možné dosáhnout většího momentu oproti šroubováku (až tisíce Nm) viz. tabulka 2. Provedení s hlavicí typu ráčna nebo speciální koncovkou se výměnnými hlavicemi různých variant. [2]



Obrázek 2: Analogový momentový šroubovák (Tohnichi FTD) a klíč (Tohnichi DB) [2]

Tabulka 2: Porovnání analogových měřáků [4][27]

Typ měřáku:	Rozsah řady:	Přesnost:	Výrobce:	Řada:
Klíč	0,2 – 6 000 Nm	3 %	Tohnichi	DB, DBE, DBR
Klíč	0,8 – 2 000 Nm	3 %	Gedore	ADS, BDS, CDS
Šroubovák	0,3 – 16 Nm	3 %	Tohnichi	FTD
Šroubovák	0,1 – 5 Nm	6 %	Gedore	TT

Elektronické momentové šroubováky a klíče

Digitální momentové šroubováky měří obvykle v obou směrech otáčení a dosahují vyšší přesnosti oproti analogovým, obvykle okolo $\pm 1\%$. Pokročilejší měřáky mají paměť pro tisíce naměřených hodnot se statistikou a USB výstupem do počítače pro vyhodnocování. Tento druh měřáků je opět vybaven držákem pro výměnné bity. U šroubováku se rozsahy pohybují do jednotek Nm. Výhodou je u dražších modelů možnost zaznamenávat data a zpracovat je elektronicky. Digitální momentové klíče disponují podobnými vlastnostmi a přesností pouze s větším rozmezím utahovacího momentu. Na obrázku 3 je pro srovnání vyobrazen digitální momentový klíč a šroubovák. Některé přístroje jsou schopné odměřovat i úhel natočení. V tabulce 3 jsou uvedeny příklady měřáků pro srovnání. Digitální měřáky sice disponují větší přesností, ale cenově se pohybují někdy až několikanásobně výše než analogové. [2]



Obrázek 3: Digitální momentový šroubovák (Tohnichi STC2) a klíč (Tohnichi CEM3) [2]

Tabulka 3: Srovnání některých výrobců digitálních měřáků [2]

Typ měřáku:	Rozsah řady:	Přesnost:	Výrobce:	Řada:
Digitální klíč	1 – 850 Nm	1 %	Tohnichi	CEM3
Digitální klíč	1 – 2 000 Nm	1 %	BMS	PRO
Digitální klíč	1 – 1 000 Nm	2 %	Stahlwille	714
Šroubovák	0,1 – 4 Nm	1 %	Tohnichi	STC2
Šroubovák	0,02 – 4 Nm	0,5 %	CEDAR	DID-4

2.1.4 Stolové měřáky

Konstrukce zpravidla řízena motorem s počítačovým zkušebním systémem kroutícího momentu, který je programovatelný pro zkoušky typu kroutící moment v závislosti na úhlu natočení. Tyto přístroje mají možnost programování zkušební úlohy, řízení zkoušky a zobrazení grafu zkoušky, které se provádí na počítači nebo notebooku. Software umožňuje jednoduché vytváření zkušebních úloh, vyhodnocení požadovaných parametrů zkoušky, archivaci naměřených hodnot v souborech na hard disku počítače, vykreslení křivek přes sebe, zobrazení naměřených hodnot, výstup v Excel formátu, tisk protokolu o měření a řadu dalších funkcí. Zkušební systém (Obrázek 4) umožňuje měření momentu vpravo i vlevo, s možností rychlé výměny snímače momentu s automatickou identifikací daného snímače, přesnost zařízení $\pm 0,5 \%$ z rozsahu, rychlost snímání měření momentu volitelná až do 2 000 Hz (lze měřit i dynamický moment), plynule programovatelná rychlost otáčení (0,1 až 20 otáček/min), přesnost měření úhlu natočení $\pm 0,2^\circ$, po nastavení je plně automatický průběh zkoušky. V tabulce 4 je srovnáno pár stolových měřáků od různých výrobců. Vysoká přesnost a automatizace zařízení vyvažuje vysoká pořizovací cena, a proto jsou tyto typy zařízení vhodné spíše pro laboratorní podmínky. [2]



Obrázek 4: Motorizovaný testovací měřák TAA-MTS-10N-TB [29]

Tabulka 4: Srovnání některých výrobců stolových měřáků [2]

Maximální rozsah:	Minimální rozsah:	Přesnost:	Výrobce:	Modelová řada:
± 10 Nm	$\pm 1,5$ Nm	0,5 %	Mecmesin	TORNADO
$\pm 4 - 20$ Nm	$\pm 0,02 - 0,1$ Nm	1 %	Tohnichi	TME
± 6 Nm	$\pm 0,1$ Nm	0,5 %	Mecmesin	HELIXA-i

2.1.5 Stojanové přípravky

Stojanové měřáky složí pro uchycení snímačů různých fyzikálních veličin, většinou jejich konstrukce umožňuje měřit pouze konkrétní veličinu. Při měření je zapotřebí dosahovat jisté přesnosti. Uvedeno na příkladu při měření tahu je ideální natahovat zkoušený vzorek konstantní silou, u krutu kroutit konstantní rychlostí otáčení. K těmto účelům slouží přípravky v podobě stojanů, které díky své konstrukci zaručí konstantní průběh natahování nebo otáčení zkoušeného vzorku a tím zaručí přesnější výsledky (Obrázek 5). Otáčení je realizováno elektromotorem nebo soukolím převádějícím otáčení kliky na otáčení testovaného vzorku. Další výhodou je schopnost vytvořit síly větších hodnot, než je schopen vyvinout člověk. Ve většině případů bývá snímač dané veličiny možné vyměnit za snímač jiných rozsahů a rozlišení, což přináší širší spektrum použitelnosti. Určité typy přípravků jsou na trhu určených pro kalibraci momentových měřáků. Obvykle bývá prodáván samostatně a je nutné dokoupit dané snímače a příslušenství zvlášť. V tabulce 5 jsou srovnány rozměry pracovních prostorů několika stojanových přípravků. [3]



Obrázek 5: Mark-10 TSTH manuální testovací stojan [4]

Tabulka 5: Porovnání pracovního prostoru různých stojanů pro měření krutu [4][28][29]

Název:	Převodový poměr:	Pracovní prostor: (\varnothing – délka)	Možnosti pohonu:
TTST-V	$i = 40; 9 \text{ } \%/ot$	240 – 430 mm	Ruční
Mark-10 TST	$i = 30; 12 \text{ } \%/ot$	208 – 457 mm	Ruční – motor
IMADA MTS	–	230 – 340 mm	Motor

2.2 Převody pro přesné polohování

Tato kapitola je zaměřena převodům pro přesné polohování. Ideálními parametry přesných převodů je malá nebo téměř nulová vůle, obvykle vysoké převodové poměry a schopnost přenášet velký točivý moment. Vysoká přesnost těchto převodovek se samozřejmě odrazí na ceně a je potřeba mít představu, jak velkou vůli v převodovce jsme ochotni akceptovat. Důležitým parametrem při výběru je také převodový poměr (i). Ten se dá popsat následujícím výpočtem (2):

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{D_2}{D_1} = \frac{z_2}{z_1} \quad [-] \quad (2)$$

n_1 ...otáčky hnacího kola [ot/min]

n_2 ...otáčky hnaného kola [ot/min]

D_1 ...roztečný průměr hnacího kola [mm]

D_2 ...roztečný průměr hnaného kola [mm]

z_1 ...počet zubů hnacího kola [-]

z_2 ...počet zubů hnaného kola [-]

Je to tedy poměr vstupních otáček ku výstupnímu. Při převodu do pomala je hodnota $i > 1$. Máme-li například $i = 10$ pak jedna celá otáčka na vstupu 360° otočí výstupem pouze o 36° . Posledním parametrem je rozsah momentu, na který je převodovka navržena. Pro naše použití je potřeba vyhledávat převodovky s úhlovou konstrukcí, tzn. osa vstupu oproti výstupu natočena o 90° . [5]

2.2.1 Děličky a otočné stoly

Zařízení sloužící při frézování drážek a zářezů ve stejných vzdálenostech na rotačních součástech, které je schopné rozdělit obvod na požadovaný počet dílů. Mechanický dělicí přístroj patří k základnímu příslušenství každé frézky. Alternativou je také optický dělicí přístroj k výrobě velmi přesných součástek.

Mechanický dělicí přístroj (obrázek 6) se skládá ze sklíčidla na upínání obrobku, vnitřních převodů ozubenými koly, dělicího kotouče s rameny a klikou. Dodatečně se používá s přestavitelným koníkem pro podporu součásti z neupnutého konce a dosažení větší tuhosti upnutí, také lze dělení rozdělit podle způsobu: [6]

- Dělení přímé
- Dělení nepřímé
 - Jednoduché
 - Složité
 - Diferenciální

Dělení přímé

Za pomoci pevného spojení vřetene a dělicího kotouče, kdy dělicí kotouč má většinou 24 zářezů, je možné vytvořit všechny počty roztečí z řady 24, 12, 8, 6, 4, 2. Po vyfrézování daného tvaru se kotouč otočí o potřebný počet děr dělicího kotouče a zaretuje se.

Dělení nepřímé

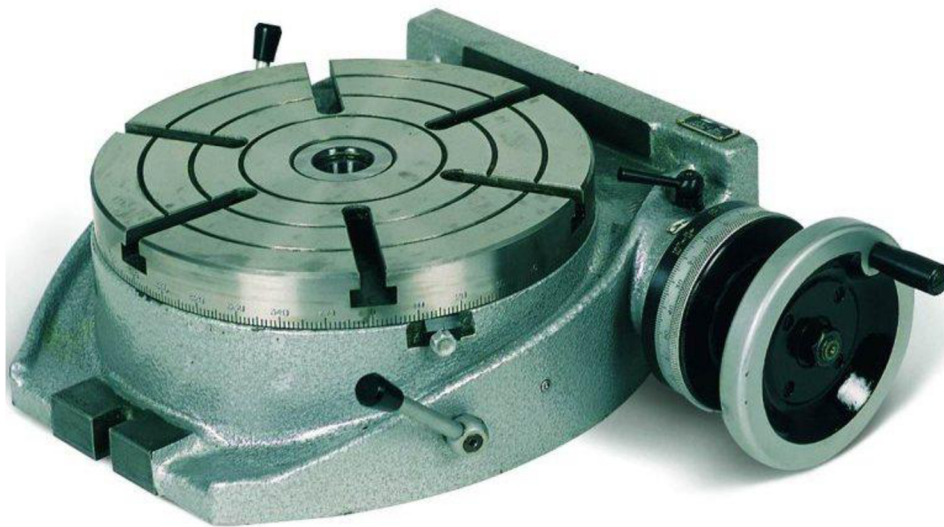
Do otáčení je zapojen vnitřní převod a provádí se přepočty mezi potřebným počtem dílů a počtem, který vyžadujeme. Existuje více druhů nepřímého dělení, některé využívá přiřazování dalších ozubených kol do soustavy.



Obrázek 6: Dělicí přístroj s příslušenstvím BS-0-J, TOS UIG 125/3 - 2 [7]

Otočné stoly

Základním rozdílem oproti univerzálním dělicím přístrojům je v pevné vnitřní konstrukci, ve které je využito převážně šnekového převodu s převodovým poměrem 1 : 36 a nebo 1 : 90 [8]. Vlastností těchto stolů je velká tuhost a možnost horizontálního či vertikálního umístění. Otáčení je prováděno ručně pomocí kličky se zabudovaným odměřováním, díky kterému můžeme dosáhnout přesných úhlů otočení. Na otočném stole pro upínání obrobku jsou vytvořeny T – drážky a po boční straně stolu bývá páka pro aretaci rotace stolu (Obrázek 7). Ruční provedení je realizováno pouze u menších stolů, pro střední a velké obrobky jsou už otočné stoly motorizovány.



Obrázek 7: Otočný stůl značky Proma OS - 250 [8]

2.2.2 Šnekové převodovky

Šneková soukolí (Obrázek 8) patří mezi nejpoužívanější převody, protože jde o efektivní řešení úhlového převodu (nejčastěji 90°) za přijatelnou cenu. V jednom stupni je schopna realizovat vysoké převodové poměry $i = 5$ až 100. Šnekové převody lze libovolně kombinovat s dalšími typy převodovek, čímž lze dosáhnout vysokého převodového poměru při malých zástavbových rozměrech. Dlouhá životnost, nízká hlučnost a vyšší účinnost šnekového soukolí závisí především na použitých materiálech, správním technologii výroby a přesném a tuhém uložení s vhodně zvoleným mazivem. Důležitou vlastností šnekových převodovek je jejich samosvornost. Je to případ, kdy sebevětším momentem působícím na šnekové kolo není možné uvést soukolí do pohybu (používáno například u zdvihacích mechanismů). Mez samosvornosti nastává v okamžiku, kdy je úhel stoupání roven třecímu úhlu. Samosvornost je zaručena zvláště u vyšších převodových poměrů. Nevýhodou šnekových soukolí je jejich nízká účinnost v rozsahu 45 – 60 % a s tím vznikající teplo které je nutné odvádět mazivem nebo cirkulací oleje. [9]



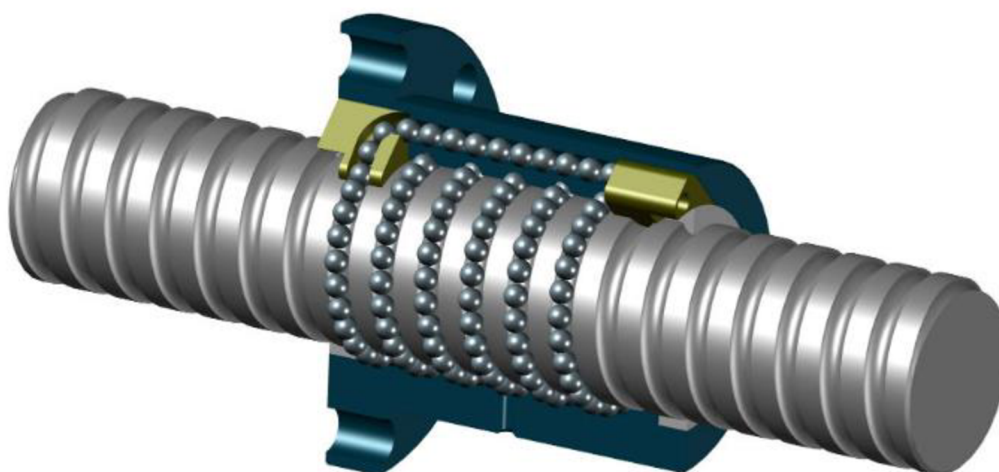
Obrázek 8: Šnekový převod [10]

