

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

---

FAKULTA STROJNÍ

Ústav výrobních strojů a zařízení



## Bakalářská práce

**Experimentální ověřování statických vlastností valivého lineárního  
vedení pro obráběcí stroje**



## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl v příloženém seznamu veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací, vydaným ČVUT v Praze 1. 7. 2009.

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

V Praze dne 13.7.2016

.....

podpis



## Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval Ing. Janu Machylovi, Ph.D. za vedení bakalářské práce, za jeho odborné vedení, cenné rady a obětavou podporu při řešení této práce. Dále bych rád poděkoval Ing. Davidu Burianovi za cenné připomínky a pomoc při experimentálním ověřování. V neposlední řadě bych rád poděkoval své rodině a zejména svým rodičům, kteří mi byli vždy morální podporou.



## Anotace

<i>Jméno Autora:</i>	<b>David Rebhán</b>
<i>Název BP:</i>	Experimentální ověřování statických vlastností valivého lineárního vedení pro obráběcí stroje
<i>Číslo bakalářské práce:</i>	BP 0203
<i>Rozsah práce:</i>	50 stran
<i>Akad. rok vyhotovení:</i>	2015/2016
<i>Ústav:</i>	Ú12135 – Ústav výrobních strojů a zařízení
<i>Vedoucí BP:</i>	Ing. Jan Machyl, Ph.D.
<i>Konzultant:</i>	Ing. David Burian
<i>Zadavatel tématu:</i>	ČVUT – FS, Ú12135
<i>Datum odevzdání:</i>	13.7.2016
<i>Využití:</i>	Ověřování statických vlastností lineárně valivého vedení.
<i>Klíčová slova:</i>	lineární vedení, tuhost, poddajnost, obráběcí stroj
<i>Anotace:</i>	Obsahem této bakalářské práce je rešerše o valivém vedení a následné porovnání jednotlivých valivých vedení v rámci jejich tuhosti a ceny.



## Annotation

<i>Author:</i>	<b>David Rebhán</b>
<i>Title:</i>	Experimental verification of the static properties of rolling linear guide for machine tools
<i>Number:</i>	BP 0203
<i>Range:</i>	50 pages
<i>Academic Year:</i>	2015/2016
<i>Department:</i>	Ú12135 – Department of Production Machines and Equipment
<i>Tutor:</i>	Ing. Jan Machyl, Ph.D.
<i>Adviser:</i>	Ing. David Burian
<i>Title submitter:</i>	CTU – Faculty of Mechanical Engineering
<i>Date of Handover:</i>	13.7.2016
<i>Keywords:</i>	linear guide, stiffness, amenability, machine tool
<i>Annotation:</i>	Bachelor's thesis deals with the analysis of the linear guide systems and comparison regarding stiffness and costs.



## Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod.....</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>Vedení lineárních pohybových os .....</b>	<b>10</b>
2.1	Druhy vedení dle typu tření.....	11
2.2	Požadavky na vedení .....	14
2.3	Základní pojmy .....	15
<b>3</b>	<b>Valivá vedení .....</b>	<b>23</b>
3.1	Výhody a nevýhody .....	23
3.2	Druhy valivých vedení .....	24
3.3	Konstrukce .....	33
3.4	Mazání.....	34
3.5	Seznam výrobců .....	37
<b>4</b>	<b>Metodika měření .....</b>	<b>38</b>
4.1	Návrh metodiky.....	38
4.2	Postup měření.....	38
<b>5</b>	<b>Provedení měření .....</b>	<b>39</b>
5.1	Vlastní měření .....	40
5.2	Vyhodnocení měření .....	43
<b>6</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>45</b>
<b>7</b>	<b>Seznamy .....</b>	<b>47</b>
7.1	Seznam obrázků .....	47
7.2	Seznam tabulek .....	48
7.3	Seznam použitého software.....	48
7.4	Seznam příloh.....	48
7.5	Literatura .....	49



## Přehled použitých veličin a jednotek

$A_{x,z_j}$	$[-]$	koeficient citlivosti
$c$	$[m \cdot N^{-1}]$	poddajnost
$f$	$[-]$	funkce
$F$	$[N]$	zatížení
$H$	$[mm]$	délka zdvihu
$K$	$[-]$	deformační konstanta
$k$	$[N \cdot m^{-1}]$	tuhost
$k_1$	$[N \cdot m^{-1}]$	tuhost tělíska 1
$k_2$	$[N \cdot m^{-1}]$	tuhost tělíska 2
$k_p$	$[N \cdot m^{-1}]$	tuhost elementů uzavřeného předepjatého vedení
$k_u$	$[-]$	koeficient rozšíření
$L$	$[mm]$	délka valivých drah
$L_v$	$[mm]$	délka klece s valivými tělísky
$Q$	$[N]$	zatížení stykového elementu
$U$	$[-]$	rozšířená standardní nejistota
$u_{xA}$	$[-]$	standardní nejistota typu A
$u_{xB}$	$[-]$	standardní nejistota typu B
$u_y$	$[-]$	standardní kombinovaná nejistota
$u_{yA}$	$[-]$	standardní nejistota typu A
$u_{zB}$	$[-]$	podíl rozsahu změn a koeficientu pravděpodobnosti
$X, y$	$[-]$	měřená veličina
$\bar{x}$	$[-]$	aritmetický průměr
$\pm \Delta z_{max}$	$[-]$	maximální rozsah změn
$Z_i$	$[-]$	zdroje nejistot
$\delta$	$[mm]$	deformace
$\chi$	$[-]$	koeficient postihu pravděpodobnosti



# 1 Úvod

V současné době jsme svědky obrovského rozmachu v automatizaci strojů. Pro práci stroje je důležitý pohyb jeho komponent, a proto je nedílnou součástí každého stroje mechanické vedení. Vedení stroje se rozděluje podle tvaru dráhy a druhu tření, podrobněji probráno v následujících kapitolách.

Je všeobecně známé, že se na trhu pohybuje více výrobců s odlišnou kvalitou, konstrukcí a cenou vedení, proto je potřeba určité porovnání, které je výsledkem této bakalářské práce.

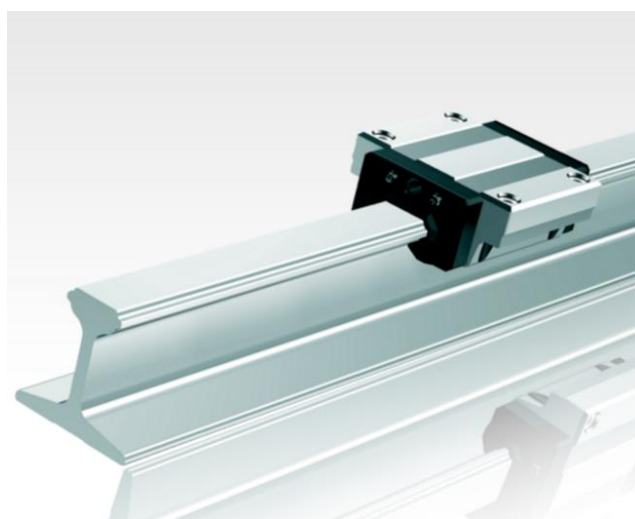
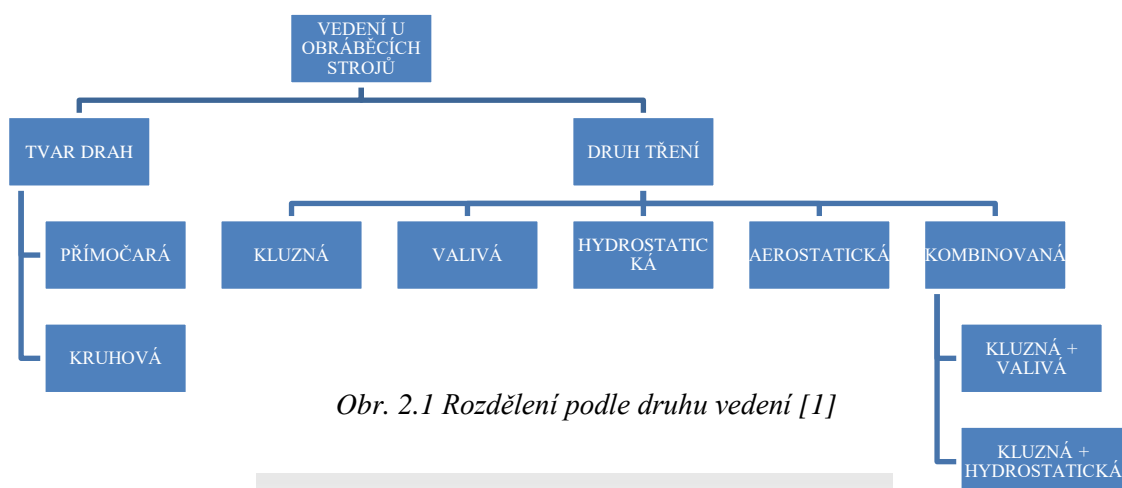
V této práci se tedy zabývám různými druhy vedení používaných na obráběcích strojích. Jaké jsou požadavky na tato vedení. Definuji pojmy statická tuhost, statická poddajnost, statická deformace, statická síla, nejistota měření. Zaměřím se podrobněji na valivá vedení, jejich výhody a nevýhody, druhy, konstrukci a mazání. Vypracuji seznam známých a méně známých výrobců lineárních vedení.

Hlavním cílem této bakalářské práce bylo navrhnout metodiku měření a vyhodnocení statické tuhosti valivého lineárního vedení a provést měření na skutečném valivém lineárním vedení. Nakonec vyhodnotit naměřené výsledky, tedy porovnat jednotlivé vozíky v rámci jejich kvality, kde hlavním měřítkem byla tuhost, která má největší vliv na přesnost vedení. Je zřejmé, že vysoká tuhost souvisí s vyšší pořizovací cenou. Otázkou však zůstává, zda cena vedení odpovídá příslušné tuhosti, proto byla k dispozici tři vedení od různých výrobců ve stejné velikosti, ale v jiné cenové relaci.

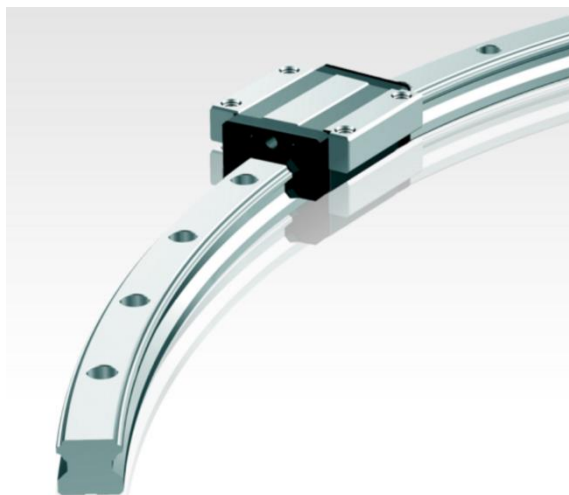


## 2 Vedení lineárních pohybových os

Pod pojmem vedení se rozumí soustava ploch, na nichž se stýká pohyblivá část (suport) s nepohyblivou (lože), která má zaručovat pohyb po geometricky přesné dráze. Jednotlivé plochy se nazývají plochy vodící. Podle **tvaru dráhy** rozlišujeme vedení přímočará (obr. 2.2) a kruhová (obr. 2.3), podle **druhu tření** ve styčných plochách rozlišujeme vedení se třením kluzným, valivým, kapalinným a plynným (vedení kluzná, valivá, hydrostatická a aerostatická). Dále existují vedení se třením kombinovaným (např. valivé s kluzným nebo kapalinné s kluzným). Celkové rozdělení je zobrazeno na obr. 2.1. [1]



Obr. 2.2 Příklad přímočarého vedení od firmy HENNLICH - typ JR [8]



Obr. 2.3 Příklad kruhového vedení od firmy HENNLICH - typ HCR [9]

## 2.1 Druhy vedení dle typu tření

### 2.1.1 Vedení kluzná

Kluznými dvojicemi jsou kombinace klasických materiálů používaných ve stavbě obráběcích strojů, tj. ocel a šedá litina (ocel-ocel, litina – litina, ocel – litina). Rozvod maziva je jen takový, aby se mazivo zavedlo do celé plochy styku, a jeho tlakem není neneseno žádné zatížení. [2]

Vlastnosti vedení: velké pasivní odpory ve směru pohybu ( $f = 0,15$  až  $0,3$ ); při malých posuvových rychlostech vznikají trhavé pohyby; u uzavřených vedení se vyskytuje vůle; dobrá tuhost; schopnost tlumit chvění v obou důležitých směrech; malá životnost; levný provoz; jednoduchá konstrukce; sklon k zadírání; dobrá technologičnost výroby a snadná údržba. Při vyšších posuvových rychlostech je pohyblivá část vedení částečně nadnášena vzniklými olejovými klíny ve vodících plochách, což při proměnlivé rychlosti pohybu nepříznivě působí na přímočarost chodu. [2]

### 2.1.2 Vedení valivá

Mezi vodícími plochami působí tření valivé. 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; lze dosáhnout dobré tuhosti; menší schopnost tlumit

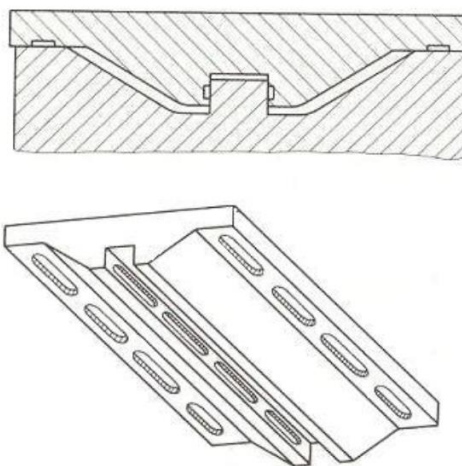


chvění ve všech potřebných směrech; možnost dosáhnout vysoké přesnosti chodu; velká životnost; poměrně jednoduchá konstrukce; nutnost ochrany proti vniknutí nečistot; náročná výroba (vodící plochy zpravidla ocelové, kalené a broušené); levný provoz a snadná údržba. [2]

### 2.1.3 Vedení hydrostatická (obr.2.4)

Veškeré zatížení je neseno vrstvou tlakového oleje, takže nedochází k mechanickému dotyku vodících ploch. Za pohybu působí tření kapaliné.

Vlastnosti vedení: extrémně nízké pasivní odpory ( $f = 0,0001$  až  $0,00001$ ); součinitel tření se s růstem rychlosti v celém rozsahu zvětšuje; mezi klidovým a pohybovým součinitelem tření není rozdíl, a proto je pohyb stabilní i při malých posuvových rychlostech; za provozu ve vedení není vůle; dobrá tuhost; vysoká schopnost tlumit chvění ve směru kolmo k pohybu a velmi malé tlumení ve směru pohybu; dosažitelná vysoká přesnost chodu; při vhodné konstrukci lze dosáhnout dobré tuhosti; klidný chod; velká životnost (žádné opotřebení – vodící plochy mohou být litinové, nekalené); při přerušení dodávky tlakového oleje se pohyblivá část vedení posune (poklesne) o tloušťku olejového filmu; komplikovaná konstrukce; náročná výroba i údržba a nákladný provoz. [2]



Obr. 2.4 Hydrostatické vedení - Weck2000 [2]



#### 2.1.4 Vedení aerostatická

Zatížení z pohyblivé na nepohyblivou část vedení je přenášeno vrstvou tlakového vzduchu, takže dochází k mechanickému dotyku vodících ploch – tření je plynné. Hlavní vlastnosti těchto vedení jsou stejné jako u vedení hydrostatických s výjimkou tuhosti, která je u aerostatických vedení nižší, a tlumení, které je ve směru kolmo k vodícím plochám podstatně menší (tenká vrstva plynu – vzduchu – mezi vodícími plochami tlumí chvění mnohem méně než tenká vrstva kapaliny – oleje). Výhodou aerostatických vedení je, že vzduch z vodících ploch uniká do atmosféry, a proto není třeba se starat o jeho zpětné svádění do nádrže jako u vedení hydrostatických. [2]

#### 2.1.5 Vedení kombinovaná – kluzná s valivými

Velká část zatížení je nesena valivými prvky (zpravidla valivými ložisky, kladkami nebo valivými hnízdy) přes pružiny, které jsou pro přenos příslušné části zatížení navrženy. Tyto prvky jsou vhodně rozmístěny podél vodících ploch na pohyblivé části vedení. Jen malou část zatížení přenášejí kluzné vodící plochy, které mohou být opatřeny vhodným kluzným materiálem. Za pohybu zde tedy působí tření polosuché a tření valivé. Vlastnosti vedení: snížení pasivní odpory ve směru pohybu; snadná údržba, levný provoz, náročnější výroba. [2]

#### 2.1.6 Vedení kombinovaná – kluzná s hydrostatickými

Značná část zatížení je nesena tlakem oleje přiváděného do hydrostatických tlakových jednotek rozmístěných podél vodících ploch. Jen malou část zatížení přenášejí kluzné plochy. Za pohybu vzniká tření polosuché a kapalinné. Hlavní vlastnosti těchto vedení jsou stejné jako vlastnosti vedení kombinovaných kluzných s valivými, jen s tím rozdílem, že vodící plochy není nutné kalit, konstrukce je náročnější, výroba nákladnější, údržba náročnější a provoz dražší. [2]



## 2.2 Požadavky na vedení

Při konstrukci a výrobě obráběcích strojů jsou kladeny na vodící plochy následující požadavky:

- vedení má vykazovat vysokou statickou a dynamickou tuhost;
- vedení musí být vyrobeno s takovou přesností, aby odchylky dráhy pohybu od ideálního tvaru dráhy byly v určitých mezích, daných požadovanou přesností práce stroje;
- přesnost vedení dosažená při výrobě má být co možná nejdéle zachována. Proto musí být vedení odolné proti opotřebení, tzn. musí být zvolen vhodný materiál ploch, popřípadě jeho tepelné zpracování;
- možnost vymezení vůle vzniklé opotřebením ploch vedení při provozu, aby bylo možno udržovat přesnost i správnou funkci vedení;
- výborná jakost povrchu, která přispívá ke snížení součinitele tření a tím ke snížení odporu proti pohybu a ke snížení opotřebení;
- dokonalá ochrana proti vnikání prachu, třísek a jiných nečistot, které by velmi agresivně působily na vodící plochy a způsobovaly jejich opotřebení a v kritickém případě zadření;
- dokonalé mazání, aby ztráty pohybu a opotřebení byly co nejmenší;
- dokonalý tvar, který musí za všech okolností při provozu zaručovat vedení pohybujících se částí s jedním stupněm volnosti a vhodné zachycení sil přenášených z jedné části na druhou;
- jednoduchý tvar se zřetelem na snadnou výrobu, neboť pak bude možno dobře splnit všechny požadavky předchozí. Profil vedení se skládá z co nejmenšího počtu ploch. [1]



## 2.3 Základní pojmy

### 2.3.1 Tuhost

Tuhost stroje je definována jako měřítko odolnosti konstrukce proti jeho deformaci. Je to poměr mezi zatížením a přetvořením v místě zatížení, tedy derivace zatížení podle deformace vyvolané tímto zatížením. [1]

$$k = dF/dy \quad (1)$$

**Dílčí tuhost** - určuje se samostatně pro každou součást zvlášť, např. tuhost samotného vřetene bez vlivu deformací ložisek, skříně vřeteníku a spojení vřeteníku s ložem.

**Celková tuhost** – vyšetřuje se pro celou soustavu součástí různými způsoby spolu spojených, např. tuhost suportu. [1]

**Relativní tuhost** – pro přesnost práce a klidnost obráběcího stroje je rozhodující. Daná relativními deformacemi dvou částí obráběcího stroje vůči sobě. Např. pro přesnost práce soustruhu je směrodatná relativní tuhost mezi obrobkem a nástrojem (deformace mezi dvěma částmi proti sobě). [1]

**Absolutní tuhost** – deformace měřená vůči absolutnímu základu. [1]

**Technologická tuhost** – výsledek vzájemného působení nástroje na obrobek. [1]

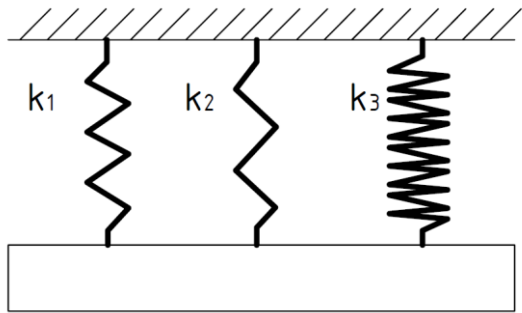
Podle charakteru působícího zatížení se rozlišuje tuhost:

- **Statická** – zatížení je stálé.
- **Dynamická** – zatížení je periodicky proměnlivé. Dynamická tuhost se pak definuje jako poměr mezi amplitudou zatížení a amplitudou deformace. [1]



Obecné principy řešení tuhosti složené soustavy pružných těles:

a) Při uspořádání vedle sebe paralelně (obr. 2.5)



Obr. 2.5 Paralelní uspořádání pružin

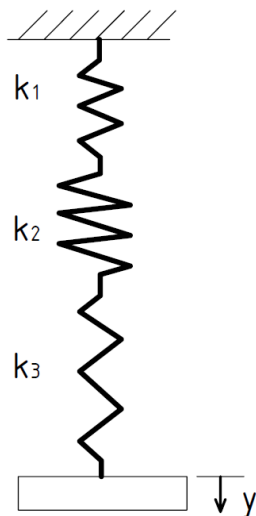
$$y = y_1 = y_2 = y_3 \quad (2)$$

$$F = F_1 + F_2 + F_3 \quad (3)$$

$$k = \frac{F}{y} = \frac{F_1}{y_1} + \frac{F_2}{y_2} + \frac{F_3}{y_3} \quad (4)$$

$$= k_1 + k_2 + k_3$$

b) Při uspořádání za sebou sériově (obr. 2.6)



$$y = y_1 + y_2 + y_3 \quad (5)$$

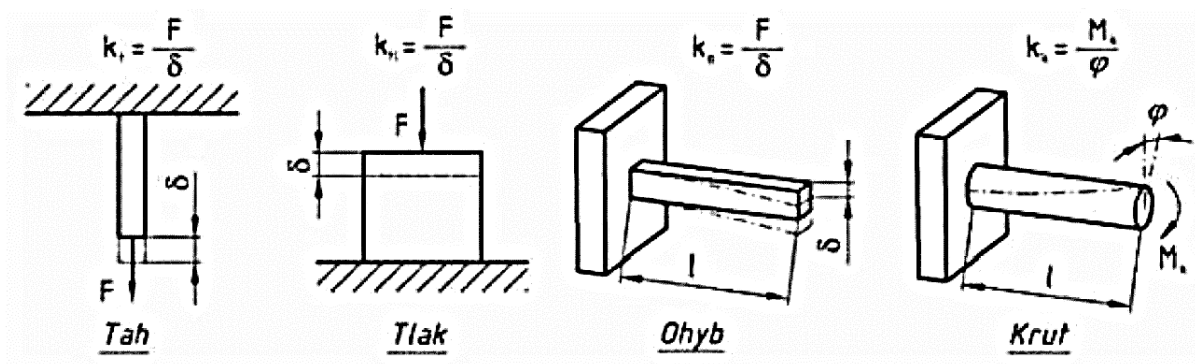
$$F = F_1 = F_2 = F_3 \quad (6)$$

$$k_1 = \frac{F}{y_1}, \quad k_2 = \frac{F}{y_2}, \quad k_3 = \frac{F}{y_3} \quad (7)$$

$$\frac{1}{k} = k^{-1} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \frac{1}{k_3} \quad (8)$$

Obr. 2.6 Sériové uspořádání pružin

Podle charakteru statických zatížení a sil vznikajících v technologickém procesu a vlivem silových složek hmotnosti vyskytují se nejčastěji 4 druhy zatížení a tomu odpovídající typy statické tuhosti dle *obr. 2.7*. Deformace smykové jsou zpravidla zanedbatelné a rovněž deformace v tahu a tlaku jsou s ohledem na tvar a rozměry součástí i charakter vnějších zatížení nepatrné a proto se tuhost v tlaku a tahu až na některé zvláštní případy nevyšetřují. [3]



*Obr. 2.7 Druhy statické tuhosti [3]*

### 2.3.2 Statická poddajnost

Poddajnost je převrácená hodnota tuhosti:

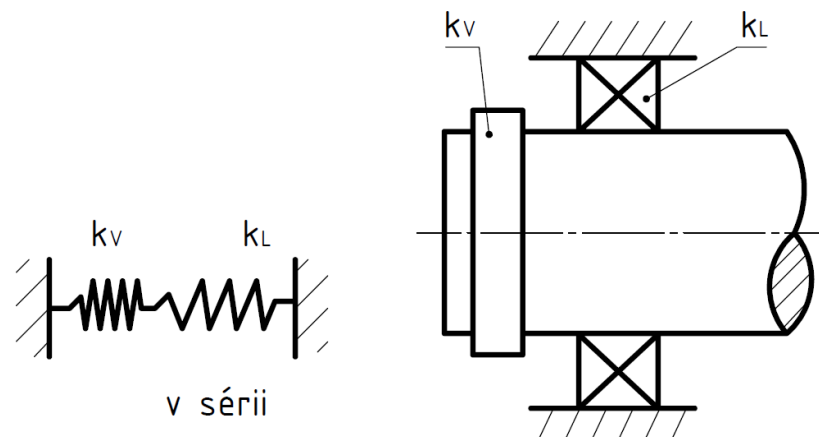
$$c = \frac{1}{k} = \frac{\delta}{F} [\mu \cdot N^{-1}]. \quad (9)$$

Určuje, jakou deformaci vyvolá jednotkové zatížení. Např. při sériovém uspořádání prvků s různou tuhostí dle *obr. 2.8* je celková deformace konce vřetena dána součtem deformace vřetena  $\delta_V$  a deformace uložení (ložiska)  $\delta_L$  :

$$\delta = \delta_V + \delta_L \quad (10)$$

Obráběcí stroj představuje zpravidla systém mnoha prvků a uzlů vzájemně propojených. Analýzou rozdělení a přenosu sil vznikajících deformací se zlepšuje vliv jednotlivých prvků na celkovou tuhost rámu (popř. celého stroje). [3]





Obr. 2.8 Příklad sériového uspořádání [3]

### 2.3.3 Statická síla

Síly můžeme rozdělit na **statické** a **dynamické**. Zatížení je časově nezávislé. Síla není v tomto případě funkcí času. Zatěžování může být krátkodobé (jednorázové) nebo vytrvalostní.

### 2.3.4 Statická deformace

Důsledkem statické síly se projevují deformace na tělese, které mohou být pružné nebo plastické.