2.3 Posuvová soustava

Posuvová soustava slouží k vedení nebo také vytváření přímočarého nebo křivočarého pohybu, který je předem definována a soustava zajišťuje, aby těleso konalo pohyb po přesně definované dráze. Těleso koná pohyb po dráze i za působení sil mimo směr posuvu tělesa. K vedení se při návrhu užívá vedení s kluznými či valivými členy, které jezdí po kolejnici, vodící tyči nebo tvarové drážce. Pro konání pohybu může být užito lineárních motorů, kuličkových šroubů, řemenů, hřebenových ozubení či spousta dalších konstrukčních řešení. Důležitým faktorem je vůle ve vedení, tuhost vedení a odpor proti pohybu. [18]

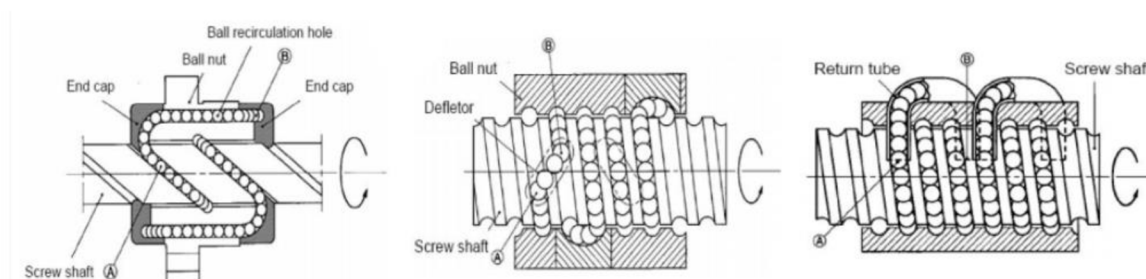
2.3.1 Kuličkové šrouby

Před zavedením kuličkových šroubů se používaly pohybové šrouby s kluzným třením a vymezenou vůlí. Toto provedení mělo větší tření a tím nižší účinnost a bylo nahrazeno šroubem a maticí se třením valivým, díky kterému se zmenšilo opotřebení závitů a účinnost dosáhla 90 % i více [11]. Hlavní funkcí kuličkových šroubů je převedení rotačního pohybu na přímočarý. Konstrukce šroubu a matice je realizována za pomoci kuliček (Obrázek 9), které obíhají mezi ocelovým šroubem a maticí s kaleným a broušeným povrchem závitů o vysoké přesnosti. Předností tohoto řešení je malá úchylka stoupání (např. 0,002 mm na 100 mm), možnost odstranění vůle a dlouhá životnost. [12]



Obrázek 9: Kuličkový šroub znázornění oběhu kuliček [14]

Výrobci kuličkových šroubů používají převážně dvě provedení profilu pro odvalování kuliček. Používanějším je gotický profil, který sebou nese lepší účinnost ale nákladnější výrobu. Gotický profil používá pro jeho výhody nejčastěji také KSK Kuřim. Výhodou gotického profilu je vysoká přesnost, možnost předeptnutí a vymezení vůle. Druhým profilem je kruhový profil s menším úhlem styku s horší účinností. Často používaný v provedení nekaleném vyráběné válcováním profilu, sice s menší přesností, ale velmi levně. [11]



Obrázek 10: Druhy konstrukce kuličkových šroubů [13]

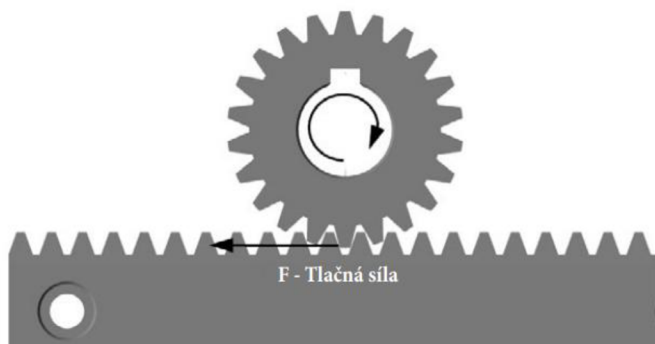
Pohyb kuliček dle velikostí je realizován třemi způsoby.

Převáděcí kanál (Obrázek 10 – nalevo) kuličky cestují šroubem za pomoci koncových krytek vnějším okrajem šroubu zpět na začátek. Použití pro střední zatížení a velká stoupání. Vhodné pro velké rychlosti. Další varianta je nazvaná deflektor (Obrázek 10 – uprostřed), kdy se kuličky vrací o řadu zpět kanálem mezi závity. Využití pro nižší zatížení, malá stoupání a kompaktní provedení šroubu. Posledním typem je varianta s převáděcími trubkami (Obrázek 10 – napravo), která je použitelná pro masovou výrobu a je použitelná pro velká zatížení, nicméně velikost provedení šroubu je větší v porovnání s ostatními. [13]

V oblasti měřících zařízení jsou kuličkové šrouby používány v přístrojích na měření tahu a tlaku. Dále se hojně využívají v oblasti obráběcích strojů.

2.3.2 Pastorek a hřeben

Alternativa ke kuličkovým šroubům, která převádí točivý moment na lineární pohyb za pomoci ozubeného hřebenu a pastorku, jak je vidět na obrázku 11. Ozubený hřeben je část čelního ozubeného kola, jehož průměr roztečné plochy a ostatních sousedních ploch je nekonečný. Tímto vznikne z evolventního profilu přímka, jež sebou nese výhody v podobě lehčí výroby hřebene.



Obrázek 11: Čelní profil ozubeného hřebene a pastorku [17]

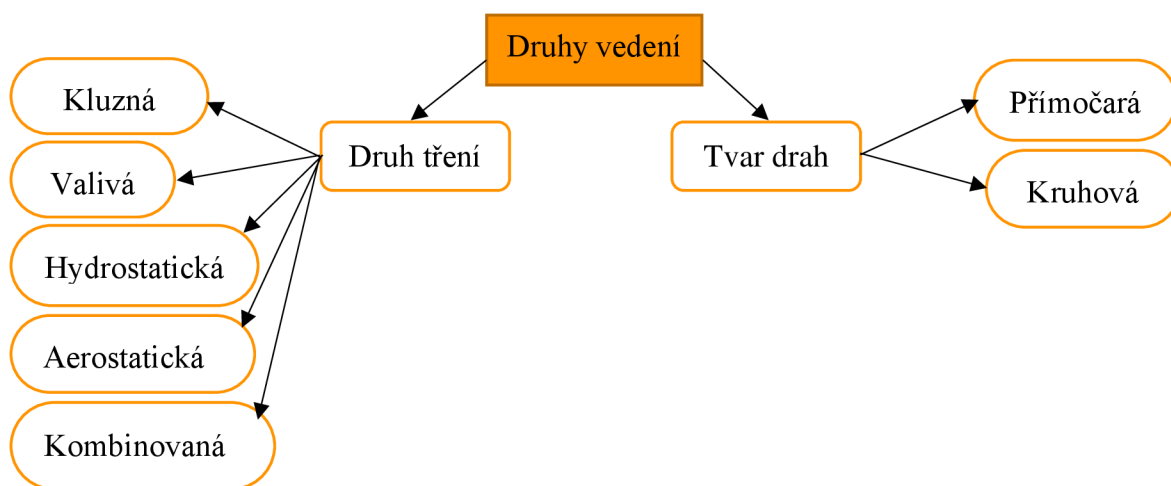


Obrázek 12: Ozubený hřeben s přímými zuby (vlevo) a se šikmými (vpravo) [16]

Ozubení hřebene může být realizováno jak s přímými zuby, tak se šikmými (Obrázek 12). Přímé ozubení je nejjednodušší, ale přechod záběru z jednoho zubu na druhý není rovnoměrný a může docházet k rázům a být hlučný. Šikmé provedení má oproti přímému plynulejší přechod zubů a tím pádem tišší a pravidelnější chod. Nevýhodou je ovšem složitější výroba a axiální síly působící na hřídele a ložiska. Hřebeny jsou vyráběny v různých délkách a velikostech s možností je segmentově skládat za sebe. Díky tomu je možné dosáhnout téměř neomezený zdvih [15]. Přesnost provedení se pohybuje od IT10 do IT5. Preciznost provedení zvyšuje zátěž přenesenou na hřebenu a taktéž plynulost a přesnost pohybu i při vysokém zatížení. Hřebeny i pastorky jsou vyráběny v mnoha materiálových provedení např.: bronz, nerezová ocel, nylon a různé slitiny [16]. Dle provedení a požadované přesnosti je ozubení broušeno, indukčně koleno a případně cementováno. Důležitou roli hraje symetrie tvrzené vrstvy profilu zubu, díky které zůstane zachována přesnost a dlouhá životnost v obou směrech pohybu. [17]

2.3.3 Lineární vedení

Pojem lineární vedení lze definovat jako soustavu ploch, na nichž se stýká pohyblivá část s nepohyblivou, která zaručuje pohyb po geometricky přesné dráze dané vodíci plochami. Lineární vedení by se dalo obecně rozdělit podle druhu tření a tvaru dráhy (Obrázek 13).



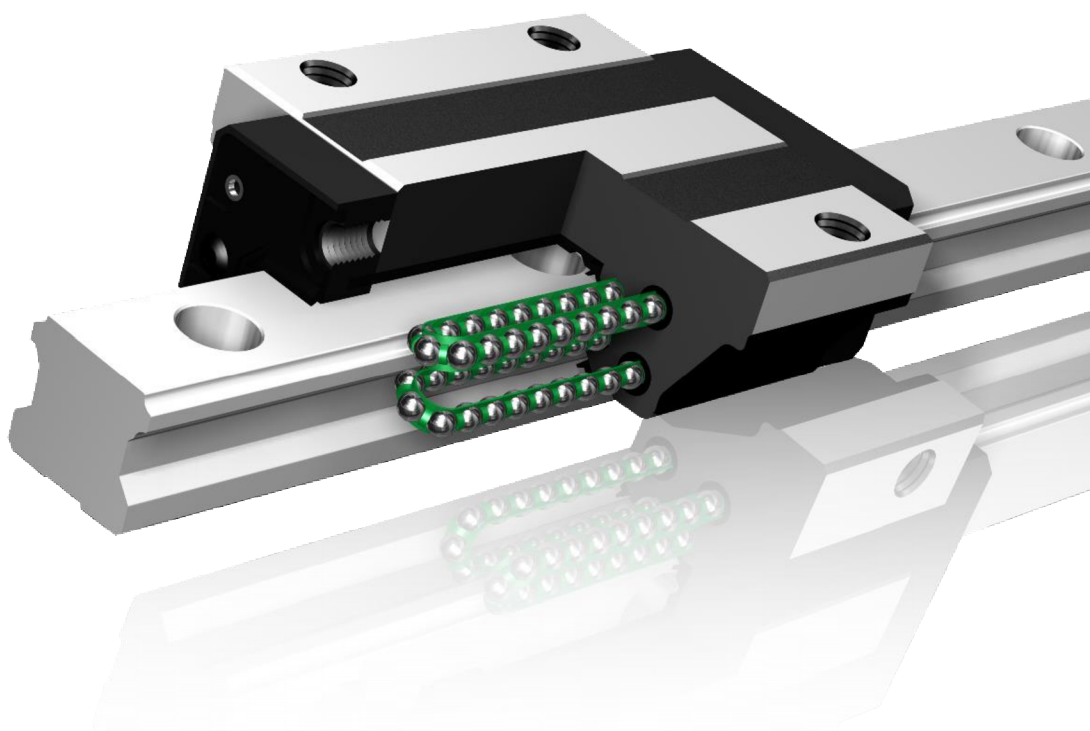
Obrázek 13: Rozdělení druhů lineárního vedení

Vedení kluzná

Kluznými dvojicemi jsou kombinace různých materiálů, které kloužou po sobě. Toto řešení má větší součinitel tření v závislosti na použitých materiálech, jakosti povrchu a je-li použito mazivo. Příkladem na obráběcích strojích vedení ocel-litina s pasivními odpory ve směru pohybu v rozmezí $f = 0,15$ až $0,3$. U malých posuvových rychlostí můžou vznikat trhavé pohyby a klon k zadírání. Výhodou je dobrá tuhost a schopnost tlumit chvění a snadná údržba.[19]

Vedení valivá

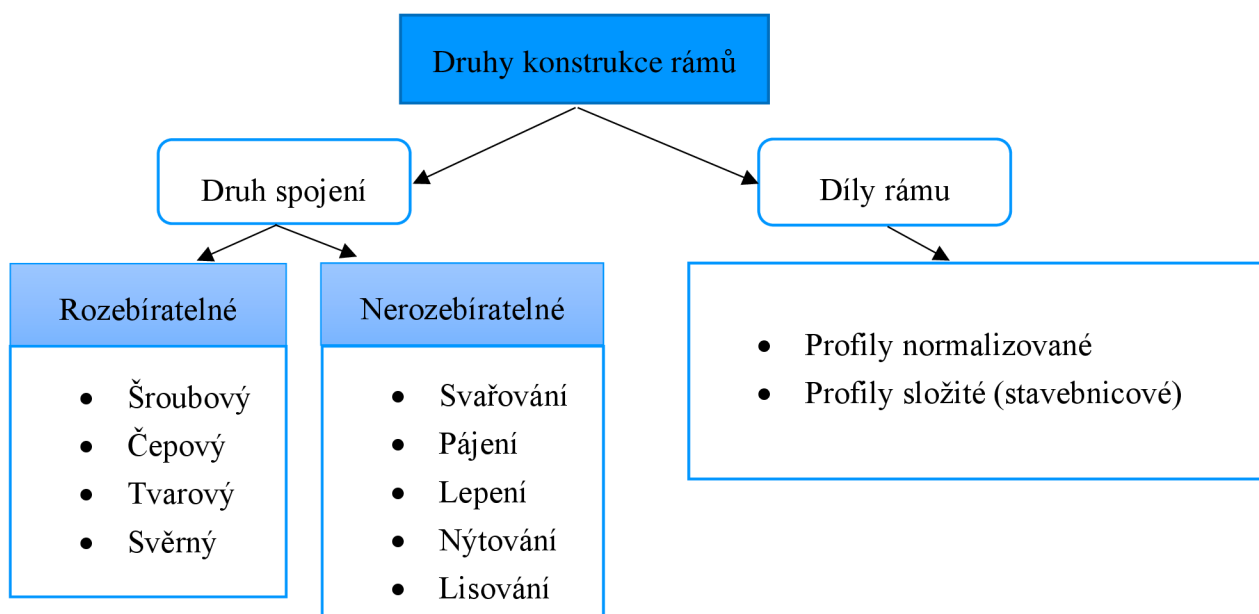
Mezi vodícími plochami působí tření valivé (Obrázek 14). Vlastnosti vedení: ve směru pohybu velmi malé tření ($f = 0,001$ až $0,005$; u předepjatých vedení až $0,01$), mezi klidovým a pohybovým třením není rozdíl, a proto je pohyb stabilní i při malých posuvových rychlostech. Ve vedení není vůle, ale kvůli valivým elementům menší schopnost tlumit chvění a odolávat rázům. Velká životnost, přesnost chodu, levný provoz s nutností zamezit vniknutí nečistot do vedení.[18][19]



Obrázek 14: Lineární vedení valivé [20]

2.4 Rám stojanu

Na začátku této kapitoly je důležité položit si otázku: Co přesně je rám? Rám je velmi široký pojem, ale je možné jej definovat jako obecnou nosnou konstrukci, jako jádro na které jsou přidělaný všechny ostatní komponenty. Pokud si představíme rám z automobilu, bude to konstrukce, která v sobě nese motor, je na ní karoserie a musí odolávat a absorbovat veškerá zatížení. V oblasti obráběcích strojů rám stroje spolu s dalšími komponenty určuje jeho tuhost, tlumí a zachycuje síly. Je to základní nosná konstrukce stroje. Rám tvořen větším počtem dílů musí být nějakým způsobem pospojován. Existuje velké množství druhů spojování součástí dohromady. Je zapotřebí uvažovat různé požadavky např.: rozebíratelnost, zatížení daného spoje, druh spojovaných materiálů, pracovní prostředí a spousta dalších vlivů. Druhy konstrukce rámu jsou rozděleny v následujícím obrázku 15. [12]



Obrázek 15: Druhy konstrukce rámu [12]

2.4.1 Svařované

Svařování je proces sloužící k vytvoření trvalého, nerozebíratelného spojení dvou nebo více materiálů. Patří mezi nejpoužívanější a nejefektivnější nerozebíratelné spojení součástí. Dochází ke spojení materiálu v důsledku roztavení stykových ploch součástí a přídavného materiálu a následné pozvolné ochlazení spoje. Přídavný materiál musí mít podobné chemické složení jako svařovaný materiál. Svařitelnost je schopnost materiálu být svařena a je dána množstvím uhlíku v oceli. Například při koncentraci nad 0,5 % uhlíku se už svařování nedoporučuje. Konstrukce rámu užívají ocelové profily nebo válcované plechy, u kterých je zaručena svařitelnost. Počet svarů, jejich směr a velikost musí být voleny tak, aby nedocházelo k vzájemnému pnutí, které zborťí profil svarku. Z těchto důvodů jsou voleny spíše průběžné svary malých velikostí. Například u konstrukce rámu CNC obráběcích strojů bývají náklady na odlití nižší než na svařování, ovšem s ohledem na cenu modelu pro odlití je vhodné volit odlévání až pro vícekusovou výrobu. Svařované konstrukce jsou vhodné pro jednotlivé nebo málo kusové série. Dalším příkladem může být stavba příhradových konstrukcí. Svařování využijeme například i při výrobě trubek. [21][22]

2.4.2 Spojované

Šroubové spoje jsou nejčastěji používané rozebíratelné spoje dvou nebo více součástí. Jsou tvořeny spojovanými součástmi s dírou pro šroub, šroubem, maticí a někdy podložkou. Pro šroubové spoje se většinou používají normalizované díly. Použitím šroubu se tvoří tvarový spoj, protože se síla z jedné součásti do druhé přenáší tvarovou spojovací součástí, tj. šroubem. Často se utažením šroubu před zatížením vyvolává osová (normálová) síla předpětí ve šroubu i spojovaných součástech a tím i tření (tangenciální síla ve spoji). Tím vzniká spoj tvarový s předpětím, který je v podstatě již silovým spojením. Spoj je buď skrz dva díly utažen šroubem a matkou nebo je vyříznutý závit přímo ve spojované součásti. Hloubka zavrtání šroubu do oceli je doporučena alespoň stejná jako hodnota průměru závitu šroubu. U tenkých plechů není možno často tuto míru dodržet. Nemůže-li se použít průchozích šroubů nebo jiného spoje, např. bodového svařování nebo nýtování, můžeme hloubku zašroubování zvýšit konstrukčními úpravami. Většina šroubů je opatřena normalizovanými závity a v současné době je nejpoužívanějším profilem závit metrický pravotočivý. Lichoběžníkový závit se zpravidla používá na pohybové šrouby, protože je schopen unést větší zatížení. Whithworthův závit se hojně používá v Británii a Austrálii. Vlivem dynamického namáhání a vibrací se může stát, že se šroubovaný spoj povolí, proto je v případech, kdy k tomu může dojít, používají různé pojišťovací prvky proti povolání. Pojištění může být pojistnou podložkou, závlačkou či speciálním lepidlem.[25]

2.4.3 Stavebnicové

Řada výrobců dnes nabízí promyšlené stavebnicové systémy, ze kterých lze jednoduše sestavit požadovaná nosná konstrukce. Základem stavebnice je typizovaná řada speciálních profilů z lehkých obvykle hliníkových slitin, které stačí nařezat na potřebné délky a sestavit pomocí k tomu určených spojek bez nutnosti nerozebíratelného spojování. Ukázka profilů a dalších dílů stavebnicových systémů je vidět na obrázku 16. Celý proces návrhu a realizace lze zautomatizovat pomocí příslušného softwaru, který někteří výrobci nabízí online. Velkou výhodou je možnost opakovaného využití většiny dílů, jednoduchost, rychlá intuitivní práce s prvky a životnost. Na sestavení není potřeba nákladné strojní vybavení a stačí pouze základní nářadí. Spousta výrobců nabízí možnost nařezání dílů na přímo určené délky a poté už stačí pouze sestavit vše dohromady. Hliníkový konstrukční systém umožňuje vyrábět ze standardních součástí rámy, jed noučelové nebo sériové stroje, bezpečnostní ochranu pracovišť a strojů, pracovní stoly, vozíky, transportní systémy, montážní linky, dopravníky, manipulatory a celá výrobní pracoviště. Někteří výrobci nabízejí online konfigurátor, ve kterém je možné zkonstruovat jednodušší konstrukce bez potřeby vlastnit CAD programy pro rozvržení návrhu. Mezi rozšířené výrobce lze uvést Bosch Rexroth, Haberkorn, FMsysteme, Alutec a další. [23]



Obrázek 16: Hliníkové profily s díly [24]

3 ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE

3.1 Analýza problému

Snímač kroutícího momentu Mark-10 zakoupený firmou Resideo, je používán při měření velké škály úloh. Při měření je používán ručně, tedy pracovník drží snímač v jedné ruce a ve druhé zkoušený vzorek. Otáčení vytváří ručně, což sebou nese nevýhody v podobě nepřesností měření nekonzistentním otáčením. Člověk není schopen vygenerovat rukou konstantní otáčky a už vůbec ne ve větším počtu. Z tohoto důvodu existují zmíněné stojany a přípravky s převodem nebo elektromotorem pro zpřesnění měření. Užití elektromotoru má další výhody jako možnost cyklického testování vzorků. I v případě ručního pohonu je díky převodu zajištěna větší přesnost otáček s mnohem konstantnější rychlostí díky převodovému poměru. Je nutné se snažit dodržovat rukou přibližně stejnou rychlost otáčení a není problém otáčet delší dobu a udělat potřebný počet otáček. I souosost součástí a snímače hraje v přesnosti svoji roli. Díky stojanu je do jisté míry zaručena.

Nevýhodou prodávaného stojanového přípravku je jeho vysoká pořizovací cena, omezený prostor pro zkoušení a vyšší převodový poměr, než je potřeba. Pořizovací cena je v České republice k roku 2020 okolo 70 000,- Kč u základního modelu s pohonem klikou. Pracovní prostor, do kterého se zkoušený vzorek musí vejít, má tvar válce o průměru $d = 20$ mm a výšce $v = 380$ mm. Převodový poměr se u takových přístrojů uvádí okolo $i = 30$. Pro firemní potřeby je pracovní prostor nedostačující. Stejně tak převodový poměr, který je nepraktický pro testování delších šroubů s jemným závitem, kde je třeba udělat velké množství otáček. Při daném převodovém poměru by se násobil ještě 30x. To je na jeden otestovaný vzorek spousta otáček rukou.

Dalším problémem je měření průběhu momentu na šroubech při zašroubování nebo naopak. Jak je známo šroub má určitou hodnotu stoupání a při otáčení stoupá nebo klesá podle směru jeho otočení v závitu. Jelikož se testovaný vzorek otáčí přimontován na stolku proti snímači a snímač je nehybně upevněn v držáku a pouze měří hodnotu momentu, musí se dané stoupání šroubu nějak vykompenzovat. Šroub by působil negativní axiální silou na snímač nebo by se vysmekl po pár otáčkách z tvarového spojení výměnného bitu.

Posledním problémem je upínání různých druhů zkoušených vzorků. Firma, jejíž zaměření je v oblasti plynových kotlů, potřebuje při vývoji testovat jak různé druhy plynových ventilů, tak prvky s nimi související. Tyto vzorky je potřeba nějakým způsobem upevnit na otočný stůl. Prodáváný stojan má v otočném stole velký počet děr pro variabilní použití nebo upevnění nástavce pro upnutí.

3.2 Cíl práce

Hlavním cílem je zhotovit konstrukční návrh stojanového přípravku pro měření krutu za pomoci snímače od firmy Mark-10. Hlavním cílem práce je konstrukční návrh stojanového přípravku včetně doplňujících přípravků potřebných k testování výrobků firmy Resideo. Přípravek musí být uzpůsoben pro snímač firmy Mark-10 MTT03-50Z, musí také umožnit výškovou nastavitelnost snímače a jeho snadnou výměnu za snímač s jiným rozsahem. Dále je nutné vytvořit otočný stůl pro otáčení rukou, případně s možností do budoucna použít elektromotor. Převodový poměr by měl být optimalizován pro konkrétní potřeby firmy, stejně tak pracovní prostor stojanu by měl dosahovat většího průměru než prodávaný alespoň $d = 30 \text{ mm}$ a výška prostoru $v = 400 \text{ mm}$. Dalším zmíněným cílem je vytvoření přípravku pro univerzální způsob upínání testovaných vzorků a zhotovení speciálního nástavce pro kompenzaci výšky při testování šroubů. Výsledný návrh musí být zpracovaný v CAD programu do 3D modelu. Musí být zajištěna funkčnost a sestavitelnost výrobku zároveň s optimální volbou vyrobených součástí, aby výsledná cena nepřesáhla cenu komerčně prodávaného výrobku.

Z cílů a zadání práce vyplývají následující dílčí cíle:

- Vypracování koncepčních řešení stojanového přípravku
- Volba vhodného návrhu stojanového přípravku pro snímač Mark-10 MTT03-50Z
- Dodržení požadovaných parametrů s důrazem na jednoduchost a realizovatelnost
- Vytvoření ekonomičtější koncepce podobné prodávaným stojanům
- Návrh přípravku pro axiální kompenzaci
- Návrh přípravků pro upínání měřených vzorků
- Ověření použitelnosti dalších snímačů řady MTT03 s jinými rozsahy
- Rozpracování vhodného řešení do fáze výkresové dokumentace

4 KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ

Každý výrobek se dá vyrobit mnoha způsoby. Při výběru návrhů je důležité zvolit nejvhodnější variantu ze širokého spektra možností. V této kapitole je popsáno pár důležitých částí návrhu, které byly při konstrukci uvažovány. Stojan pro měření krutu by se měl skládat z nosného profilu na kterém bude zajištěna výšková nastavitelnost držáku snímače a z otočného stolu s upínací deskou pro upevnění vzorku a jeho otáčení pomocí kliky. Celá konstrukce bude upevněna na rovné základně s nastavitelnými nožkami.

4.1 Otočný stůl

Zajišťuje otáčení měřeného vzorku oproti snímači, který je neotočný. Pohon otočného stolu bude realizován za pomoci točení kliky, ale bude dobré, aby do budoucna byla možnost přidat elektromotor. Převod v otočném stolu musí být úhlový, tzn. Úhel mezi osami otáčení musí svírat 90 °.

Varianta 1 otočného stolu – dělička zakoupená

Zakoupená dělička má několik výhod jako třeba integrovaný stůl pro upínání nebo odměřovací pravítka a různé aretační prvky. Tato varianta však nese nevýhodu v malé nabídce převodových poměrů. Většina je vyrobena v provedení se stejným převodovým poměrem, který je méně vhodný pro vytváření více otáček naráz. Děličky jsou vhodné pro přesné operace při frézování, na které byly navrženy.

Varianta 2 otočného stolu – šneková převodovka

Rozšířené druhy převodovek, které jsou cenově dostupné. Více druhů konstrukcí, některé jsou dobře koncipované pro lehké upevnění na místě. Výhodou je samosvornost převodovky od určitého převodového poměru. Nevýhodou je menší přesnost vyráběných ozubení. A nutnost dodělat kliku a desku stolu.