### 2.3.5 Nejistoty

#### **Přímé měření**

Přímým měřením nazýváme taková měření, kdy je výstupní veličina  $X$  ve stejných jednotkách jako veličina měřená (např. měření teploty teploměrem). [5]

#### **- Standardní nejistota typu A**

Nejistota výsledku měření se skládá z příspěvku způsobeného náhodnými vlivy, platí přímo pro větší počet opakovaných měření než 10, pro jediné měření ji neuvažujeme. Při menším počtu opakovaných měření je nutné určit kvalifikovaný odhad na základě



zkušenosti a uplatnit násobící koeficient. Nejlepším odhadem výsledků měření bude výběrový aritmetický průměr:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (11)$$

nejistota je rovna **výběrové směrodatné odchylce aritmetického průměru** [5]:

$$u_{xA} = s_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}. \quad (12)$$

#### - Standardní nejistota typu B

Nejistota výsledku měření se skládá z příspěvku způsobeného známými vlivy. Nejistota měřené veličiny X je generována příspěvky různých zdrojů. Prvním úkolem je určit všechny možné zdroje nejistot  $Z_i$ . Lze psát, že [5]:

$$X = f(Z_1, \dots, Z_n). \quad (13)$$

U každého zdroje nejistoty je možné odhadnout maximální rozsah změn  $\pm \Delta z_{max}$  (odpovídá maximální chybě měřicího přístroje nebo použité metody) a dále statické rozdělení pravděpodobnosti výskytu jejich hodnot v tomto intervalu. Vliv různého rozdělení pravděpodobnosti postihuje koeficient  $\chi$ , který udává poměr mezní odchylky ke směrodatné odchylce pro vybraný typ rozdělení. Výslednou nejistotu typu B určíme vztahem [5]:

$$u_{zB} = \frac{\pm \Delta z_{max}}{\chi}. \quad (14)$$

Při předpokladu statického rozdělení rovnoměrného (= stejná pravděpodobnost výskytu libovolné hodnoty, ležící mezi krajními mezemi), použije se ve vztahu pro



výpočet  $u_{zB}$  koeficient  $\chi = \sqrt{3}$ , pro normální (Gaussovo) rozdělení (pravděpodobnost malých odchylek je značná a velkých zanedbatelná) se volí  $\chi = 3$ . [5]

Standardní nejistota typu B se započtením všech zdrojů nejistot je určena podle vztahu:

$$u_{xB} = \sqrt{\sum_{j=1}^n A_{x,z_j}^2 u_{z_j}} \quad (15)$$

kde tzv. citlivostní koeficienty  $A_{x,z_j}$  vyjadřuje podíl vlivu jednotlivých zdrojů nejistot na celkové nejistotě, převádějí jednotlivé složky nejistoty typu B na stejné jednotky a jsou dány parciálními derivacemi měřené veličiny podle jednotlivých zdrojů nejistot vztahem [5]:

$$A_{x,z_j} = \frac{\partial x}{\partial z_j} . \quad (16)$$

### Nepřímé měření

Nepřímým měřením lze nazvat takové měření, ve kterém se určuje hodnota veličiny  $y$  na základě vztahu, ve kterém vystupuje jedna nebo několik přímo měřených veličin. Veličina  $y$  je dána funkční závislostí na přímo měřených veličinách  $x_j$ , které nemají přesné hodnoty. Funkční závislost lze vyjádřit jako

$$y = f(x_1, \dots, x_j, \dots, x_m). \quad (17)$$

Hodnota hledané veličiny  $y$  se určí v případě opakovaných měření dosazením výběrových aritmetických průměrů jednotlivých přímo měřených veličin do funkčního vztahu (9). [5]



- **Standardní nejistota typu A**

Nejistota se určí obdobně, jako v případě přímo měřených veličin pro opakovaná nebo následná měření na základě nejistot od jednotlivých zdrojů podle vztahu

$$u_{yA} = s_{\bar{y}} = \sqrt{\sum_{j=1}^m A_{y_j}^2 s_{\bar{x}_j}^2}, \quad (18)$$

kde

$$A_{y_j} = \frac{\partial f(\bar{x})}{\partial x_j} \quad (19)$$

jsou převodní koeficienty, jejichž hodnoty se vypočítají dosazením hodnot  $\bar{x}_j$  do příslušných parciálních derivací a  $s_{\bar{x}_j}$  jsou směrodatné odchylky výběrových aritmetických průměrů jednotlivých přímo měřených veličin. [5]

- **Standardní nejistota typu B**

Stanoví se podobně jako v případě přímých měření jednotlivé zdroje nejistot typu B, určí se podle vztahu:

$$u_{yB} = \sqrt{\sum_{j=1}^m A_{x_j}^2 u_{x_jB}^2}, \quad (20)$$

kde

$$A_{x_j} = \frac{\partial y}{\partial x_j} \quad (21)$$

má stejný význam jako v případě přímo měřených veličin. [5]



### Standardní kombinovaná nejistota

Celková nejistota výsledku měření  $y$ , která je dána kvadratickým součtem nejistot typu A a B,

$$u_y = \sqrt{u_{yA}^2 + u_{yB}^2}. \quad (1)$$

Standardní kombinovaná nejistota udává interval  $\pm u_y$  okolo naměřené hodnoty, ve které se může se znmou pravděpodobností vyskytovat skutečná hodnota (**konfidenční interval**). Pro případ normálního rozdělení náhodných chyb je tato pravděpodobnost rovna cca 68%. [5]

Při požadavku vyšší věrohodnosti výsledku, se musí tento interval rozšířit formou užití **rozšířené standardní nejistoty**

$$U = k_u \cdot u_y, \quad (2)$$

kde koeficient  $k_u$  je koeficient rozšíření a odpovídá příslušnému konfidenčnímu intervalu. [5]

Pravděpodobnosti 68% odpovídá  $k_u = 1$ , pravděpodobnosti 95% koeficient  $k_u = 2$  a pro  $k_u = 3$  je již pravděpodobnost 99,73%. Takto vysoká úroveň je požadována např. pro etalony. Znamená to tedy, že např. při volbě  $k_u = 2$  lze říci, že skutečná hodnota se bude nacházet s pravděpodobností 95% v intervalu  $-2u_y$  až  $+2u_y$  okolo naměřené hodnoty. [5]



## 3 Valivá vedení

Tato práce je zaměřena na lineární valivá vedení, proto byl při vypracování kladen důraz na popsání dané oblasti co nejpodrobněji.

### 3.1 Výhody a nevýhody

Mezi vodíci plochami působí tření valivé. Valivá vedení nalézají uplatnění u nejpřesnějších strojů, protože se vyznačují několika velice důležitými vlastnostmi [3]:

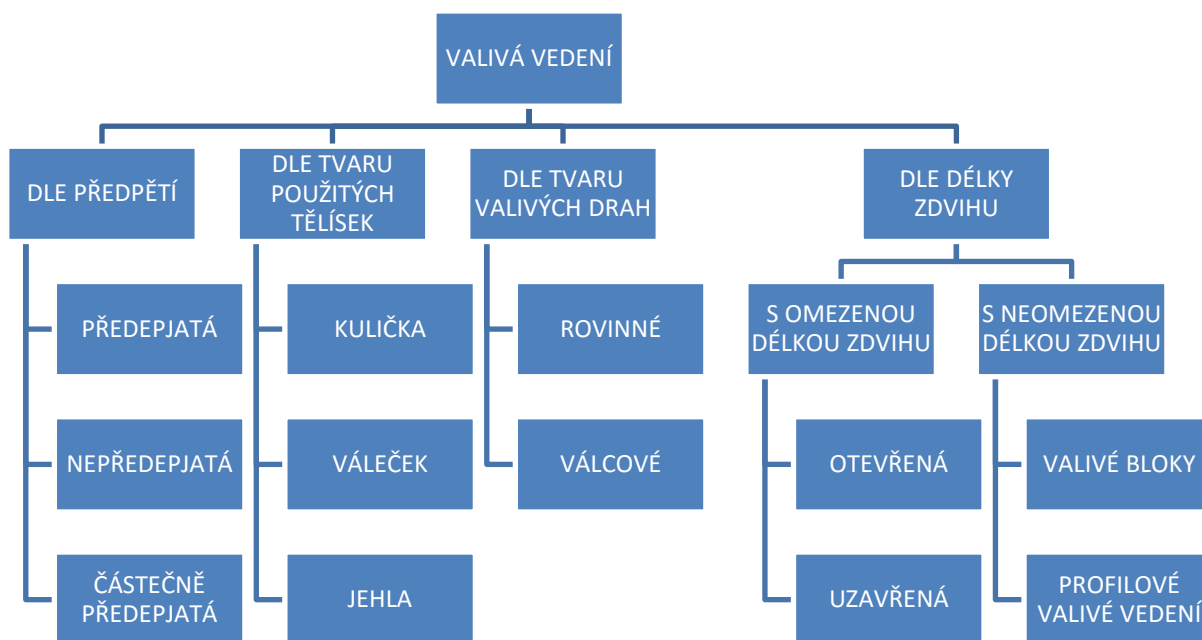
- vysoká tuhost
- minimální opotřebení
- dlouhá životnost
- možnost vymezení vůle a předeptnutí
- vysoká přesnost pohybu i při malých rychlostech
- celkově menší součinitel tření
- menší rozdíl, mezi součinitelem tření za klidu a za pohybu
- levný provoz a snadná údržba

Valivé vedení má i své nevýhody [3]:

- vysoká náročnost na přesnost výroby
- vyšší cena
- větší rozměry než vedení kluzná
- menší schopnost útlumu chvění
- nutnost dokonalé ochrany proti vnikání nečistot

## 3.2 Druhy valivých vedení

Valivá vedení lze rozdělit podle několika kritérií – obr 3.1.

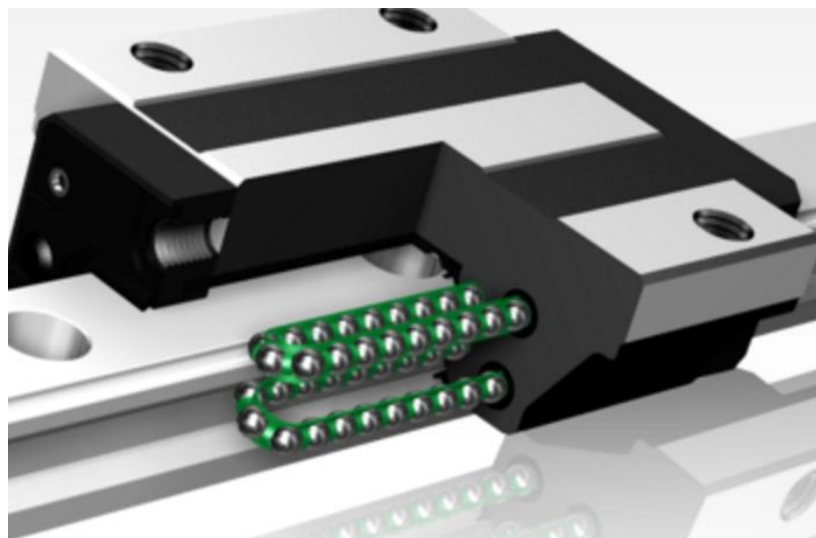


Obr. 3.1 Druhy valivých vedení [3]

### 3.2.1 Dle tvaru použitých tělísek

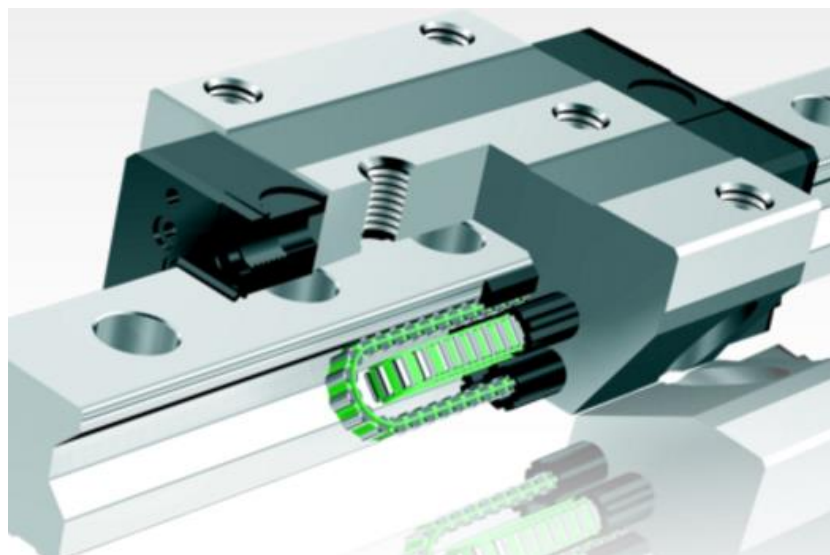
Vedení je založeno na obíhání elementů uvnitř vozíku. Elementy mohou být kuličky, válečky, jehly.