Varianta 3 otočného stolu – kuželová převodovka

Vyrábí se i ve velmi přesných provedeních, ty jsou ale cenově několikanásobně dražší než obyčejné šnekové převody. Nevýhodou je také absence samosvornosti. Podobně jako u šnekové převodovky bude nutné vytvořit dodatečné díly jako desku stolu a kliku.

Varianta 4 otočného stolu – vlastní vyrobený převod

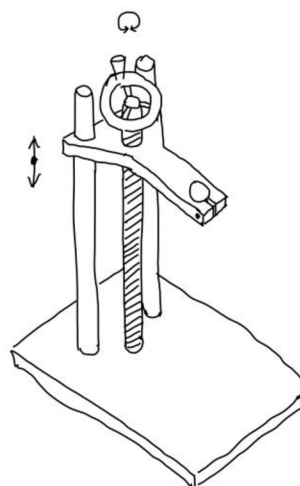
Z pohledu jednodušší výroby je vyrobený převod nevýhodný. Ozubená kola se dají koupit už hotová, ale je k nim potřeba nevrhnout uložení a ložiska. Toto řešení je výhodné pro vícekusovou výrobu, kde jsou speciální požadavky na převod.

4.2 Lineární vedení

Držák se snímačem je nutné mít výškově nastavitelný. Po nastavení pozice je nutné, aby snímač držel na svém místě. V lineárním vedení by měla být co nejmenší vůle, protože je rameno držáku dlouhé a budou na něj působit síly, které mohou způsobit vyhnutí držáku oproti ose otáčení.

Varianta 1 lineárního vedení – trapézový šroub a broušené tyče

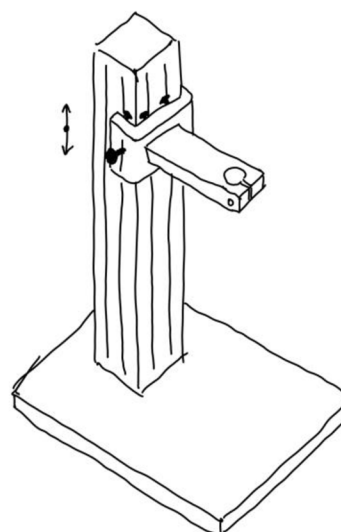
Tato varianta podle názvu obsahuje trapézový šroub pro nastavení výšky držáku se snímačem. Je potřeba uvažovat broušené tyče nebo jiný druh lineárního vedení jako podporu pro pohyb šroubu. Realizovat toto řešení je z konstrukčního hlediska obtížnější, ale výhodou je ovládání výšky šroubem s možností pohybovat se snímačem pouze za pomoci jedné ruky bez nutnosti aretace. Celý návrh nazančen na obrázku 17. Podobná varianta jako použití trapézového šroubu je použití kuličkového šroubu. Kuličkový šroub má ale mnohem menší vůle. Je tedy přesnější a dražší.



Obrázek 17: Návrh varianty s trapézovým šroubem

Varianta 2 lineárního vedení – vedení z hliníkových profilů

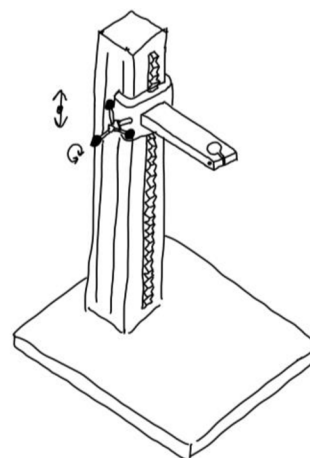
Systémy hliníkových profilů nabízejí dva základní druhy lineárního vedení. První je valivý, kdy je na profilu přidělána hladká tyč, po které jezdí kola. Druhou je užití plastových vložek vložených mezi dva profily. Užití tohoto systému je v návrhu vyobrazeno na obrázku 18. Je nutnost aretovat vedený prvek. Levné, ale méně přesné řešení.



Obrázek 18: Návrh varianty systému s hliníkových profilů

Varianta 3 lineárního vedení – ozubený hřeben

Užitá varianta v prodáváném stojanu pro měřák. Výhodou je možnost pohybovat s vedeným prvkem jednou rukou otáčením klíčky. Nutnost vyřešení lineárního vedení, po kterém se bude prvek pohybovat a na kterém bude ideálně připevněn ozubený hřeben. Schématický návrh umístění hřebenu zobrazen na obrázku 19. Problémem je složitější řešení uložení ozubeného kola a hřebenu.



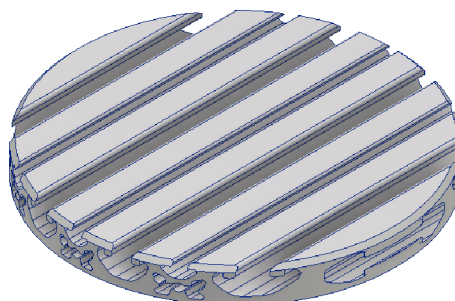
Obrázek 19: Návrh varianty s ozubeným hřebenem

4.3 Upínací deska stolu

Měřicí úlohy se budou lišit jedna od druhé. Pro univerzálnost při měření je deska důležitá z pohledu upínání. Deska přenáší točivý moment z otočného stolu na měřený vzorek a je nutné vzorek snadno připevnit k desce a vyjmout.

Varianta 1 upínacího stolu – deska s profilovými drážkami

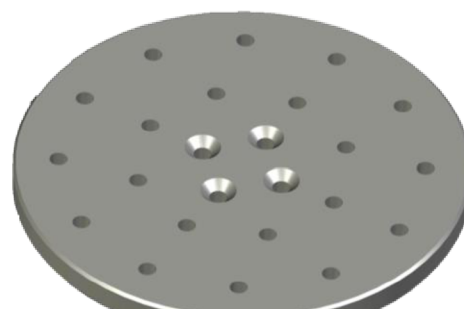
Deska vytvořená z hliníkového profilu, jehož výhodou je mnoho profilových drážek z výroby. Odpadne nutnost větších úprav desky. Zobrazení desky na obrázku 20.



Obrázek 20: Návrh desky s drážkami

Varianta 2 upínacího stolu – deska s dírami

Kruhová deska s vyvrtanými dírami, místy se závity. Užití řešení v prodáváném stojanu, jehož obdoba je zobrazena na obrázku 21. Nevýhodou je složitost upínání nebo nutnost výroby přípravku pro konkrétní měření, který lze namontovat na tuto upínací desku.



Obrázek 21: Návrh desky s dírami

4.4 Posouzení koncepčních řešení

4.4.1 Otočný stůl

Jako otočný stůl byla zvolena varianta 2 – šneková převodovka. Důvodem byla její nízká cena a samosvornost. Další výhodou je její hranatý tvar, který se dá dobře upevnit ke stojanu. Varianta 1 – zakoupené děličky byla zavrhnuta kvůli její nevyhovující koncepci a malé škále nabízených převodových poměrů. Varianta 3 – kuželové převodovky byla znevýhodněna oproti šnekové absencí samosvornosti. Varianta 4 – vlastní návrh převodu je pro takové užití příliš náročný na výrobu a zbytečně by prodražil výsledný výrobek

4.4.2 Lineární vedení

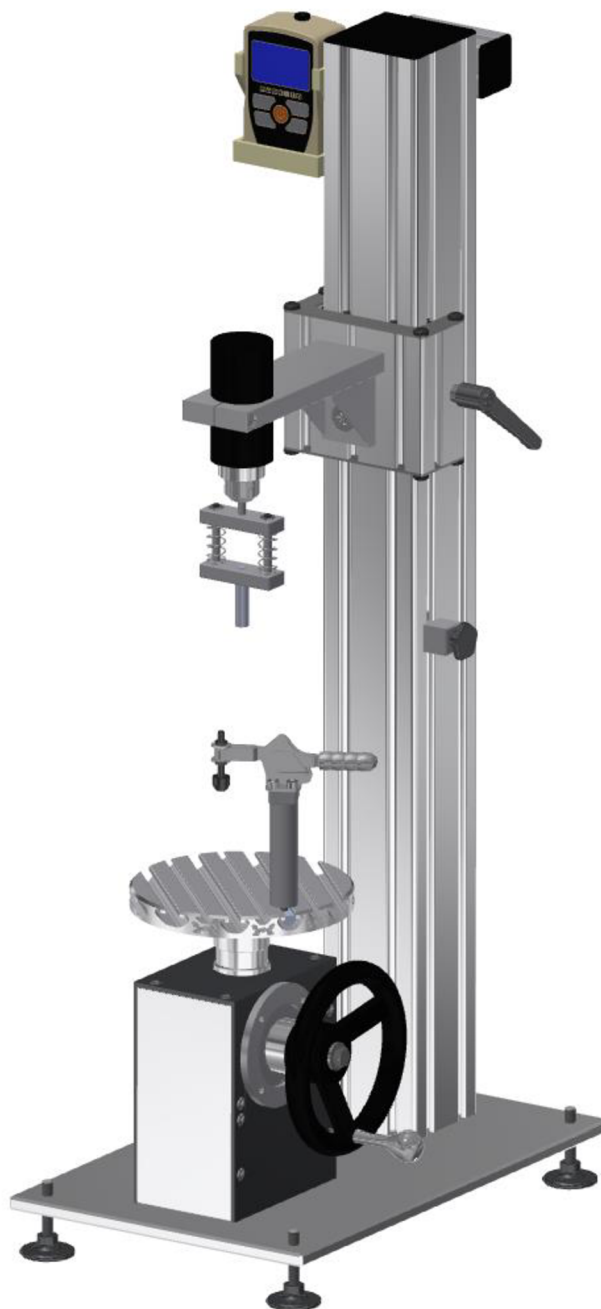
Jako nejvhodnější pro návrh byla zvolena varianta 2 – vedení z hliníkových profilů. Varianta s plastovými vložkami je velmi jednoduché a elegantní řešení. Také se jedná o nejlevnější variantu. Varianta 1 – trapézového šroubu a broušených tyčí je nevhodná z pohledu obtížnější konstrukce a také by způsob nastavení výšky držáku se stojanem nebyl nejpraktičtější. Varianta 2 – ozubený hřeben nebyla zvolena z důvodu složitějšího řešení.

4.4.3 Upínací deska stolu

Zvolena byla varianta varianta 1 – deska s profilovými drážkami pro její univerzálnost a jednoduchou výrobu. Varianta 2 – desky s dírami byla zavržena právě z důvodu nutnosti složitějšího vytváření dalších přípravku pro konkrétní typy měření.

5 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

Výsledné konstrukční řešení je zvoleno na základě dostupnosti jednotlivých součástí, jednoduchosti konstrukce s malým podílem vyráběných součástí, tak aby splňovalo zadání a bylo ekonomicky výhodnější. Při konstrukčním návrhu je potřeba vzít v úvahu také výrobní možnosti firmy, která má prototypovou dílnu s určitými technologickými možnostmi. Je potřeba volit vyráběné součásti tak, aby bylo možné je nechat vyrobit v této dílně a odpadla nutnost objednávat drahou kusovou výrobu u externí firmy. Na obrázku 22 je vidět hotové konstrukční řešení, jehož důležité části jsou dále podrobněji vysvětleny.



Obrázek 22: Konstrukční řešení stojanu pro měření krutu.

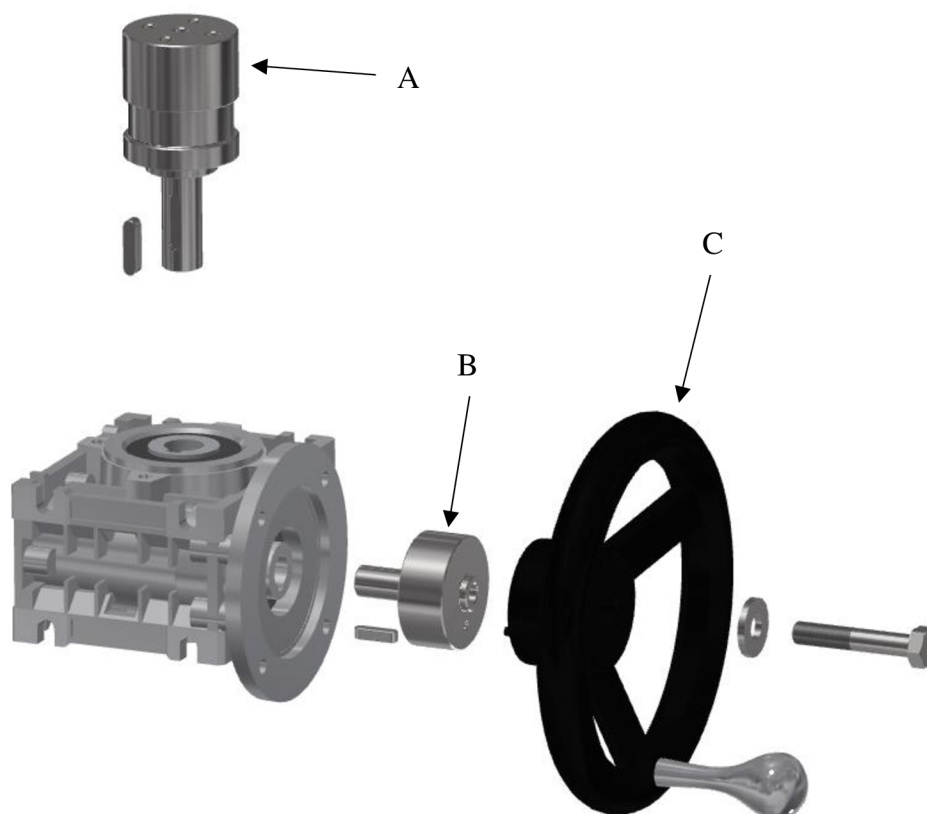
5.1 Otočný stůl

Jako otočný stůl byla zvolena šneková převodovka. Zvolená převodovka je od firmy Transtecno z řady CM s číslem CM030 od dodavatele Raveo (Obrázek 23). Byla zvolena, protože je to dostupné řešení úhlového převodu. Jako převodový poměr byl zvolena hodnota $i = 10$, což je dobrý kompromis mezi rychlostí otáčení a přesností. Samosvornost je zaručena až od převodového poměru $i = 50$. U této hodnoty není výrobcem zaručena samosvornost šnekové převodovky, ale je potřeba vyvinout větší sílu pro otočení vstupní hřídele za pomoci výstupní. Převodovka je konstruována pro elektromotory s maximálními otáčkami 3 000 ot/min. V mé práci bude užitá netradičním způsobem, ale výrobce mě ujistil, že je použitelná pro toto užití a vůle při reverzaci by se měla pohybovat okolo 35 – 50 arcmin. Výrobce dále uvádí, že vysokou životnost zaručuje speciální mazivo navržené pro celou životnost převodovky. Montáž je možná v jakékoliv pozici a je dobře upevnitelná díky své hranaté konstrukci. Vstupní a výstupní hřídel je dutá s drážkou pro pero. [5]



Obrázek 23: Převodovka Transtecno CM030 [5]

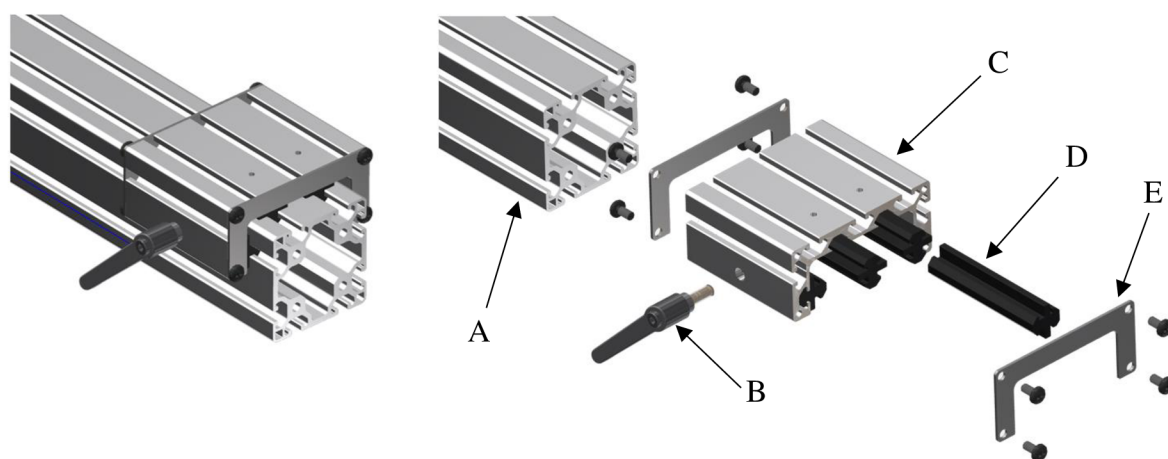
Do převodovky jsou vyrobeny dvě hřídele z duralu, viditelné na obrázku 24. Hřídele v sobě mají drážky pro pero a k nim jsou zakoupena příslušná pera. Pro Vstupní hnací hřídel je pero CSN 169 A 4x4x16, pro výstupní hnanou hřídel s větším průměrem potom CSN 169 A 4x4x20. Dále je na hřídele přidělána otočné kolo DIN 950 K0671.2125X12 pro možnost otáčení převodovky rukou. Otočné kolo je připevněno k řídeli za pomoci šroubového spojení a kroutící moment pomáhá přenášet kolík na otočném kole. Na výstupní hřídeli jsou 4 díry se závity pro upevnění desky stolu.



Obrázek 24: Šneková převodovka jako otočný stůl v rozpadu; A – výstupní hřídel, B – vstupní hřídel, C – otočné kolo

5.2 Lineární vedení a rám

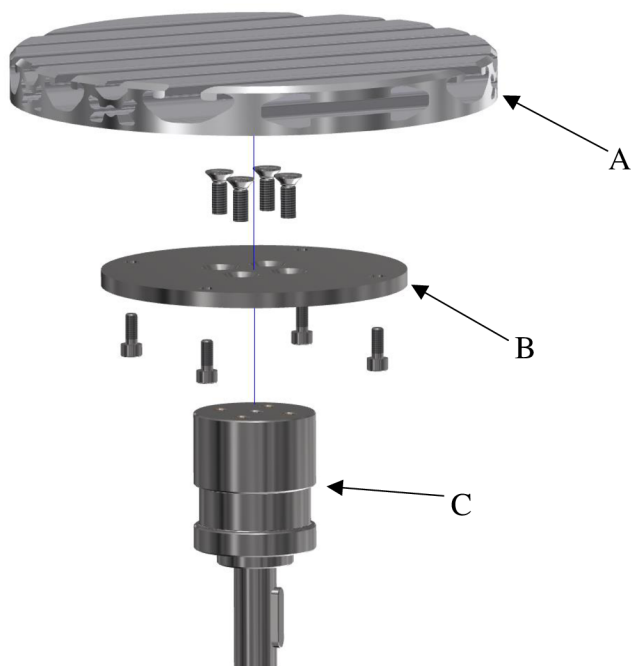
Varianta s řešením lineárního vedení prodáváném s profilovými systémy byla neoptimálnější. Hlavním důvodem této volby byla jednoduchost celé montáže a možnost zakoupit vše od stejného výrobce. Také z cenového hlediska to bylo nejlevnější. Vše bylo zakoupeno od německé firmy FM systeme, která se zabývá výrobou právě těchto profilů. České zastoupení je u firmy Marek industrial, která prodává také ovládací šrouby, kterých bylo také využito v této práci jako pojistný šroub pro nastavitelný doraz. Na obrázku 25 je vidět použitý hliníkový profil 80x80x800, který byl použit jako hlavní nosný sloup pro snímač. Je na něm za pomoci speciálních plastových vložek umístěn hliníkový U profil 120x20x100, který je z obou stran zakryt plechovými krytkami a z boku je vyvrtána díra pro zajišťovací páku se závitem M8. Dále je z hranolu 20x20x25 vytvořen doraz, který se zajistí ovládacím šroubem s plastovou hlavou. Je jej možné také povolit pomocí ruky a přesunout doraz na potřebné místo. Ovládací šroub má jako matku speciální kámen, který zajišťuje, že se v drážce neotáčí. Sloup je poté přidělán k základně šrouby za pomoci závitů vyvrtaných do děr, které se v profilu nachází.



Obrázek 25: FMsysteme lineární vedení; A – nosný profil, B – zajišťovací páka, C – U-profil, D – plastová vložka, E - krytka

5.3 Upínací deska stolu

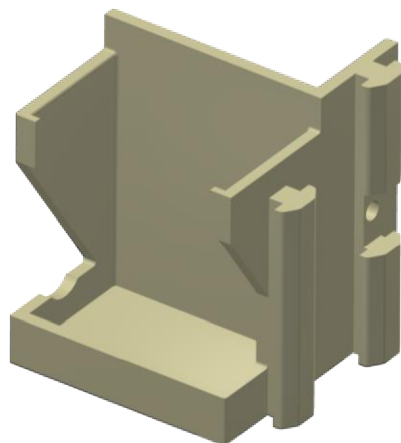
Řešení stolu s drážkami je mnohem více univerzálním. Výroba T-drážek nepřipadala kvůli výrobním možnostem v úvahu, proto byl zvolen tenký a široký profil 16x160x160 od stejného výrobce jako zbytek profilů. Výhodou je cena a možnost zakoupit vše od jednoho výrobce. Prodávaný profil se ofrézuje do kulata a upraví pro upnutí k otočnému stolu. Pro upnutí je použita vyrobená podložka, díky které se do profilu dají šrouby zašroubovat zespuď a nebude nutné narušovat strukturu drážek. Pro upnutí byly použity šrouby M4, aby se vešly do prostoru v materiálu. Rozpad tohoto uložení je viditelný na obrázku 26.



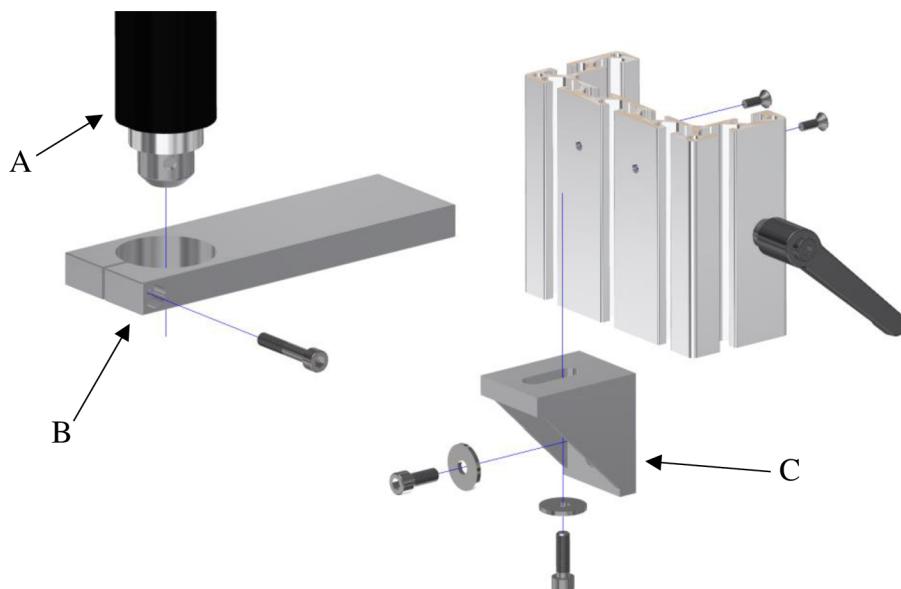
Obrázek 26: Upínací deska stolu v rozpadu; A – deska stolu, B – podložka, C – výstupní hřídel

5.4 Držák snímače s měřákem

Zde je nutné zajistit možnost vyjmutí snímače a výměnu za jiný typ, proto byl jako držák snímače zvolen hranol 15x60x140 s dírou o přesné velikosti pro upevnění snímače. Celý držák je připevněn k pojezdu, jehož výška je oproti stolu nastavitelná. Druhá část měřicího přístroje, tedy samotná vyhodnocovací jednotka snímače, je usazena v držáku, který je navržen s tvarovými výstupky patrnými na obrázku 27 a je možné jej zasunout do profilu. Celý tento držák je vyroben pomoci 3D tisku a je navržen dostatečně pevný, aby bylo možné vyhodnocovací jednotku ovládat. Zajištěn je pomoci šroubu a kamene v drážce.



Obrázek 27: Držák měřáku

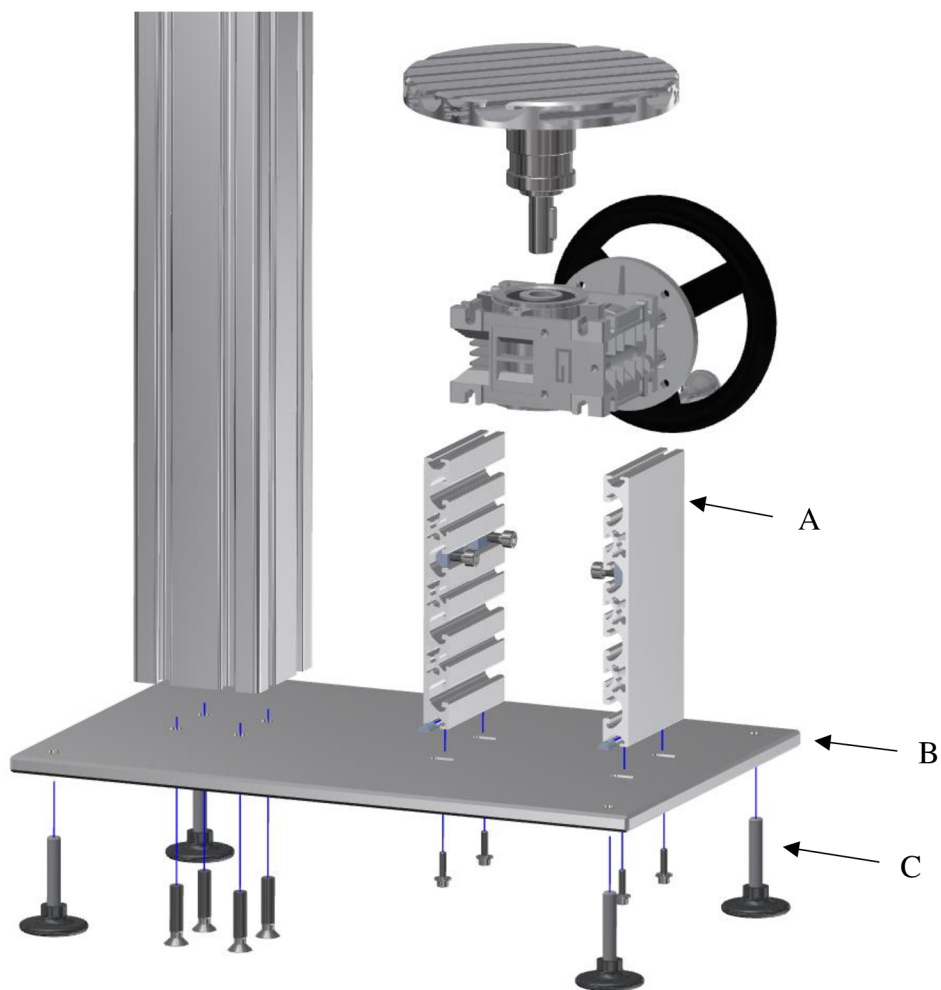


Obrázek 28: Upevnění snímače; A – snímač kroutícího momentu, B – držák snímače, C – rohový spojovací díl

Na obrázku 28 je vidět řešení držáku snímače. V držáku je přesný otvor s drážkou pro tvarové sevření snímače. Z boku a zespod jsou díry se závitem pro šrouby a je zespod podepřen rohovým dílem prodáváním k hliníkovým profilům.