**Kuličkové vedení** (obr. 3.2): jsou vhodnější pro rychloběžné operace. Mají menší únosnost, vedení se obvykle obkládá kalenými lištami, aby nám nedocházelo k v máčknutí kuličky do vedení. tzn. bodový styk. [3]



Obr. 3.2 Lineární vedení s kuličkovým řetězem HENNLICH [10]

**Válečkové vedení** (obr. 3.3): Přenese větší síly než kuličkové. Nejčastější použití je v nepředepjatém jednostranném prizmatickém vedení. Tato vedení mají nejmenší tuhost. Proto se používá vedení se dvěma skloněnými drahami. Vedení je předepnuté horizontálně i vertikálně. Dobře se zde přenáší i klopné momenty. Vedení však vyžaduje přesnější výrobu. [3]

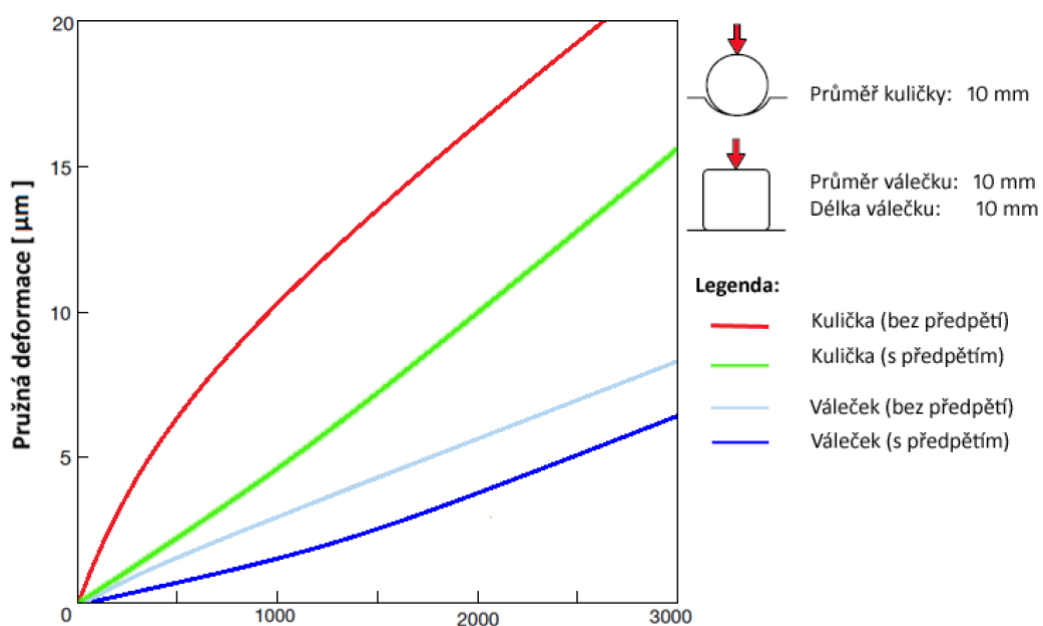


Obr. 3.3 Lineární vedení s válečkovým řetězem HENNLICH [11]



**Jehlová vedení:** Používají se obvykle na prizmatickém nebo plochém vedení.

Na *obr. 3.4* lze vidět závislost pružné deformace na zatížení tělísek kuličkového a válečkového tvaru. Je zřejmé, že válečky jsou schopny přenést větší síly než kuličky.

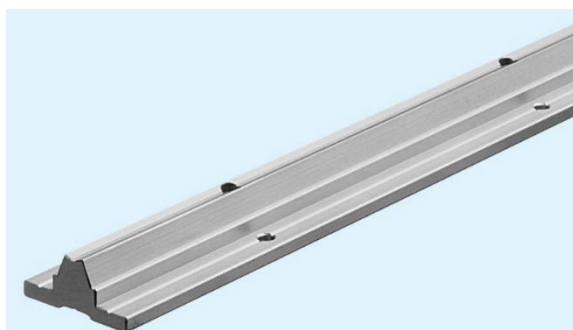


*Obr. 3.4* Závislost pružné deformace na zatížení tělísek [3]

### 3.2.2 Dle tvaru valivých drah

Dále je možné rozdělit vedení na:

- s rovinnými valivými drahami (*obr. 3.5*)
- s válcovými valivými drahami (*obr. 3.6*)



*Obr. 3.5* Příklad rovinného valivého vedení [12]

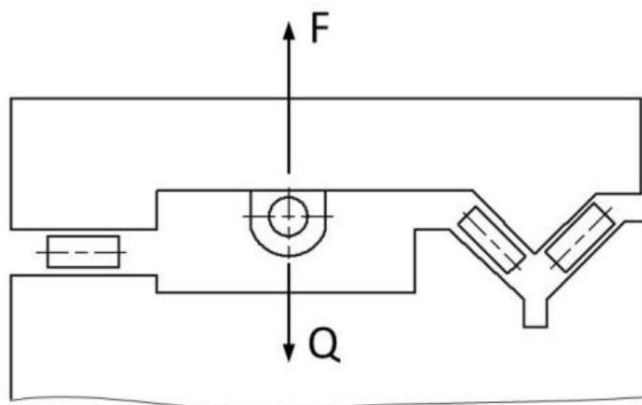


*Obr. 3.6* Příklad válcovitého valivého vedení [13]

### 3.2.3 Dle předpětí

- **Nepředepjatá valivá vedení**

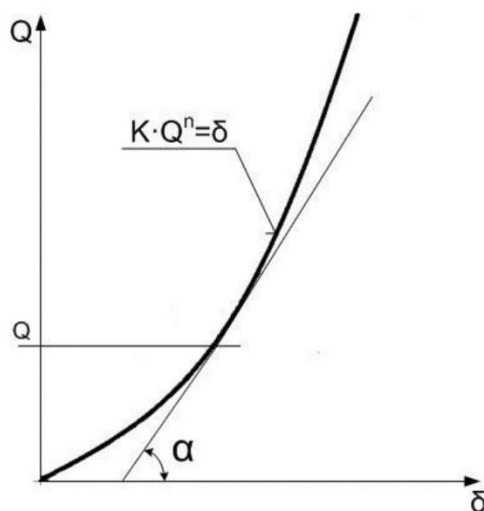
Jsou vždy otevřená a bývají uspořádána obvykle podobně jako na *obr. 3.7*.



*Obr. 3.7 Nepředepjaté valivé vedení otevřené [2]*

Tuhost elementu otevřeného valivého vedení (takový element je totožný se základním elementem valivého vedení) ve směru kolmo k valivým drahám je při zatížení jen tíhou pohyblivé části vedení dána vztahem (*obr. 3.8*):

$$k = \frac{dQ}{d\delta} = \operatorname{tg}\alpha \quad (3)$$



*Obr. 3.8 Deformační charakteristika nepředepjatého elementu [2]*

kde  $\delta$  je deformace elementu,  $K$  je deformační konstanta,  $Q$  je zatížení stykového elementu a  $n$  je exponent, závislý na tom, zda jde o váleček nebo o kuličku. [2]

Protože se v takovém případě nejčastěji jedná jen o malá zatížení, počáteční tuhost nepředejpatého vedení je nízká. [2]

### • Předepjatá valivá vedení

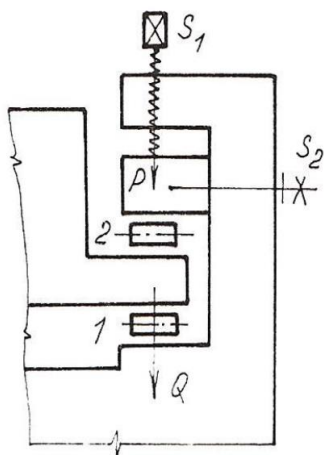
Zavedení předpětí u těchto vedení má dvojitý význam: odstranit vůle a zvýšit tuhost.

U valivých vedení je možné zvyšovat tuhost předpětím nejčastěji dvěma způsoby [2]:

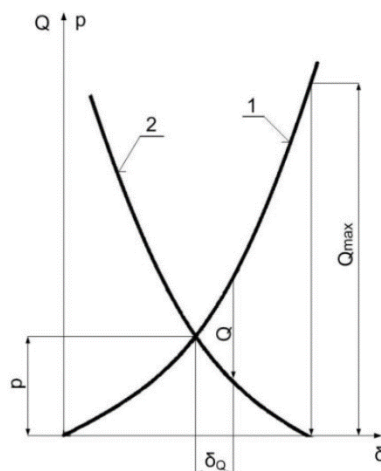
- U vedení otevřených zvyšováním počátečního zatížení.
- U vedení uzavřených počátečním přitlačením protilehlých valivých tělísek k sobě.

První způsob ilustruje *obr. 3.8*. Z této závislosti vyplývá, že čím větší bude počáteční zatížení elementu, tím se bude závislost při dalším zatěžování pohybovat po strmější části a tím bude také počáteční tuhost vyšší. [2]

Příčinu zvýšení tuhosti u druhého způsobu předpětí je zobrazen na *obr. 3.9*. Na dva základní elementy valivého vedení nad sebou je vyvozováno předpětí  $P$  pomocí šroubu  $S_1$ . Šroubem  $S_2$  je horní lišta udržována v nastavené poloze. Střední část sevřená mezi válečky je pohyblivá. [2]



*Obr. 3.9 Element předejpatého vedení [2]*



*Obr. 3.10 Charakteristika předejpatého vedení [2]*



Deformační charakteristika tohoto předepjatého elementu se skládá ze dvou charakteristik základních elementů, které se protínají v bodě předpětí (obr. 3.10), kde  $\delta Q$  je deformace způsobená zatížením  $Q$ ,  $p$  je předpětí. Zatížením střední části dochází ke zvyšování zatížení valivého tělíska 2, takže nastává vlastně sečítání charakteristik ve směru osy  $Q$ . Z toho plyne, že jestliže v bodě předpětí (charakteristiky) tělísko 1 má tuhost  $k_1$  a tělísko 2 tuhost  $k_2$ , tuhost elementů uzavřeného předepjatého vedení  $k_p$  bude [2]:

$$k_p = k_1 + k_2 . \quad (4)$$

Pokud se zvolí jeden systém (druh) valivých tělísek v obou drahách ( $k_1 = k_2 = k$ ), pak tuhost uzavřeného vedení je  $k_p = 2k$ . Zatížit takový předepjatý element můžeme pouze do hodnoty  $Q_{\max}$ . Při této hodnotě zatížení dojde k odlehčení elementu 2 a dále by byl zatěžován pouze element 1. Tuhost vedení by poklesla asi na polovinu, a byla by dále rovna tuhosti elementu 1. [2]

Předepjatá valivá vedení jsou složitější a přesnější, proto se užívají u vysoce přesných strojů.

- **Částečně předepjatá valivá vedení**

U těchto vedení je předpětí provedeno pouze v jednom směru. Vedení je například předepnuto pouze ve vodorovné rovině. Tento případ se může vyskytovat jen u vedení otevřených. [2]

### 3.2.4 Dle délky zdvihu

- **Vedení valivá s omezenou délkou zdvihu**

Tato vedení se dále dělí na:

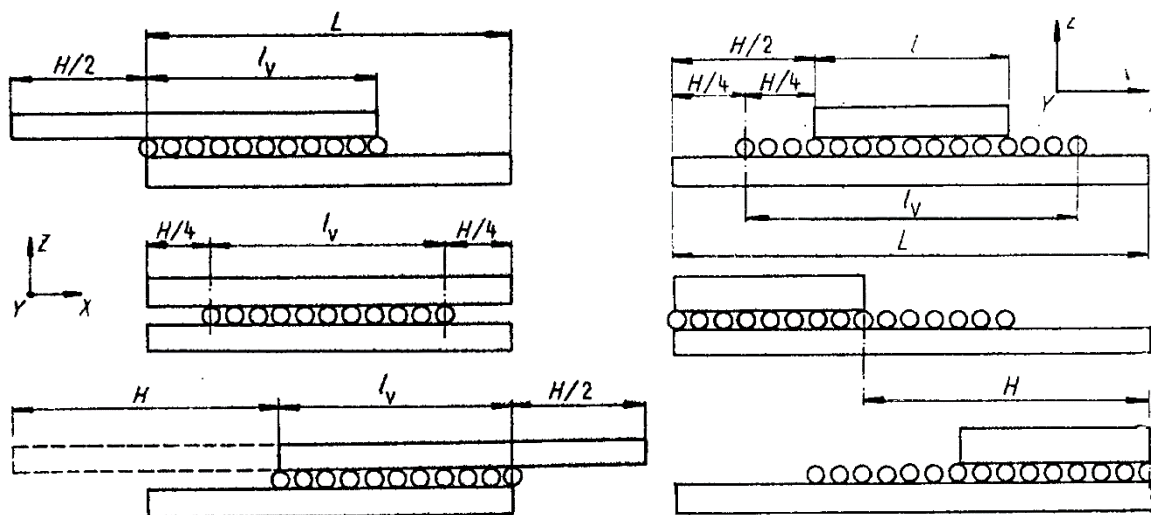
- vedení pro malé zdvihy, vedení pro velké zdvihy
- vedení otevřená, uzavřená

**Pro malé zdvihy:** Mají valivé dráhy pohyblivé i nepohyblivé části stejnou délku. Schéma tohoto typu vedení je na *obr. 3.11*. Jestliže je zde délka valivých drah  $L$  a je třeba dosáhnout zdvihu  $H$ , klec s valivými tělísy pak bude mít délku  $L_v$  [2]:

$$L_v = L - \frac{H}{2} \quad (5)$$

**Pro velké zdvihy:** Vhodnější je uspořádat podle *obr. 3.12*, u kterého se poloha stykové oblasti valivých tělísek s pohyblivou částí mění. Máme-li zde délku pohyblivé části a potřebujeme-li realizovat zdvih  $H$ , je třeba, aby pevná část vedení byla dlouhá (stejně jako u kluzných vedení) [2]:

$$L = l + H \quad (6)$$



*Obr. 3.11* Valivé vedení pro malé zdvihy [2]    *Obr. 3.12* Valivé vedení pro velké zdvihy [2]

a délky řady valivých tělísek bude [2]:

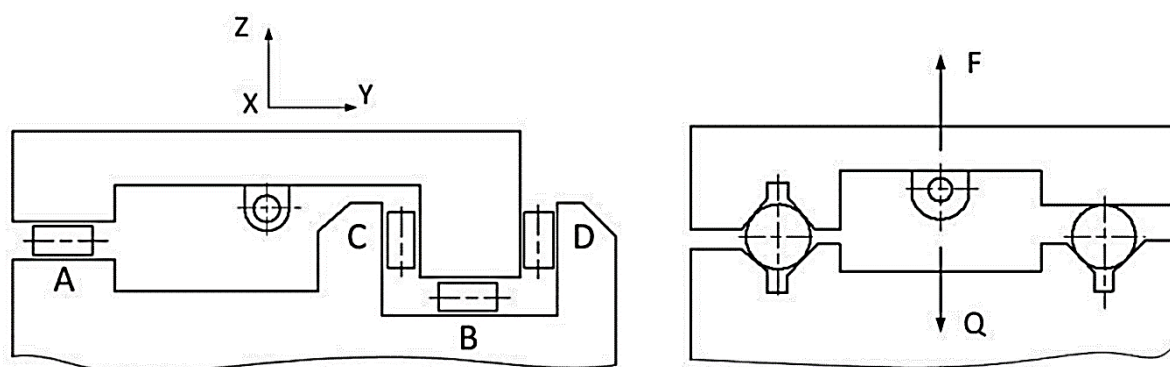
$$L_v = L + \frac{H}{2} \quad (7)$$

Tato vedení v předepnutém provedení mohou v rovině XZ přenášet velké klopné momenty. Jistou nevýhodou zde však je, že při vybíhání a vbíhání valivých tělísek z mezery a do mezery mezi valivými drahami může docházet k malým pohybům

pohyblivé části ve směru osy  $Z$ , což má za následek menší klidnost a přesnost chodu. Tento jev se však vhodnou konstrukcí a uspořádáním tělísek v kleci dá velmi zmírnit. [2]

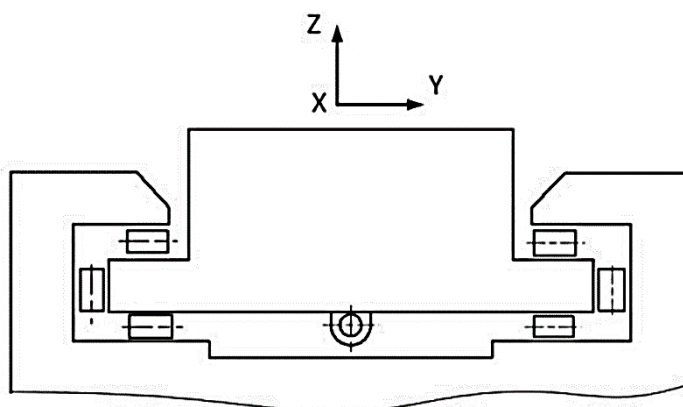
U těchto vedení se většinou používá otevřeného vedení nepředepjatého, proto jsou tato vedení levnější, ale mají horší přesnost.