5.5 Nosná konstrukce

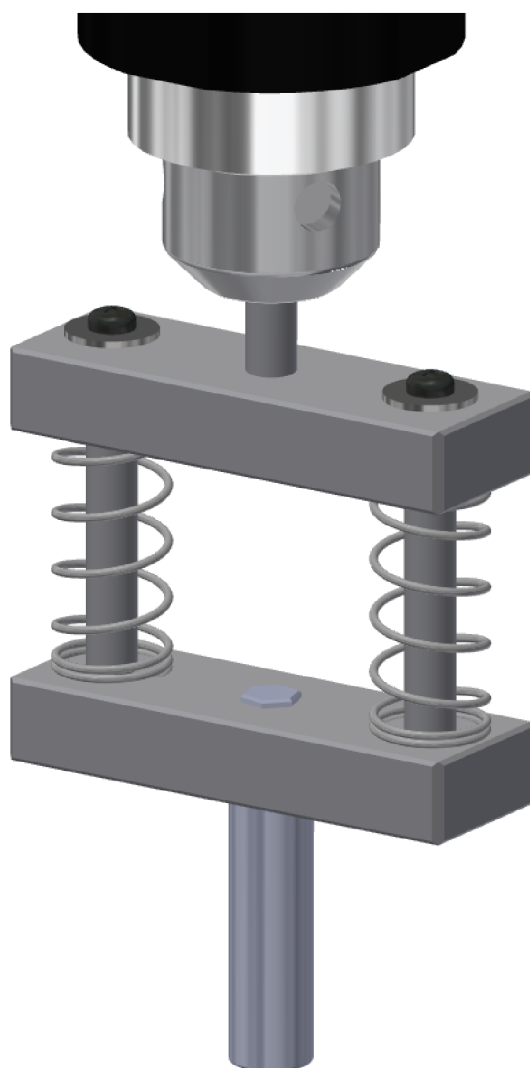
Nosný prvek všech komponent a zároveň základna je zvolena z hliníku P10-300x390. Hlavní hliníkový profil je na desku uchycen pomocí šroubů M8. V desce jsou závitové díry a je podpořena čtyřmi stavitelnými nohama se závitem M8 typ 27795-3008X040. Na desce je také za pomoci dvou profilů 16x160-80 uchycen otočný stůl. Převodovku bylo nutné uchytit v dostatečné výšce, aby bylo možné otáčet pohodlně s otočným kolem. V desce jsou pro uchycení stolu drážky, díky kterým je možné při montáži přesně vycentrovat stůl oproti snímači. Rozpad tohoto uložení je zobrazen na obrázku 29.



Obrázek 29: Nosná konstrukce v rozpadu; A – úchyt otočného stolu, B – základna, C – stavitelné nohy

5.6 Nástavec pro axiální kompenzaci

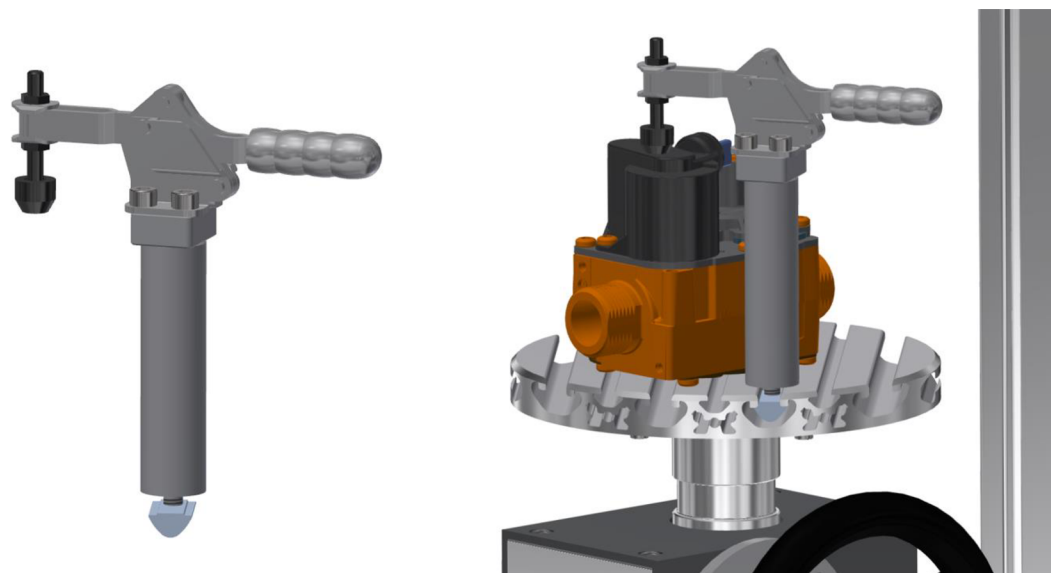
Inspirací pro toto řešení byl prodáváný nástavec používaný pro odšroubování víčka od PET lahve. Nástavec je tvořen hranoly 10x20-60 s dírami pro dvě broušené tyče, které budou na spodním díle nalisovány do otvoru a horní po nich bude klouzat. Z vrchu jsou zajištěny šroubem, aby se vrchní díl nedal oddělit. Na každé tyči je přidělena pružina o délce $l = 35$ mm a tuhosti $c = 9,5$ N/mm, která zajistí přítlak na testovaný šroub. Nástavec se upne do kleštin na snímači, jak je nazančeno na obrázku 30. Do spodního dílu je také nalisován magnetický držák na výměnné Bit-nástavce s označením 475A-75-1, aby bylo možné zkoušet různé druhy šroubů. Magnet v nástavci zaručí, aby bity držely v nástavci po celou dobu, co nebudou zrovna používány. Díky tomuto nástavci je možné měřit průběh momentu při zašroubování šroubu.



Obrázek 30: Nástavec pro axiální kompenzaci

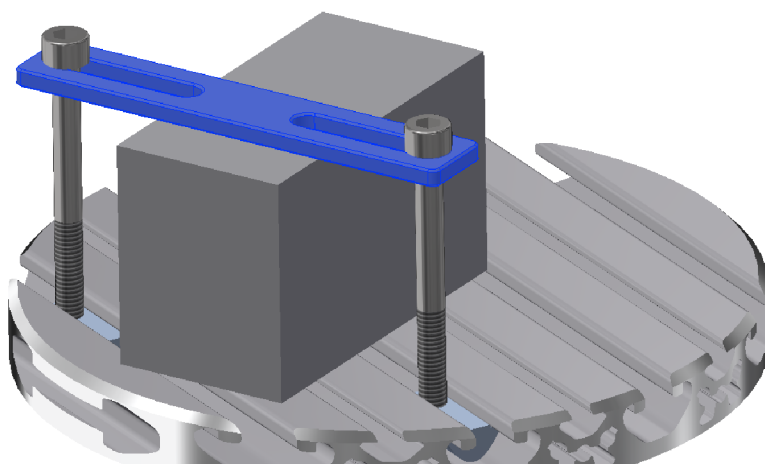
5.7 Přípravky pro upínání

Přípravek pro upínání je navržen výškově především pro testování konkrétního často testovaného plynového ventilu (Obrázek 31). Je tvořen základnou a nohou, které jsou proti sobě otočné. Přítlak k podložce vytváří rychloupínač KIPP K0074. Některé podobně vysoké měřené vzorky v rozsahu 76 – 92 mm lze do tohoto přípravku také upnout, díky výškově nastavitelnému přítlačnému šroubu. Výhodou je snadná výměna za další vzorek.



Obrázek 31: Přípravek s rychloupínačem a jeho aplikace

Konstrukce umožňuje použití pouze pro malý rozsah momentu. Pro pevnější upnutí ke stolu se dá použít další jednoduchý přípravek, který přitáhne vzorek k podložce pomocí šroubů a utahovacího plechu (Obrázek 32). Výměnou šroubu lze pokrýt velký rozsah upínaných součástí. Nevýhodou může být zdlouhavá výměna vzorků oproti rychloupínači.



Obrázek 32: Přípravek pro pevnější upnutí

5.8 Ověření výpočty

Při výpočtech bereme v úvahu pro zjednodušení pouze kritická místa. Tento výpočet slouží pro zjištění rozsahu měřeného momentu. Do výpočtu není zahrnut vstupní hřídel s otočným kolem, protože převodovka má převodový poměr $i = 10$, takže se dá předpokládat, že na výstupu je desetinásobek síly co na vstupu zmenšený o účinnost. Převodovka má jistou samosvornost, kterou lze za změřit. Výrobce u nižších převodových poměrů jako je tento nedeklaruje samosvornost, ale měření mechanickým měřákem krutu ukázalo, že hodnota samosvornosti se pohybuje okolo 2 Nm. Tato hodnota zaručuje, že se vzorek sám nezačne samovolně pootáčet.

5.8.1 Ověření pevnosti hřídele stolu

Hřídel je vyroben ze slitiny hliníku EN AW-6060, Jeho vlastnosti jsou podle tabulek $R_e = 170 \text{ MPa}$, $R_m = 324 \text{ MPa}$. Hřídel bude zatížen na prostý krut a ohyb, ale hodnota ohybu je v tomto případě zanedbatelná (záleží na váze měřeného vzorku) a budeme jej počítat tedy pouze na prostý krut. Stanovíme si návrhový součinitel $k_k = 1,3$. [15]

Podle teorie měrné energie napjatosti změny tvaru je tedy:

$$\tau_k = 0,557 \cdot R_e = 0,557 \cdot 170 = 94,69 \text{ MPa} \quad (3)$$

$R_e = 170 \text{ Mpa}$...mez kluzu

τ_k ...dovolené smykové napětí [Pa]

Započteme-li návrhový součinitel

$$k_k = \frac{\tau_k}{\tau_{max}} \Rightarrow \tau_{max} = \frac{\tau_k}{k_k} = \frac{94,69}{1,3} = 72,83 \text{ MPa} \quad (4)$$

$k_k = 1,3$...návrhový součinitel

τ_{max} ... maximální smykové napětí [Pa]

Na hřídeli je drážka pro pero tak je podle tabulek uvažován $\alpha = 3,4$...koncentrátor napětí

$$\tau_{max} = \tau_{nom} \cdot \alpha \Rightarrow \tau_{nom} = \frac{\tau_{max}}{\alpha} = \frac{72,83}{3,4} \doteq 21,42 \text{ MPa} \quad (5)$$

τ_{nom} ...nominální smykové napětí [Pa]

Dalším krokem je výpočet maximálního dovoleného momentu na hřídeli.

$$M_{max} = \tau_{nom} \cdot W_k = \tau_{nom} \cdot \frac{\pi \cdot d^3}{16} = 19,11 \cdot 10^6 \cdot \frac{\pi \cdot 0,014^3}{16} \doteq 11,54 \text{ Nm} \quad (6)$$

M_{max} ... maximální moment [Nm]

$d = 14 \text{ mm}$...průměr hřídele stolu

W_k ...modul průřezu v krutu [mm³]

Porovnáním maximálního momentu s rozsahem měřicího přístroje MTT03-50Z, pro který je zařízení navrženo, zjistíme bezpečnost. Přístroj na snímání kroutícího momentu Mark-10 MTT03-50Z má rozsah do 36 Ncm. Maximální hodnota by neměla přesáhnout $M_1 = 0,36 \text{ Nm}$.

$$k_1 = \frac{M_{max}}{M_1} = \frac{11,54}{0,36} = 32,05 \quad (7)$$

Porovdáme obdobné srovnání s přístrojem s nejvyšším rozsahem MTT03-100, který má rozsah do 1150 Ncm. Maximální měřená hodnota momentu by v tomto případě dosahovala $M_2 = 11,5 \text{ Nm}$.

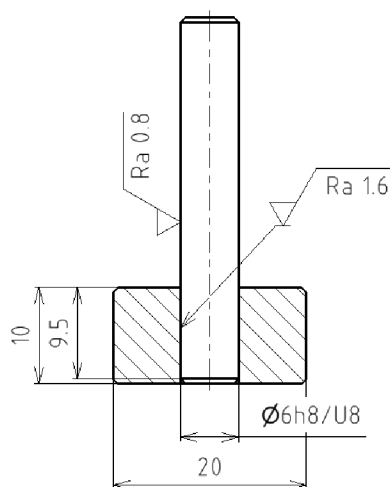
$$k_2 = \frac{M_{max}}{M_2} = \frac{11,54}{11,50} = 1,003 \quad (8)$$

5.8.2 Ověření pevnosti nástavce pro axiální kompenzaci

Nástavec je vyroben z více druhů materiálů. Je zde připojovací hřídel z oceli tažené za studena, která je nalisována do duralového hranolu. Držák nástavců bit je nalisován do spodního hranolku, ale protože je konec držáku šestihran dá se předpokládat, že toto tvarové spojení bude pevnější než nalisované hřídelky a hranolu. Tolerance při nalisování jsou stanoveny h8/U8. Materiály pro hřídelku podle tabulek ocel S235JR s vlastnostmi $R_e = 225 \text{ MPa}$, $R_m = 340 \text{ MPa}$. Materiál hranolu je stejný jako v předchozí kapitole (5.8.1), tedy EN AW-6060. Taktéž je stejný návrhový součinitel.[25]

Výpočet lisovného spoje hřídele a hranolu

Při nalisování za studena dochází k částečnému shrnutí materiálu, proto je při výpočtu nutno uvažovat tento prvek související s drsností povrchu obou součástí, který je dán rovnicí (9). Z vypočteného přesahu lze vypočítat tlak ve spoji a následně i hodnotu maximálního momentu ve vzorci (10). Uložení lisovaného spoje je naznačeno na obrázku 33. [15]



Materiálové vlastnosti pro ocel:

$$\mu_o = 0,29 \quad E_o = 207 \text{ GPa}$$

Materiálové vlastnosti slitiny hliníku:

$$\mu_{Al} = 0,33 \quad E_{Al} = 71,7 \text{ GPa}$$

Uvažovaný součinitel tření: $f = 0,15$

Návrhový součinitel: $k_k = 1,3$

Nejmenší možný přesah daný tolerancemi:

$$\delta = 0,015 \text{ mm}$$

Obrázek 33: Zobrazení nalisovaného spoje

Výpočet nejmenšího přesahu po nalisování a stržení materiálu:

$$\delta_{min} = \delta - 5,4 \cdot (R_{aN} + R_{aH}) = 0,015 - 5,4 \cdot (0,0016 + 0,0008) = 0,002 \text{ mm} \quad (9)$$

δ_{min} ... nejmenší přesah po nalisování [m]