**Otevřená vedení:** Vedení zachycují většinou pouze axiální zatížení. Mohou zachycovat silové a momentové účinky. V drahách A a B (obr. 3.13) dochází ke stlačení všech nebo části valivých tělísek. Ve vedení opět nemá docházet k úplnému odlehčení žádného z tělísek. Zatížení, které svou velikostí překoná tíhové zatížení od hmotnosti pohyblivé části vedení (ve směru osy  $Z$ ), není možné zachytit. Pro takové zatížení je vedení otevřené. Tato vedení nemohou přenášet větší klopné momenty v rovinách  $XZ$  a  $YZ$ . Jestli-že nedojde k překročení meze únosnosti valivých tělísek (dráhy C a D) může takové vedení přenášet libovolná zatížení silová i momentová (rovina  $XY$ ). [2]



Obr. 3.13 Valivé vedení otevřené [2]

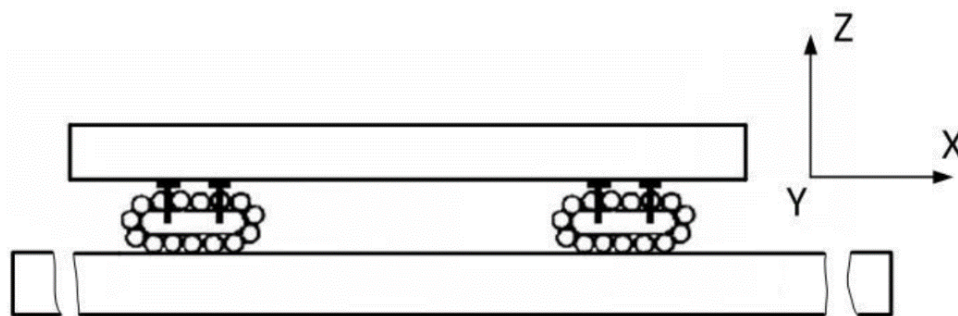
**Uzavřené vedení:** Druhým způsobem konstrukce, je uzavřené vedení (obr. 3.14). Nedojde-li u tohoto typu k překročení únosnosti valivých tělísek, je toto vedení schopno přenést libovolné vnější zatížení. U vedení otevřených i uzavřených je zatížení působící ve směru osy  $X$  přenášeno prostřednictvím posuvového mechanismu. [2]



Obr. 3.14 Valivé vedení uzavřené [2]

- **Vedení valivá s neomezenou délkou zdvihu**

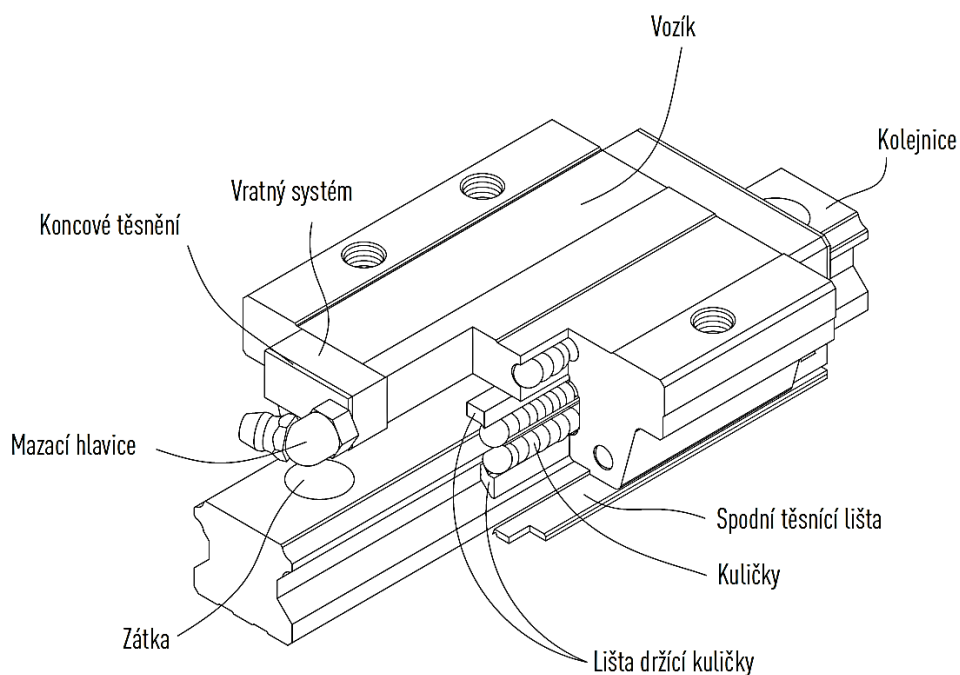
Tato vedení se u obráběcích strojů používají, jestli-že je potřeba dosahovat mimořádně velkých zdvihů. Toho je docíleno cirkulací valivých elementů (obr. 3.15). Cirkulace tělísek probíhá po vytvořených drahách v tělese recirkulační jednotky, někdy nazývané valivé hnízdo nebo blok. Mohou být nepředepjatá nebo předepjatá. U vysoce přesných strojů se používají předepjatá vedení. [2]



Obr. 3.15 Princip vedení s neomezeným zdvihem [2]

### 3.3 Konstrukce

Celková konstrukce (*obr. 3.16*) vedení se obvykle skládá z vozíku, kolejnice a vodících elementů (kuličky, válečky, jehly). Pro bezporuchový chod je důležité mazání (*viz následující kapitola 4.4*), tedy nezbytnou součástí je mazací hlavice. Následují doplňující prvky vedení, těsnění, zátka, lišta držící vodící elementy.



*Obr. 3.16 Konstrukce lineárního vedení od výrobce značky HIWIN - Typ HG [14]*





### 3.4 Mazání

Pro správnou a spolehlivou funkci vedení je zapotřebí věnovat patřičný důraz na návrh zařízení pro mazání funkčních ploch mechanismů vedení a pro mazání řezného procesu. Tato zařízení zabezpečují cirkulaci hmoty (maziva a řezné kapaliny) uvnitř technologického pracoviště. [4]

K nejdůležitějším funkcím maziv patří [4]:

- minimalizace tření
- tlumení rázů
- antikoroziční ochrana
- odvod tepla
- odvod sedřených částic

Dále musí maziva mít tyto vlastnosti [4]:

- odolnost proti prachu
- malé vnitřní tření
- žádný obsah vody a kyselin
- žádný obsah pevných částic
- nepatrné změny viskozity
- vysoká teplota vzplanutí
- nízká teplota tekutosti
- odolnost proti stárnutí

#### 3.4.1 Druhy maziv

Nejvíce používanými druhy maziv jsou tekutá maziva a mazací tuky. Jako tekutá maziva se většinou používají minerální nebo syntetické oleje. [4]

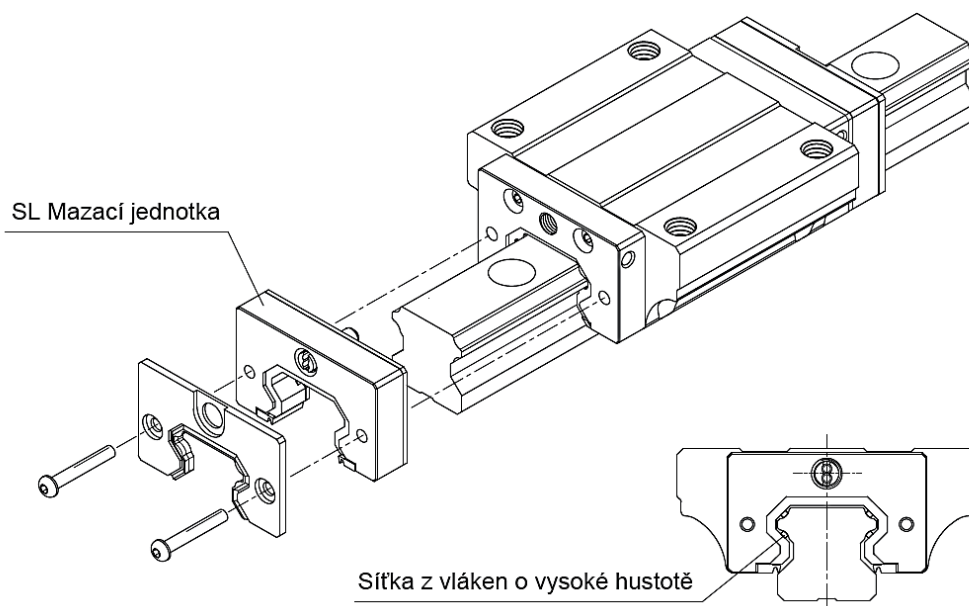
**Minerální oleje**, které se získávají z ropy, se skládají z uhlovodíků, které mají podle délky uhlíkového řetězce vyšší nebo nižší viskozitu. Do minerálních olejů se přidávají aditiva (přísady), které stabilizují viskozitu ve velkém rozsahu teplot a mimoto

zlepšují i odolnost proti tlaku a proti stárnutí. Tyto oleje jsou podle druhu použitelné při teplotách mezi  $-20^{\circ}\text{C}$  až  $100^{\circ}\text{C}$ . [4]

**Syntetické oleje** mají mnohem příznivější teplotní stabilitu viskozity a větší odolnost proti stárnutí než minerální oleje. Jejich nevýhodou je vyšší cena. Mazací tuky jsou tvořeny minerálními nebo syntetickými oleji, zahuštěnými do pastovitého stavu baryovým, sodným nebo lithiovým mýdlem. [2]

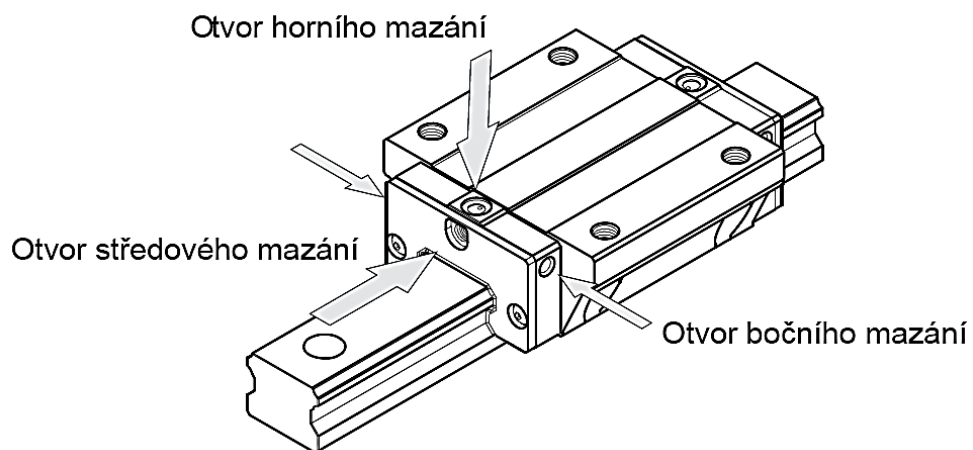
### 3.4.2 Mazací systém od výrobce značky PMI

PMI SL mazací jednotka (*obr. 3.17*) je konstruována s olejovým zásobníkem, který je vybaven sítkou z vláken o vysoké hustotě. Přes síťku se mazivo může plynule dávkovat na povrch oběhových drážek, čímž dochází k uspokojivému požadovanému mazání. [6]

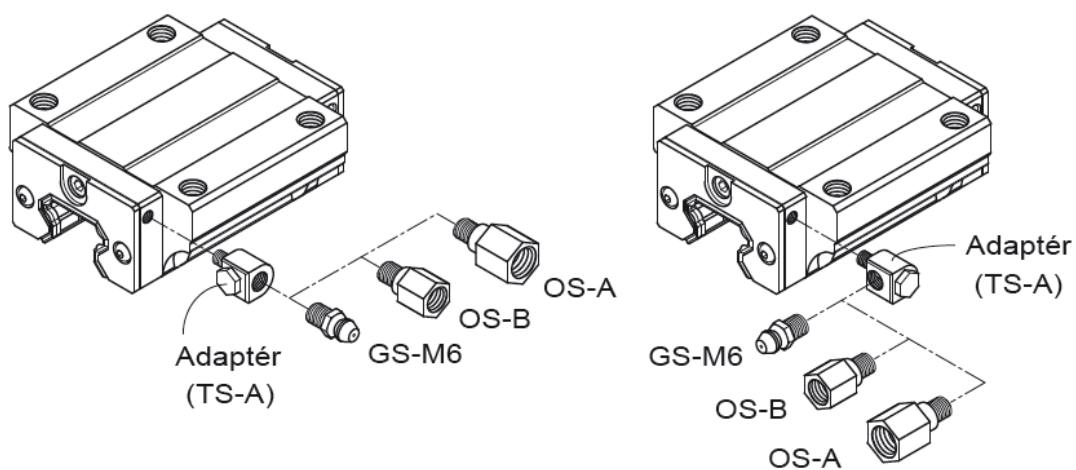


*Obr. 3.17 Mazací systém od výrobce značky PMI [15]*

Standardní montážní umístění mazacího systému je ve středu od obou konců (obr. 3.18). Při boční aplikaci se dosahuje připojení mazacího vybavení k otvoru na vozíku použitím adaptéru (obr. 3.19). [6]



Obr. 3.18 Umístění mazání od výrobce značky PMI [15]



Obr. 3.19 Boční mazání od výrobce značky PMI [15]



### 3.5 Seznam výrobců

1. SCHNEEBERGER – vyrábí přímočará valivá vedení, profilové vedení, odměřovací systémy AMS
2. HENNLICH - čerpací technika, těsnění, lineární vedení, motory, pohony, hydraulika, pneumatika
3. INA - vyrábí valivá vedení s válečky se zaoblenými konci, kuličková vedení, vlastní tlumiče, odměřování
4. HIWIN – kuličkové, válečkové vedení, miniaturní vedení, vedení s odměřováním
5. THK – vyrábí především kuličková vedení
6. BOSCH – REXROTH (STAR) – kuličková vedení s O geometrií
7. NSK – ložiska, lineární vedení
8. CPC – kuličková vedení
9. SKF
10. IKO
11. PMI
12. NTN
13. CHTR
14. ACCUMAX – produkuje válečková vedení s nepatrně zakřivenými drahami

a další ...



## 4 Metodika měření

V této oblasti bych rád objasnil celou metodiku měření.

### 4.1 Návrh metodiky

Při návrhu metodiky měření jsem postupoval prověřeným způsobem, který už byl na Ústavu výrobních strojů a zařízení realizován. Základní bod pro uskutečnění měření je místo měření, připadly dvě místnosti, laboratoř hydrauliky a dílny. Ačkoliv se zdálo, že ideální místo pro měření bude místnost hydrauliky, kvůli kvalitnějšímu základu pro měření, byly vybrány dílny, tedy celé měření proběhlo na frézce FINESA FNK 25, protože by výroba celé konstrukce pro měření byla časově a cenově náročná.




Princip měření spočívá v otláčování vozíků a vyhodnocování deformace. Otláčování je možné pomocí rozpěracího prvku (*obr. 5.4*) nebo pomocí hydraulického válce. Deformaci je možné vyhodnotit pomocí dotykových digitálních úchylkoměrů, přes měřicí ústřednu nebo staršími číselníkovými úchylkoměry. Celé měření je důkladně popsáno v kapitole 5.

### 4.2 Postup měření

Celkový postup měření spočívá v uložení základové desky na dostatečně tuhý povrch, na desku se umístí kolejnice s vozíkem a předem určeným zatěžovadlem se vyvíjí síla ve zvoleném směru, která působí deformaci. Deformace je odečtena pomocí úchylkoměrů.

## 5 Provedení měření

Experimentální ověřování bylo provedeno na třech vozících výrobců značky HIWIN, CPC, CHTR řady 20 (tab. 5.1). Všechny tři vozíky byly zatěžovány za stejných podmínek, tedy statickou silou (pouze tlak) v horizontálním směru (obr. 5.1).

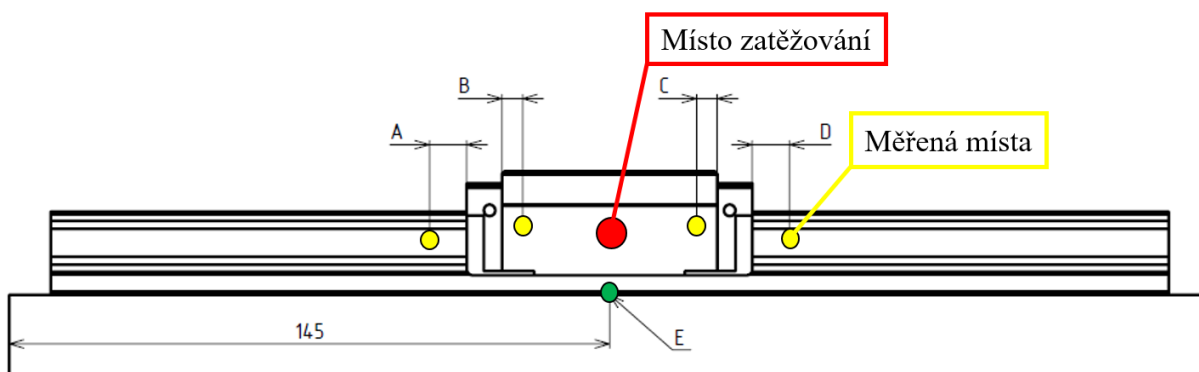
VÝROBCE	TYP: ŘADA 20	CENA VČETNĚ KOLEJNIC (21cm) [Kč]
	HGW20CA	1585
	ARC20MN	1021
	TRH20AC	480

Tab. 5.1 Cenové porovnání vozíků [14], [16], [17]

Z tab. 5.1 je patrné, že mezi vozíky je cenová rozmanitost. Nejdražší vozík od HIWIN, dále CPC a následně od Čínského výrobce CHTR.

## 5.1 Vlastní měření

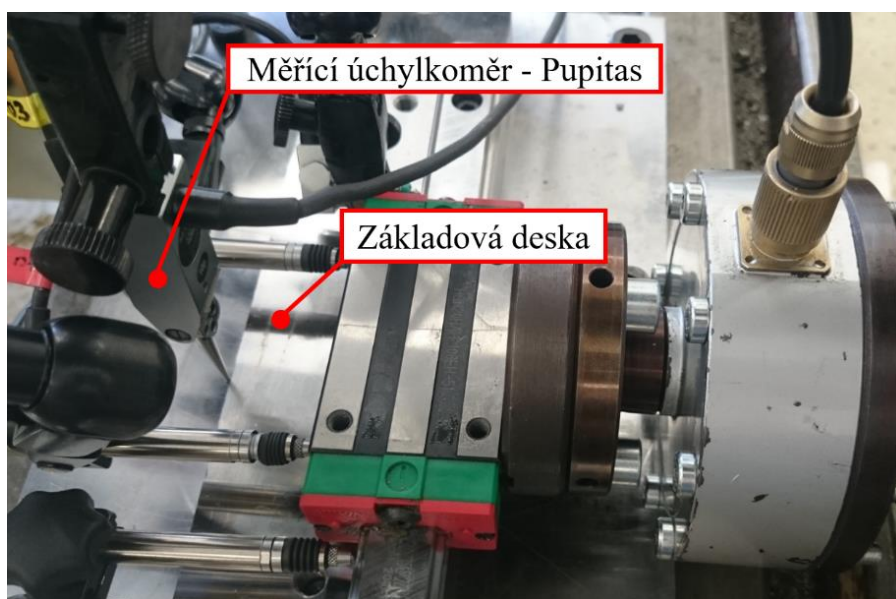
Žluté kroužky na *obr. 5.1* označují místa měřených deformací dotykovými úchylkoměry. Měření probíhala v sadách vždy po čtyřech místech (hnízdo se měnilo i s kolejnicí). Místo působící síly označeno červeným kroužkem, označuje též počátek souřadného systému procházející osami kolejnice. Zelený kroužek E (*obr. 5.1*) znázorňuje páčkový úchylkoměr – Pupitas, který byl umístěn na základové desce (*obr. 5.2*). V *tab. 5.2* jsou přibližné vzdálenosti umístění jednotlivých úchylkoměrů (svislé vzdálenosti nejsou zaznačeny, protože umístění úchylkoměrů bylo v rovině souřadného systému).



*Obr. 5.1 Horizontální směr zatěžování sestavy s vozíkem*

	A [mm]	B [mm]	C [mm]	D [mm]
HIWIN	5	18	18	5
CPC	12	18	18	12
CHTR	7	15	15	7

*Tab. 5.2 Souřadnice měřených míst*



Obr. 5.2 Umístění měřícího úchylkoměru - Pupitas

### 5.1.1 Použitá měřidla

Popis použitých měřidel v tab. 5.3.

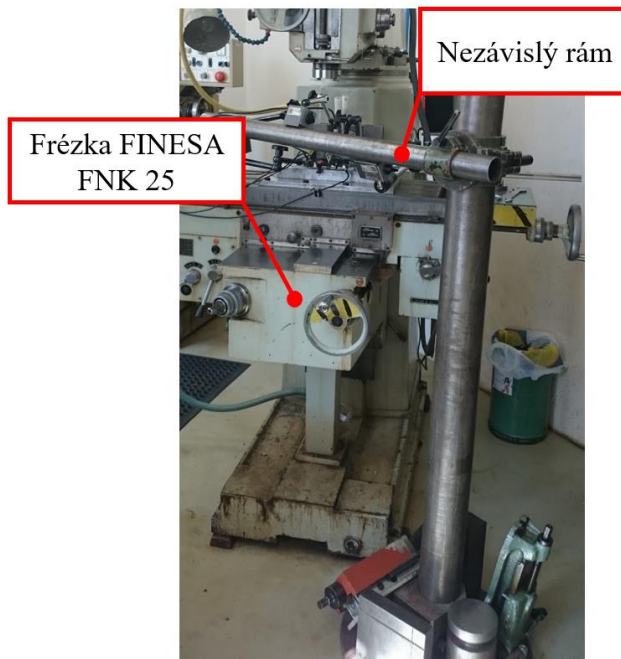
Název	Výrobce	Typ	Kanál	Výrobní číslo
Univerzální měřicí ústředna	Dewetron	DEWE 3010	-	1599110
Síloměr	Lukas	S-35	-	17510
Dotykový úchylkoměr T1	TESA	032.10924	04	9H597
Dotykový úchylkoměr T3	TESA	032.10924	03	9H147
Dotykový úchylkoměr T4	TESA	032.10924	05	9H660
Dotykový úchylkoměr T6	TESA	032.30017	02	9L90
Dotykový úchylkoměr T9	TESA	032.10802	06	8X7

Tab. 5.3 Použitá měřidla

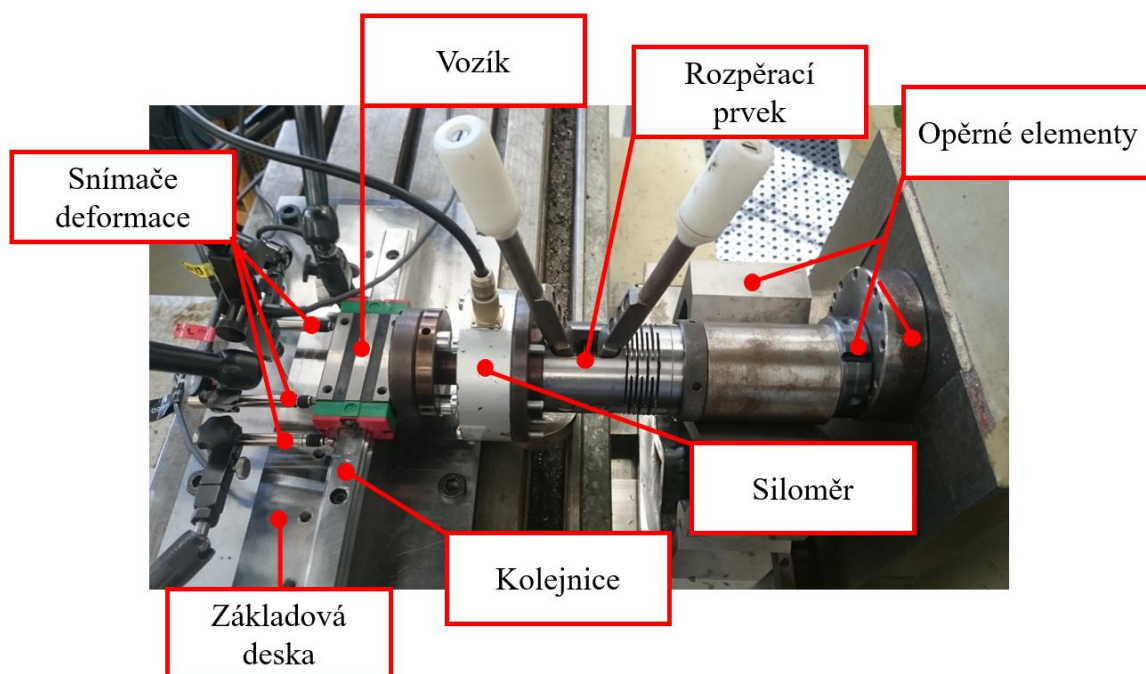


### 5.1.2 Důležitá data o měřicím zařízení (obr. 5.4)

Celé měření bylo provedeno na frézce FINESA FNK 25 (obr. 5.3). Pomocí opěrných elementů byl upevněn rozpěrací prvek, kterým se vynaložila síla přes siloměr (zatěžování proběhlo 5x) na vozík s kolejnici upevněný k základové desce na frézce. Dotykové snímače upevněny na nezávislém rámu (absolutní měření, nikoliv relativní) (obr. 5.3) odečetli jednotlivé výchylky důsledkem vynaloženého zatěžování.