$R_{aN} = 1,6 \mu\text{m}$... povrch náboje

$R_{aH} = 0,8 \mu\text{m}$... povrch hřídele

Výpočet tlaku vyvozeného přesahem

$$p = \frac{\delta_{min}}{\left\{ \left[\frac{R}{E_{Al}} \left(\frac{r^2 + R^2}{r^2 - R^2} + \mu_{Al} \right) \right] + \left[\frac{R}{E_o} (1 - \mu_o) \right] \right\}} \quad (10)$$

$$p = \frac{0,002}{\left\{ \left[\frac{3}{71,7 \cdot 10^9} \left(\frac{10^2 + 3^2}{10^2 - 3^2} + 0,33 \right) \right] + \left[\frac{3}{207 \cdot 10^9} (1 - 0,29) \right] \right\}} = 27,488 \text{ MPa}$$

p ... tlak v lisovaném spoji [Pa]

$R = 3 \text{ mm}$... poloměr hřídele

$R = 10 \text{ mm}$... poloměr materiálu okolo náboje

Výpočet maximálního momentu

$$M_k = 2\pi R^2 p f l = 2,215 \text{ Nm} \quad (11)$$

$$M_{max} = \frac{M_k}{k_k} = \frac{2,215}{1,3} = 1,704 \text{ Nm} \quad (12)$$

M_k ... dovolený moment pro lisovaný spoj [Nm]

Výpočet hřídele na prostý krut

Obdobný postup jako v předchozí kapitole ovšem bez koncentrátoru napětí.

$$\tau_k = 0,557 \cdot R_e = 0,557 \cdot 225 = 125,33 \text{ MPa} \quad (13)$$

$$k_k = \frac{\tau_k}{\tau_{max}} \Rightarrow \tau_{max} = \frac{\tau_k}{k_k} = \frac{94,69}{1,3} = 96,4 \text{ MPa} \quad (14)$$

$$M_{max} = \tau_{max} \cdot W_k = \tau_{max} \cdot \frac{\pi \cdot d^3}{16} = 19,11 \cdot 10^6 \cdot \frac{\pi \cdot 0,014^3}{16} \doteq 4,09 \text{ Nm} \quad (15)$$

Výpočet broušených tyčí a hranolu na otláčení

Uvažujeme-li dovolený tlak na otláčení pro měkký materiál podle tabulek $p_d = 50 \text{ MPa}$, pak lze díky rozměrům stykové plochy vypočítat sílu potřebnou k otláčení.

Kde: $l = 10 \text{ mm}$... délka styčné plochy

$d = 6 \text{ mm}$... průměr tyče

S ... styčná plocha [mm²]

F ... síla potřebná k otláčení [N]

$$S = l \cdot d = 10 \cdot 6 = 60 \text{ mm}^2 \quad (16)$$

$$F = p_d \cdot S = 50 \cdot 10^6 \cdot 60 \cdot 10^{-6} = 3000 \text{ N} \quad (17)$$

Ze síly pak lze vyjádřit maximální moment na rameni vzáleném $L = 22 \text{ mm}$

$$M_{max1} = F \cdot L = 3000 \cdot 22 \cdot 10^{-3} = 66 \text{ Nm} \quad (18)$$

Pro konečnou hodnotu musíme uvažovat, že jsou zde dvě kontrolovaná místa namáhána současně, a tak se musí výsledná hodnota vynásobit počtem míst.

$$M_{max} = M_{max1} \cdot 2 = 132 \text{ Nm} \quad (19)$$

Ověření použití

Porovnáním maximálního momentu s rozsahem měřicího přístroje MTT03-50Z, pro který je zařízení navrženo, zjistíme bezpečnost použití nástavce pro axiální kompenzaci. Přístroj na snímání krouticího momentu Mark-10 MTT03-50Z má rozsah do 36 Nm. Maximální měřená hodnota by neměla přesáhnout $M_1 = 0,36 \text{ Nm}$. Jako maximální dovolený moment volíme z předchozích výpočtů nejnižší hodnotu momentu, tedy hodnotu v lisovaném spoji hřídele do hranolu viz rovnice 20.

$$k_1 = \frac{M_{max}}{M_1} = \frac{1,704}{0,36} = 4,73 \quad (20)$$

Porovnáním s přístrojem vyšší řady MTT03-12 o maximální hodnotě momentu $M_2 = 1,35 \text{ Nm}$ vychází dle rovnice 21 bezpečnost takto.

$$k_2 = \frac{M_{max}}{M_2} = \frac{1,704}{1,35} = 1,26 \quad (21)$$

Porovnáním s přístrojem vyšší řady MTT03-50 o maximální hodnotě momentu $M_3 = 5,7 \text{ Nm}$ vychází dle rovnice 22 bezpečnost takto.

$$k_2 = \frac{M_{max}}{M_2} = \frac{1,704}{5,7} = 0,3 \quad (22)$$

6 DISKUZE

6.1 Zhodnocení konstrukčního návrhu

Konstrukční návrh stojanového přípravku pro měření krutu byl vypracován podle zadání se dvěma přípravky pro upínání součástí. Návrh stojanu je uzpůsoben požadavkům firmy s ohledem na možnosti výroby ve firemní dílně. Výhodou výrobku je jeho přizpůsobení na konkrétní požadavky a univerzálnost provedení umožňující různá měření. Díky jednoduchosti konstrukce je možné postupem času dělat úpravy pro lepší funkci.

Samotný návrh byl nad rámec zadání zhotoven a díky tomu lze v této práci popsat nedostatky, které se po výrobě objevily.

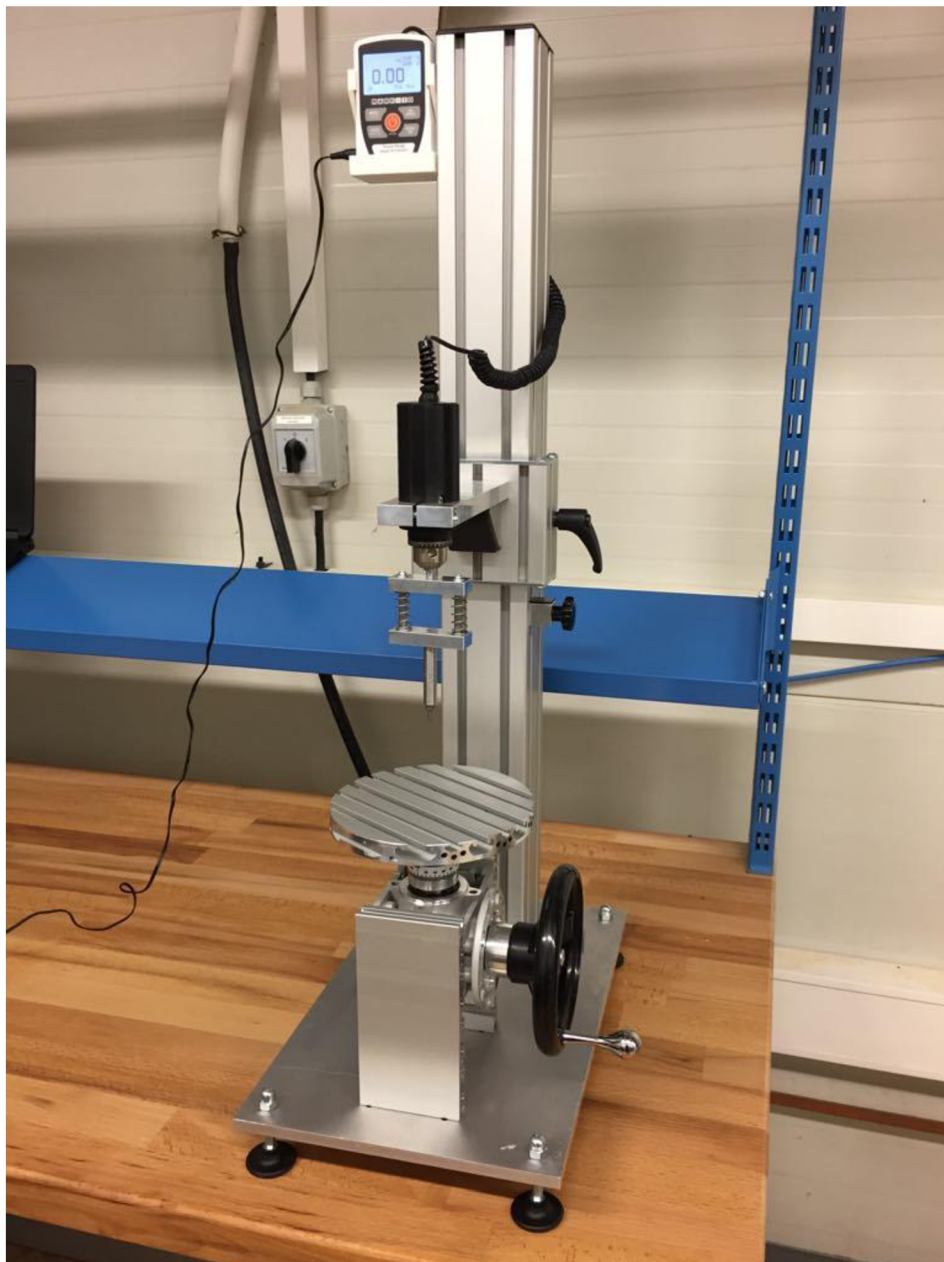
Je zde pár oblastí, které by se daly na výrobku do budoucna vylepšit. Výškově nastavitelný držák snímače je na místě aretován přítlačným šroubem a může být jištěn dorazem. Přítlačný šroub má v drážce profilu speciální matici pro tyto účely, ale občas se při pohybu zadrhává o profil. Napravit tento problém je možné výměnou za jiný druh matice nebo úpravou hran matice a promazáním. Další problémovou oblastí je napojení otočného kola do šnekové převodovky pomocí hřídele s perem. Toto spojení je realizováno pouze jako nástrčné a při nedodržení tolerancí, může být jednoduché vytáhnout hřídel s kolem z převodovky. Naneštěstí výrobce převodovky nedodržel tolerance a po vyrobění hřídele byla hřídel v převodovce uložena s malou vůlí. Při používání působí volně, ale na samotné měření nemá až takový vliv. Výrobou nové hřídele s jinou tolerancí by se dal tento problém opravit.

Nevýhodou tohoto návrhu oproti prodávanému je absence pohybového ústrojí pro pohyb držáku snímače. Nastavení výšky je zde realizováno ručně v celém rozsahu. Do budoucna by se dal stojan vylepšit o pohybový mechanismus přímo na výškově nastavitelném pojezdu a vzniklo by tak jemné nastavení výšky v rozmezí pár centimetrů, které stačí při výměně vzorků.

Byly provedeny výpočty problémových míst návrhu a porovnány s rozsahem měřícího přístroje pro který je výrobek navržen o maximálním momentu do 0,36 Nm. Hřídel otočného stolu je na základě vypočítané bezpečnosti $k_1 = 32$ dostatečná pro použití s tímto měřícím přístrojem Mark-10 MTT03-50Z. Dále byla vypočtena bezpečnost hřídele při použití s nejsilnějším prodávaným přístrojem této řady s označením Mark-10 MTT03-100 a hodnotou momentu do 11,5 Nm. Bezpečnost je $k_2 = 1,003$, z toho vyplývá, že není doporučeno tento model používat, ale při jeho použití a nepřesahování maximálního rozsahu by se nemělo dojít ke zničení hřídele. Důvodem je užití návrhového součinitele při výpočtech.

Za předpokladu že při měření použijeme nástavec pro axiální kompenzaci. Ukázali výpočty, že pro přístroj s rozsahem do 0,36 Nm je bezpečnost použití nástavce $k_1 = 4,73$, tudíž vyhovující. Nástavec je taktěž vyhovující pro silnější model s rozsahem do 1,35 Nm. Nevyhovujícím se stává nástavec pro přístroje s rozsahem od 5,7 Nm a vyšší. Tedy přístroj Mark-10 MTT03-50 a MTT03-100.

Na obrázku 34 je vidět vyrobený stojan, který je již ve firmě využíván k měření. Chybí na něm zakrytování a další kosmetické detaily, ale z funkční stránky je zcela hotový.



Obrázek 34: Hotový výrobek stojanu

6.2 Ekonomické zhodnocení

Na závěr je vhodné zmínit ekonomické zhodnocení celého návrhu. Jak bylo zmíněno dříve, práce je inspirována stojanovým přípravkem, který je prodáván přímo pro typ měřáků kroutícího momentu od značky Mark-10. Konstrukční návrh této práce je tímto inspirován a byl navržen s ohledem na nízké náklady, jednoduchost a snadnou vyrobiteľnosť. Výrobní náklady jsou popsány v následující tabulce. Cena za vyráběné díly je pouhý odhad. Vezmeme-li v úvahu skutečnost, že firma má vlastní dílu právě pro tyto účely, je skutečná výrobní cena nižší oproti výrobě od externí firmy, která by se pohybovala cenově ještě výše. Doba výroby je odhadnuta na cca 15 hodin při hodinové sazbě 400 Kč/hod. Cena materiálu a stejně tak cena spojovacího materiálu je taktéž odhadnuta. Při výrobě byl použit materiál, který již byl v dílně a nebylo třeba jej pořizovat.