Obr. 5.3 Frézka a nezávislý rám



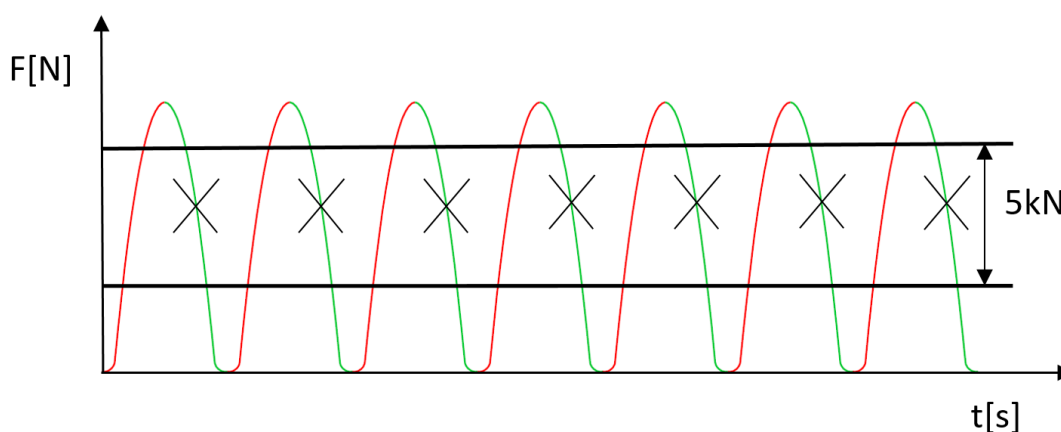
Obr. 5.4 Soustava umístěná na frézce

## 5.2 Vyhodnocení měření

Výsledky experimentu zaznamenala univerzální měřicí ústředna DEWETRON (obr. 5.5). Jak už bylo řečeno v předchozích kapitolách, zatěžování proběhlo 5x (pouze tlak) na třech vozících. Výstupem měření bylo 15 grafů se kterými se dále pracovalo (obr. 5.6 – slouží pouze jako demonstrační). Na obr. 5.6 je zobrazen graf závislosti síly  $F$  na čase  $t$ , kde byla vymezena nejlineárnější oblast (5kN). Úběžná část, označena zelenou barvou, která vznikla povolováním rozpěracího prvku byla zanedbána (nelinearita).

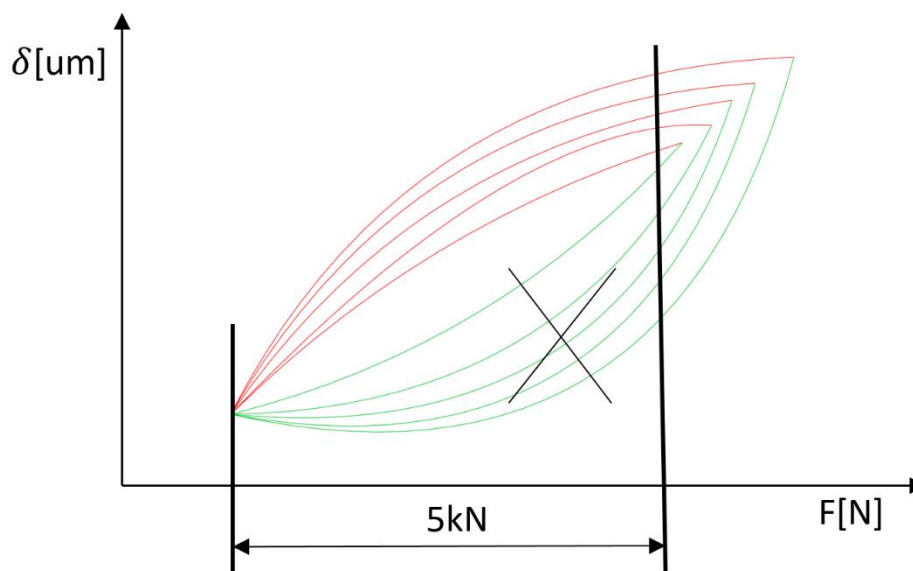


Obr. 5.5 Univerzální měřicí ústředna DEWETRON



Obr. 5.6 Demonstrační graf - závislost síly na čase

Obr. 5.7 popisuje graf (pouze demonstrační), který se už podobá konečným grafům z měření (viz. příloha č. 6, 7, 8), kde je zobrazena závislost síly  $F$  na deformaci  $\delta$ . Ze získaných grafů se určila poddajnost a následně byla odečtena poddajnost stolu frézky naměřená přes úchylkoměr – Pupitas (obr. 5.3), který byl umístěn k základové desce.



Obr. 5.7 Demonstrační graf - závislost síly na deformaci

V neposlední řadě proběhlo určení tuhosti jednotlivých vozíků. Naměřená a vypočtená data a nejistoty viz. příloha č. 4, 5. Celkové shrnuté výsledky jsou zaznamenány v tab. 5.4.

VÝROBCE	PODDAJNOST [um/5000N]	TUHOST [N/um]	NEJISTOTA MĚŘENÍ [N/um]	CENA [Kč]
HIWIN	221,3	23	0,2	1585
CPC	319,5	16	0,3	1021
CHTR	385,1	13	0,2	480

Tab. 5.4 Celkové výsledky



## 6 Závěr

V této práci jsem se zabýval různými druhy lineárního vedení používaných na obráběcích strojích. Lze tvrdit, že vedení je jednou ze základních částí stroje, která ovlivňuje výslednou jakost práce. Pozornost byla věnována především lineárním valivým vedením, které vykazují nejvyšší přesnosti ze všech používaných druhů vedení (tuhost, nosnost).

Hlavním cílem této bakalářské práce bylo experimentálně ověřit statické vlastnosti na skutečném valivém vedení. Pro vedení je především základní parametr tuhost, která byla určena pomocí poddajnosti vyhodnocené z deformace a zatěžující síly na reálném vedení od výrobců značky HIWIN, CPC a CHTR. *Tab. 6.1* ukazuje celkově vyhodnocené výsledky, je zřejmé, že tuhost má opravdu vliv na cenu. Dle tabulky můžeme tedy tvrdit, čím vyšší tuhost, tím vyšší cena.

VÝROBCE	PODDAJNOST [um/5000N]	TUHOST [N/um]	NEJISTOTA MĚŘENÍ [N/um]	CENA [Kč]
HIWIN	<b>221,3</b>	<b>23</b>	0,2	<b>1585</b>
CPC	<b>319,5</b>	<b>16</b>	0,3	<b>1021</b>
CHTR	<b>385,1</b>	<b>13</b>	0,2	<b>480</b>

*Tab. 6.1 Celkové výsledky*

Dle vypracovaného seznamu výrobců bylo snahou porovnat katalogové hodnoty tuhostí dalších výrobců s naměřenými, avšak bohužel tento parametr je těžko dohledatelný a nepodařilo se mi dohledat příslušné hodnoty, ale pokud bychom se více zaměřili na *tab. 6.1* a porovnali rozmezí tuhosti mezi jednotlivými výrobci, lze říci, že rozmezí tuhosti mezi CHTR a CPC je 3 N/um a rozmezí mezi CPC a HIWIN je 7 N/um, cenové rozmezí se pohybuje kolem 500 Kč, z čehož lze usoudit, že HIWIN je cenově nadhodnocený, pokud porovnááme tuhost a cenu. Dále se můžeme zaměřit na ochranu



proti prachu a mazání, pokud se jedná o HIWIN, dá se tvrdit, že jeho řešení těchto dvou oblastí je nejkvalitnější v porovnání s dalšími dvěma výrobci.

Nejistota měření nepřekračuje hodnotu jednoho procenta, což se dá považovat za úspěšné měření.



## 7 Seznamy

### 7.1 Seznam obrázků

<i>Obr. 3.1 Rozdělení podle druhu vedení [1] .....</i>	<i>10</i>
<i>Obr. 3.2 Příklad přímočarého vedení od firmy HENNLICH - typ JR [8] .....</i>	<i>10</i>
<i>Obr. 3.3 Příklad kruhového vedení od firmy HENNLICH - typ HCR [9] .....</i>	<i>11</i>
<i>Obr. 3.4 Hydrostatické vedení - Weck2000 [2] .....</i>	<i>12</i>
<i>Obr. 3.5 Paralelní uspořádání pružin .....</i>	<i>16</i>
<i>Obr. 3.6 Sériové uspořádání pružin.....</i>	<i>16</i>
<i>Obr. 3.7 Druhy statické tuhosti [3].....</i>	<i>17</i>
<i>Obr. 3.8 Příklad sériového uspořádání [3] .....</i>	<i>18</i>
<i>Obr. 4.1 Druhy valivých vedení .....</i>	<i>24</i>
<i>Obr. 4.2 Lineární vedení s kuličkovým řetězem HENNLICH [10] .....</i>	<i>25</i>
<i>Obr. 4.3 Lineární vedení s válečkovým řetězem HENNLICH [11] .....</i>	<i>25</i>
<i>Obr. 4.4 Závislost pružné deformace na zatížení tělísek [3] .....</i>	<i>26</i>
<i>Obr. 4.5 Příklad rovinného valivého vedení [12].....</i>	<i>26</i>
<i>Obr. 4.6 Příklad válcovitého valivého vedení [13] .....</i>	<i>26</i>
<i>Obr. 4.7 Nepředepjaté valivé vedení otevřené [2].....</i>	<i>27</i>
<i>Obr. 4.8 Deformační charakteristika nepředepjatého elementu [2] .....</i>	<i>27</i>
<i>Obr. 4.9 Element předepjatého vedení [2] .....</i>	<i>28</i>
<i>Obr. 4.10 Charakteristika předepjatého vedení [2] .....</i>	<i>28</i>
<i>Obr. 4.11 Valivé vedení pro malé zdvihy [2].....</i>	<i>30</i>
<i>Obr. 4.12 Valivé vedení pro velké zdvihy [2] .....</i>	<i>30</i>
<i>Obr. 4.13 Valivé vedení otevřené [2] .....</i>	<i>31</i>
<i>Obr. 4.14 Valivé vedení uzavřené [2] .....</i>	<i>32</i>
<i>Obr. 4.15 Princip vedení s neomezeným zdvihem [2] .....</i>	<i>32</i>
<i>Obr. 4.16 Konstrukce lineárního vedení od výrobce značky HIWIN - Typ HG [14] .....</i>	<i>33</i>
<i>Obr. 4.17 Mazací systém od výrobce značky PMI [15].....</i>	<i>35</i>
<i>Obr. 4.18 Umístění mazání od výrobce značky PMI [15] .....</i>	<i>36</i>
<i>Obr. 4.19 Boční mazání od výrobce značky PMI [15] .....</i>	<i>36</i>
<i>Obr. 5.1 Horizontální směr zatěžování sestavy s vozíkem .....</i>	<i>40</i>



<i>Obr. 5.2 Umístění měřicího úchylkoměru - Pupitas .....</i>	<i>41</i>
<i>Obr. 5.3 Frézka a nezávislý rám.....</i>	<i>42</i>
<i>Obr. 5.4 Soustava umístěná na frézce.....</i>	<i>42</i>
<i>Obr. 5.5 Univerzální měřicí ústředna DEWETRON.....</i>	<i>43</i>
<i>Obr. 5.6 Demonstrační graf - závislost síly na čase.....</i>	<i>43</i>
<i>Obr. 5.7 Demonstrační graf - závislost síly na deformaci.....</i>	<i>44</i>

## **7.2 Seznam tabulek**

<i>Tab. 5.1 Cenové porovnání vozíků [14], [16], [17] .....</i>	<i>39</i>
<i>Tab. 5.2 Souřadnice měřených míst.....</i>	<i>40</i>
<i>Tab. 5.3 Použitá měřidla.....</i>	<i>41</i>
<i>Tab. 5.4 Celkové výsledky.....</i>	<i>44</i>
<i>Tab. 6.1 Celkové výsledky.....</i>	<i>45</i>