Tabulka 6: Cenové zhodnocení výrobku

Název:	Cena v Kč:
Profily a potřebné součásti (MAREK industrial)	3 414,-
Šneková převodovka (Raveo)	2 120,-
Nástavec na výměnné bity, rychloupínač, otočné kolo	728,-
Výroba (15 hod.)	6 000
Materiál pro výrobu	1 000,-
Spojovací materiál	100,-
Cena celkem:	13 362,-

Výsledná cena je při zaokrouhlení na 13 500,- Kč. Při výrobě součástí u externí firmy se výroba prodraží, ale dá se předpokládat, že konečná cena nepřesáhne 20 000,- Kč. Cena stojanu Manual Torque Test Stand TST / TSTH je na oficiálních stránkách výrobce \$ 2 600 a u českých autorizovaných prodejců se pohybuje nad hranicí 70 000,-Kč. Porovnáme-li odhadovanou cenu výrobku se zakoupeným, vychází úspora až 80 % nákladů. V cenách není zahrnuta cena měřáku, který se prodává samostatně. Všechny ceny jsou platné k roku 2020. Při této úspoře by se při dalších úpravách dalo uvažovat o vylepšení mechanismu zvedání držáku se snímačem, případně motorizaci a koupi dalšího měřícího zařízení s jiným rozsahem měření. [4]

7 ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce byl konstrukční návrh stojanového přípravku pro měření kroutícího momentu a přípravků pro upínání měřených vzorků. Návrh je konstruován pro digitální snímač kroutícího momentu MARK-10 Torque Gauges Series TT03. S ohledem na rozměrové požadavky firmy a možnosti výroby. Návrh je inspirován podobným prodávaným stojanem od této firmy a jeho výsledná cena by neměla přesáhnout cenu prodávaného. Výrobek je navržen pro jednodusovou výrobu a užívání v laboratorních prostorách zkušeným personálem.

Při řešení bylo zvoleno použití systému hliníkových profilů v kombinaci s vyráběnými nebo zakoupenými díly. Na místo drahých otočných stolů je užito šnekové převodovky nabízející dobré parametry a vlastnosti za příznivou cenu. Ke stojanu je také navržen nástavec pro axiální kompenzaci, který umožňuje měření momentu při zašroubování závitů. Dále jsou ke stojanu dva druhy přípravků pro upínání měřených vzorků a díky univerzálnímu otočnému stolu se dá připevnit velké množství různých vzorků.

Výsledný návrh je vypracován v CAD programu s doloženou dokumentací. Ověřovací výpočty bylo zjištěno, že je stojan použitelný i pro nejsilnější model měřáku této série, pokud není využit nástavec pro axiální kompenzaci. Nástavec je doporučeno používat s přístroji do rozsahu 1,35 Nm, aby se vyloučilo jeho poškození. Firma vlastní dva přístroje, jejichž maximální rozsah nepřesahuje 0,36 Nm a zakoupení přístrojů s větším rozsahem je zatím velmi nepravděpodobné.

Výsledný model byl nad rámec zadání zhotoven a je ve firmě používán. Při zhotovení bylo užito mnoho materiálu a dílů, které už firma vlastnila, a to vedlo k další cenové úspoře. Pro výrobu součástí bylo využito interní dílny se zkušenými pracovníky a nebylo třeba nechávat vyrábět díly u externích firem.

Z ekonomického hlediska bylo úkolem navrhnout přípravek odpovídající parametrům a nepřesahující cenu prodávaného kusu. Cena prodávaného stojanu se pohybuje nad hranicí 70 000,- Kč a odhadovaná cena vyrobeného stojanu vychází na 13 500,- Kč. Návrh tedy dokázal ušetřit až 80 % nákladů a zároveň je optimalizovaný pro konkrétní potřeby firmy.

Do budoucna by se daly vyřešit drobné nedostatky na výrobku a zároveň je možnost otočný stůl poháněný ručním otáčením kola motorizovat a celý proces měření více zautomatizovat a zpřesnit.

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] NOVÁK, Martin. *Technická měření*. V Praze: České vysoké učení technické, 2018, 234 stran : ilustrace ; 30 cm. ISBN 978-80-01-06388-0.
- [2] *Měřicí přístroje a systémy: Měřidla kroutícího momentu* [online]. Kroměříž [cit. 2020-03-12]. Dostupné z: <https://www.natis.cz>
- [3] TST Manual Torque Test Stand. *Checkline* [online]. [cit. 2020-04-04]. Dostupné z: <https://www.checkline.eu/prod/torque-stands/tst>
- [4] Manual Torque Test Stand. *Mark-10* [online]. [cit. 2020-04-08]. Dostupné z: <https://www.mark-10.com/instruments/stands/tst.html>
- [5] Technická konzultace: Vysoce přesné převodovky. *Raveo* [online]. [cit. 2020-04-04]. Dostupné z: <https://www.raveo.cz/vysoce-vykonne-prevodovky-rd2>
- [6] TumliKOVO. *Dělicí přístroje: druhy dělení* [online]. 5.12.2010, , 5 [cit. 2020-03-09]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/delici-pristroje-druhy-deleni/>
- [7] *Kovonástroje: Děličky* [online]. [cit. 2020-03-23]. Dostupné z: <https://www.kovonastroje.cz/Upinaci-nastroje/Delicky-a-otocne-stoly/>
- [8] *Otočný stůl PROMA OS-250* [online]. [cit. 2020-03-09]. Dostupné z: <https://www.batacz.cz/dum-a-zahrada/dilna/frezy-a-frezky/prislusenstvi-k-frezkam/PROMA-OS-250-Otocny-stul-25002501-125381.html>
- [9] MITCALC. *Šneková soukolí* [online]. , 10 [cit. 2020-03-18]. Dostupné z: <http://www.mitcalc.com/doc/gear4/help/cz/gear4.htm>
- [10] Worm drive. *Liberal* [online]. [cit. 2020-04-04]. Dostupné z: <https://www.liberaldictionary.com/worm-drive/>
- [11] MAREK, Jiří. MM Průmyslové spektrum. Kuličkové šrouby a matice ve stavbě CNC obráběcích strojů, část 1 [online]. 2015 [cit. 2015-03-19]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/kulickove-srouby-a-matice-ve-stavbe-cnc-obrabecichstroju-cast-1.html>
- [12] MAREK, Jiří. Konstrukce CNC obráběcích strojů. Vyd. 2, přeprac., rozš. Praha: MM publishing, 2010, 420 s. : il. ISBN 9788025479803.
- [13] LAYOSA, Carlicia. *Mastering Ball Screws Pt. 1: Steel Ball Recirculation System and Characteristics* [online]. 28.09.2016 [cit. 2020-02-29]. Dostupné z: <https://blog.misumiusa.com/ball-screw-steel-ball-recirculation/>
- [14] *HOW A BALL SCREW WORKS: Tangential Internal Ball Return System* [online]. 2014 [cit. 2020-02-29]. Dostupné z: <http://www.barnesballscrew.com/how-a-ball-screw-works/>

- [15] SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE a Richard G. BUDYNAS, VLK, Miloš, ed. *Konstruování strojních součástí*. V Brně: VUTIUM, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-802-1426-290.
- [16] Ozubené hřebeny a pastorky I RAVEO s.r.o. RAVEO s.r.o. I WORLD OF MOTION [online]. Otrokovice: RAVEO s.r.o., 2017 [cit. 2017-02-25]. Dostupné z: <http://www.raveo.cz/hrebeny-pastorky>
- [17] APEX DYNAMICS CZECH s.r.o.: Precizní ozubené hřebeny a pastorky [online]. Otrokovice, 2017 [cit. 2020-02-29]. Dostupné z: https://www.apexdynaczech.cz/wp-content/uploads/2017/10/Katalog_final_verze_1.4_2017_web.pdf
- [18] HOUŠA, Jaromír. Konstrukce číslicově řízených obráběcích strojů. první. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, n.p, 1985. 288 s. 04-229-85.
- [19] MAREK, Jiří a Petr BLECHA. Konstrukce CNC obráběcích strojů. Vyd. 2., přeprac. a rozš. Praha: MM publishing, 2010. MM speciál. ISBN 9788025479803.
- [20] *Hennlich* [online]. [cit. 2020-03-23]. Dostupné z: <https://www.hennlich.sk/produkty/linearne-vedenia-7810.html>
- [21] Klempířská technologie II., Ing. Květoslav Král, SOŠ automobilní a SOU automobilní Ústí nad Orlicí Strojnictví a strojní součásti, Karel Mičkal, Sobotáles Praha 1995
- [22] KONVIČNÁ, Iveta. *Svarové spoje*. Nár. ústav pro vzdělávání, , 9. ISSN 1802-4785. http://www.sossoukyjov.cz/data/file/Strojnictvi/VY_32_INOVACE_5c/VY_32_INOVACE_5c01.pdf
- [23] Hliníkový konstrukční systém. *Alutec* [online]. [cit. 2020-03-19]. Dostupné z: <https://www.aluteckk.cz/hlinikovy-konstrukcni-system>
- [24] *Mindiamart Aluminium profiles* [online]. [cit. 2020-03-23]. Dostupné z: <https://www.indiamart.com/proddetail/aluminium-profiles-17472420397.html>
- [25] ŠLUPINA, Miloš. Spoje ve strojírenství [online]. Elektronická učebnice. Kopřivnice, 2007 [cit. 2020-04-08]. Dostupné z: http://moodle2.voskop.eu/download/teu/U36_Spoje_ve_strojirenstvi.pdf
- [26] LEINVEBER, Jiří a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 5., upr. vyd. Úvaly: Albra, 2011. ISBN 978-80-7361-081-4.
- [27] *Gedore: Torque equipment* [online]. Great Britan: 2020 [cit. 2020-06-25]. Dostupné z: <https://www.gedore-torque.com/torque-wrenches/>
- [28] *Shimpo instruments: TTST-V Rotary Torque Test Stand* [online]. USA [cit. 2020-06-25]. Dostupné z: <http://shimpoinstruments.com/product/-1547578653>
- [29] *IMADA: Force measurement* [online]. [cit. 2020-06-25]. Dostupné z: <https://www.forcegauge.net/en/catalog/mts-10n>

9 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN

9.1 Příklady použitých fyzikálních veličin

F	síla
p, p_d	tlak, dovolený tlak
M_{nom}, M_{max}, M	moment
R_e, R_m	materiálové charakteristiky
L, l	délkové označení
R, r, D, d	průměrové a poloměrové označení
k_k	návrhový součinitel
k_1, k_2, k_3	Součinitel bezpečnosti
τ_k	dovolené smykové napětí
τ_{nom}, τ_{max}	smykové napětí
μ_o, μ_{Al}	poissonova konstanta pro daný materiál
α	součinitel koncentrace napětí
E_o, E_{Al}	modul pružnosti v tahu pro daný materiál
f	součinitel tření
δ, δ_{min}	přesah průměrů lisovaných hřídelí
i	převodový poměr

9.2 Příklad použitých zkratk

CAD	Computer Aided Design
CNC	Computer Numeric Controll
USB	Universal Serial Bus
PET	Polyethylentereftalát
3D	Trojrozměrný prostor

10 SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ

Obrázek 1: Digitální měřák momentu Mark-10 TT03 [4].....	3
Obrázek 2: Analogový momentový šroubovák (Tohnichi FTD) a klíč (Tohnichi DB) [2]	4
Obrázek 3: Digitální momentový šroubovák (Tohnichi STC2) a klíč (Tohnichi CEM3) [2]	5
Obrázek 4: Motorizovaný testovací měřák TAA-MTS-10N-TB[2]	6
Obrázek 5:Mark-10 TSTH manuální testovací stojan [4]	7
Obrázek 6: Dělicí přístroj s příslušenstvím BS-0-J, TOS UIG 125/3 - 2 [7]	9
Obrázek 7:Otočný stůl značky Proma OS - 250 [8]	10
Obrázek 8: Šnekový převod [10].....	11
Obrázek 9: Kličkový šroub znázornění oběhu kuliček [14]	12
Obrázek 10: Druhy konstrukce kuličkových šroubů [13]	12
Obrázek 11: Čelní profil ozubeného hřebene a pastorku [17]	13
Obrázek 12: Ozubený hřeben s přímými zuby(vlevo) a se šikmými(vpravo) [16].....	13
Obrázek 13: Rozdělení druhů lineárního vedení	14
Obrázek 14: Lineární vedení valivé [20]	15
Obrázek 15:Druhy konstrukce rámu [12]	16
Obrázek 16: Hliníkové profily s díly [24]	18
Obrázek 17: Návrh varianty s trapézovým šroubem	22
Obrázek 18: Návrh varianty systému s hliníkových profilů	22
Obrázek 19: Návrh varianty s ozubeným hřebenem	23
Obrázek 20: Návrh desky s drážkami	23
Obrázek 21: Návrh desky s dírami	23
Obrázek 22: Konstrukční řešení stojanu pro měření krutu.	25
Obrázek 23: Převodovka Transtecno CM030 [5]	26
Obrázek 24: Šneková převodovka jako otočný stůl v rozpadu; A – výstupní hřídel, B – vstupní hřídel, C – otočné kolo	27
Obrázek 25: FMsysteme lineární vedení; A – nosný profil, B – zajišťovací páka, C – U- profil, D – plastová vložka, E - krytka	28

Obrázek 26: Upínací deska stolu v rozpadu; A – deska stolu, B – podložka, C – výstupní hřídel	28
Obrázek 27: Držák měřáku	29
Obrázek 28: Upevnění snímače; A – snímač kroutícího momentu, B – držák snímače, C – rohový spojovací díl	29
Obrázek 29: Nosná konstrukce v rozpadu; A – úchyt otočného stolu, B – základna, C – stavitelné nohy	30
Obrázek 30: Nástavec pro axiální kompenzaci	31
Obrázek 31: Přípravek s rychloupínačem a jeho aplikace	32
Obrázek 32: Přípravek pro pevnější upnutí	32
Obrázek 33: Zobrazení nalisovaného spoje	34
Obrázek 34: Hotový výrobek stojanu	38

11 SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Porovnání digitálních snímačů momentu [2 - 4]	3
Tabulka 2: Porovnání analogových měřáků [4][27].....	4
Tabulka 3: Srovnání některých výrobců digitálních měřáků [2]	5
Tabulka 4: Srovnání některých výrobců stolových měřáků [2]	6
Tabulka 5: Porovnání pracovního prostoru různých stojanů pro měření krutu [4][28][29] .	7
Tabulka 6: Cenové zhodnocení výrobku	39

12 SEZNAM PŘÍLOH

Výkres hlavní sestavy měřáku krutu	200442_FSI_000
Výkresy podsestavy:	
• Nástavce	200442_FSI_019
• Upínky	200442_FSI_018
Výkresy součástí:	
• Hřídele stolu	200442_FSI_004
• Hřídele	200442_FSI_003
• Podložky stolu	200442_FSI_014
• Krytu stolu P1	200442_FSI_010
• Držáku snímače	200442_FSI_005
• Upínací plech	200442_FSI_000_1