## **7.3 Seznam použitého software**

Microsoft Word 2013

PowerPoint 2013

SolidWorks 2016

## **7.4 Seznam příloh**

Příloha č. 1 – tabulka HIWIN

Příloha č. 2 – tabulka CPC

Příloha č. 3 – tabulka CHTR

Příloha č. 4 – naměřená a vypočtená data + nejistota typu A

Příloha č. 5 – celkové nejistoty

Příloha č. 6 – grafy - HIWIN

Příloha č. 7 – grafy - CPC

Příloha č. 8 – grafy – CHTR





## 7.5 Literatura

- [1] P\u00ed\u010d, J., Bren\u00edk, P.: *Obr\u00e1b\u00e9c\u00ed stroje – Z\u00e1klady konstrukce a v\u00fdpo\u010dt\u00fa*, SNTL/ALFA 1970
- [2] HOU\u0160A, Jarom\u00edr. *Konstrukce \u010d\u00edsl\u00edcov\u011b \u0159\u00edzen\u00fdch obr\u00e1b\u00e9c\u00edch stroj\u00fa*. první. Praha: SNTL - Nakladatelstv\u00ed technick\u00e9 literatury, n.p, 1985. 288 s. 04-229-85.
- [3] MAREK, Ji\u0159\u00ed a Petr BLECHA. *Konstrukce CNC obr\u00e1b\u00e9c\u00edch stroj\u00fa*. Vyd. 2., p\u0159eprac. a roz\u0161. Praha: MM publishing, 2010. MM speci\u00e1l. ISBN 9788025479803.
- [4] DILLINGER, Josef. *Modern\u00ed stroj\u00edrenstv\u00ed pro \u0161kolu i praxi*. Vyd. 1. Praha: Europa-Sobot\u00e1les, 2007. ISBN 9788086706191.
- [5] KOHOUT, Zden\u011bk. *Laboratorn\u00ed cv\u00ed\u010den\u00ed z fyziky*. Praha: \u010cVUT, 2002. ISBN 8001024725.
- [6] *HIWIN - Line\u00e1rn\u00ed veden\u00ed - katalog* [online]. [cit. 2016-04-13]. Dostupn\u00e9 z: [http://www.hiwin.cz/media/files/01\\_linearni\\_vedeni\\_v2.pdf](http://www.hiwin.cz/media/files/01_linearni_vedeni_v2.pdf)
- [7] *PMI - Catalog - Linear guide* [online]. [cit. 2016-04-13]. Dostupn\u00e9 z: <http://www.pmi-amt.com/en/support/download.html>
- [8] *Line\u00e1rn\u00ed veden\u00ed valiv\u00e9: Kruhov\u00e9 veden\u00ed TYP HCR* [online]. [cit. 2016-05-30]. Dostupn\u00e9 z: <https://www.hennlich.cz/produkty/linearni-vedeni-valiva-motory-a-pohony-linearni-vedeni-valive-kruhove-vedeni-1186/typ-hcr.html>
- [9] *Line\u00e1rn\u00ed veden\u00ed valiv\u00e9: Konven\u010dn\u00ed veden\u00ed* [online]. [cit. 2016-05-30]. Dostupn\u00e9 z: <https://www.hennlich.cz/produkty/linearni-vedeni-valiva-motory-a-pohony-linearni-vedeni-valive-konvencni-vedeni-635/typ-jr.html>
- [10] *Line\u00e1rn\u00ed veden\u00ed s kuli\u010dkov\u00fdm \u0159et\u011bzem* [online]. [cit. 2016-03-08]. Dostupn\u00e9 z: <https://www.hennlich.cz/produkty/linearni-vedeni-valiva-motory-a-pohony-linearni-vedeni-valive-linearni-vedeni-s-kulickovym-retezem-636/typ-shs.html>
- [11] *Veden\u00ed s v\u00e1le\u010dkov\u00fdm \u0159et\u011bzem* [online]. [cit. 2016-03-08]. Dostupn\u00e9 z: <https://www.hennlich.cz/produkty/linearni-vedeni-valiva-motory-a-pohony-linearni-vedeni-valive-vedeni-s-valeckovym-retezem-637/typ-srg.html>





- [12] *Domečky pro pouzdra, držáky* [online]. [cit. 2016-03-08]. Dostupné z:  
<http://www.uzimex.cz/Vyrobce/Nippon-bearing/Vedeni-na-valcovych-tycich/Domecky-pro-pouzdra-drzaky.html>
- [13] *Přesné tyče pro kuličková pouzdra* [online]. [cit. 2016-03-08]. Dostupné z:  
<http://www.uzimex.cz/Vyrobce/Nippon-bearing/Vedeni-na-valcovych-tycich/Presne-tyce-pro-kulickova-pouzdra.html>
- [14] *HIWIN - Lineární vedení - katalog* [online]. [cit. 2016-04-13]. Dostupné z:  
[http://www.hiwin.cz/media/files/01\\_linearni\\_vedeni\\_v2.pdf](http://www.hiwin.cz/media/files/01_linearni_vedeni_v2.pdf)
- [15] *PMI - Catalog - Linear guide* [online]. [cit. 2016-04-13]. Dostupné z:  
<http://www.pmi-amt.com/en/support/download.html>
- [16] *CPC - Catalog* [online]. [cit. 2016-06-21]. Dostupné z:  
[http://www.raveo.cz/sites/default/files/download/2014/12/ARCHRCERC%20\\_catalog.pdf](http://www.raveo.cz/sites/default/files/download/2014/12/ARCHRCERC%20_catalog.pdf)
- [17] *CHTR logo* [online]. [cit. 2016-06-21]. Dostupné z:  
[http://chtr.en.alibaba.com/product/60413562175-220812459/2015\\_Factory\\_Production\\_China\\_Linear\\_Slide\\_Block.html](http://chtr.en.alibaba.com/product/60413562175-220812459/2015_Factory_Production_China_Linear_Slide_Block.html)

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

---

FAKULTA STROJNÍ

Ústav výrobních strojů a zařízení



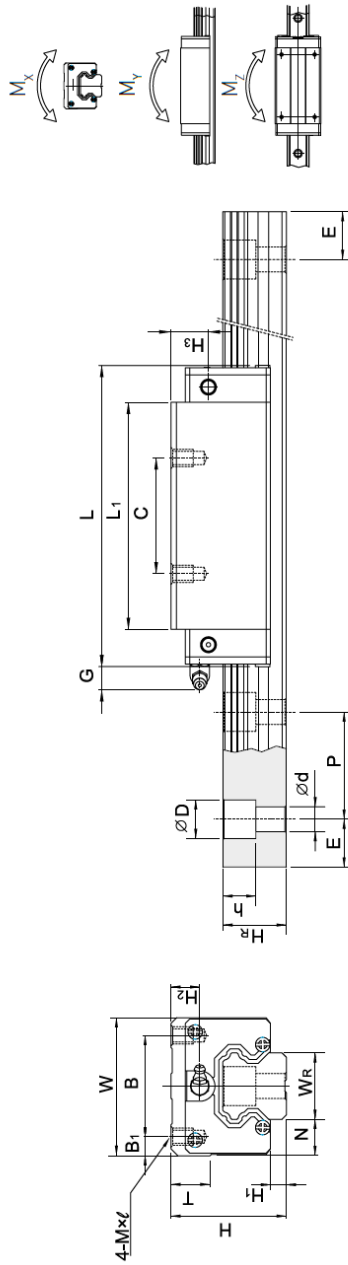
Bakalářská práce

**Experimentální ověřování statických vlastností valivého lineárního  
vedení pro obráběcí stroje**

**Přílohy**



Příloha č. 1 – tabulka HIWIN

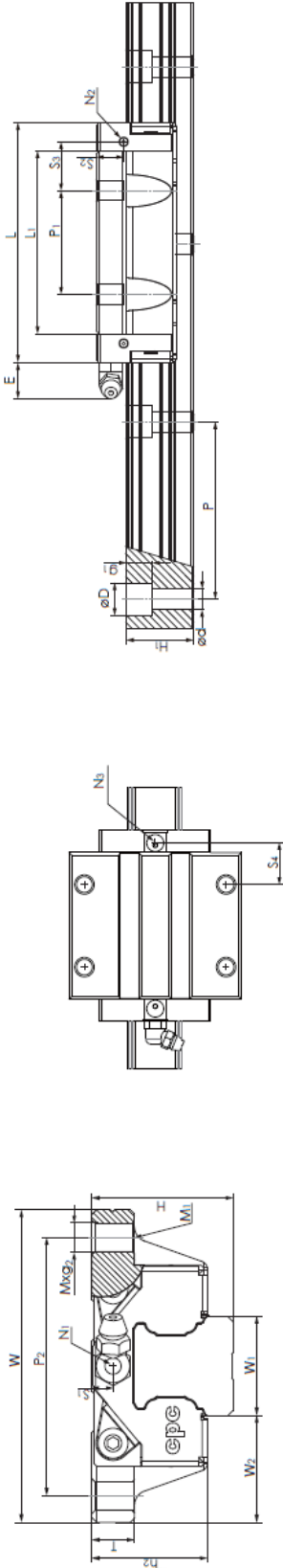


kolejnice: HGR-R

Typ	Montážní rozměry [mm]								Rozměry vozíku [mm]												Rozměry kolejnic [mm]						Šrouby pro kolejnici [mm]	Dynamická únosnost $C_d$ [N]	Statická únosnost $C_0$ [N]	Statický moment			Váha [kg]	Hmotnost [kg/m]
	H	H <sub>1</sub>	N	W	B	B <sub>1</sub>	C	L <sub>1</sub>	L	G	Mx1	T	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	W <sub>e</sub>	H <sub>e</sub>	D	h	d	P	E	M <sub>x</sub> [Nm]	M <sub>y</sub> [Nm]	M <sub>z</sub> [Nm]										
HGR15CA	28	4,3	9,5	34	26	4,0	26	39,4	61,4	5,3	M4x5	6,0	8,5	9,5	15	15,0	7,5	5,3	4,5	60	*	M4x16	11380	25310	170	150	150	150	0,18	1,45				
HGR20CA	30	4,6	12,0	44	32	6,0	50	50,5	77,5	12,0	M5x6	8,0	6,0	7,0	20	17,5	9,5	8,5	6,0	60	*	M5x16	17750	37840	380	270	270	270	0,38	2,21				
HGR20HA								50	65,2	90,3													21180	48840	480	470	470	470	0,39					
HGR25CA	40	5,5	12,5	48	35	6,5	50	58,0	83,0	12,0	M6x8	8,0	10,0	13,0	23	22,0	11,0	9,0	7,0	60	*	M6x20	26480	56190	640	510	510	510	0,67	3,21				
HGR25HA								50	78,6	103,6													32750	76000	870	880	880	880	0,69					
HGR30CA	45	6,0	16,0	60	40	10,0	60	70,0	97,4	12,0	M8x10	8,5	9,5	13,8	28	26,0	14,0	12,0	9,0	80	*	M8x25	38740	80060	1040	850	850	850	1,14	4,47				
HGR30HA								60	93,0	120,4													47270	110130	1400	1470	1470	1470	1,16					
HGR35CA	55	7,5	18,0	70	50	10,0	70	80,0	112,4	12,0	M8x12	10,2	16,0	19,6	34	29,0	14,0	12,0	9,0	80	*	M8x25	49520	102870	1730	1200	1200	1200	1,88	6,30				
HGR35HA								72	105,8	138,2													60210	136310	2290	2080	2080	2080	1,92					
HGR45CA	70	9,5	20,5	86	60	13,0	80	97,0	138,0	12,9	M10x17	16,0	18,5	30,5	45	38,0	20,0	17,0	14,0	105	*	M12x35	77570	155920	3010	2350	2350	2350	3,54	10,41				
HGR45HA								80	128,8	169,8													94540	207120	4000	4070	4070	4070	3,61					
HGR55CA	80	13,0	23,5	100	75	12,5	75	117,7	165,7	12,9	M12x18	17,5	22,0	29,0	53	44,0	23,0	20,0	16,0	120	*	M14x45	114440	227810	5640	4060	4060	4060	5,38	15,08				
HGR55HA								95	155,8	203,8													139590	301240	7490	7010	7010	7010	5,49					
HGR65CA	90	15,0	31,5	126	76	25	70	144,2	198,2	12,9	M16x20	25,0	15,0	15,0	63	53,0	24,0	22,0	18,0	150	*	M16x50	165630	324710	10020	6440	6440	6440	7,00	21,18				
HGR65HA								120	203,6	257,6													208360	457150	14150	11120	11120	11120	9,82					



Příloha č. 2 – tabulka CPC



ARC FS Series

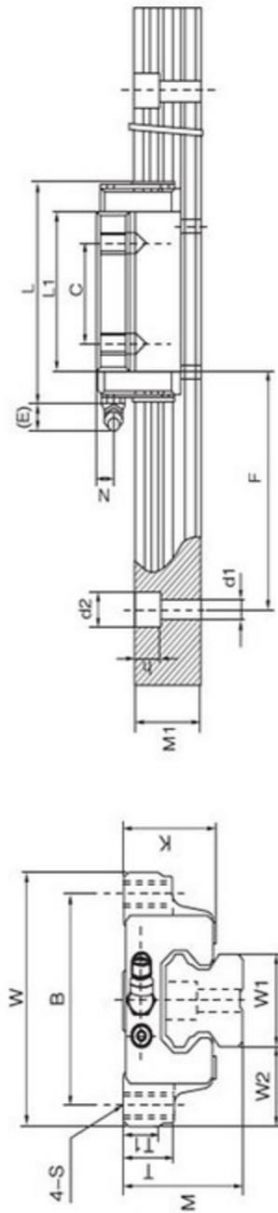
Model Code	Mounting Dimensions				Rail Dimensions (mm)							Block Dimensions (mm)						
	H	W2	W1	H1	P	DxdxG1	W	L	Li	h2	P1	P2	MxG2	M1	T	Ni		
ARC 15 FS	24	18.5	15	15	60	7.5x4.5x5.3	52	41.2	26	20.7	-	41	M5x7	M4	7	M3x6.5		
ARC 20 FS	28	19.5	20	20	60	9.5x6x8.5	59	49.2	32.2	23	-	49	M6x10	M5	10	M3x7.5		
ARC 25 FS	33	25	23	23	60	11x7x9	73	57.4	38.4	27	-	60	M8x12	M6	12	M6x7.5		
ARC 30 FS	42	31	28	27	80	14x9x12	90	68	44	35.2	-	72	M10x15	M8	15	M6x8.5		

Block Dimensions (mm)				Load Capacities (kN)			Static Moment (Nm)			Weight		Model Code		
N2	N3	E	S1	S2	S3	S4	C	Co	Mro	Mpo	Myo	Block(g)	Rail(g/m)	Model Code
M3x6	P3	3.5	4.5	7.5	15.6	16.7	7.7	12.1	100	50	50	132	1290	ARC 15 FS
M3x5.5	P4	10	4	7.4	19.1	19.8	12.5	19.3	205	100	100	210	2280	ARC 20 FS
M3x6.5	P4	12	5	9.3	22.2	23.2	18.2	27.3	350	160	160	345	3020	ARC 25 FS
M6x5	P5	12	7.5	12	27	26.8	23.3	33.1	520	230	230	750	4380	ARC 30 FS



Příloha č. 3 – tabulka CHTR

• TRH-A型 TRH-AL型



Model Code	Physical			Block						Dimension				Fittings for Lubrication		Rail			Basic Load Rating		Weight	
	Height	Width	Length	M	C	S	L1	T	T1	K	N	E	W	W2	Height	Pitch	d1xd2xd3	C	C0	Block (KG)	Rail (KG/M)	
TRH15A	24	47	61.8	38	30	M5	39.8	8.5	8.5	19.8	4.3	5.5	15	16	15	60	4.5 × 7.5 × 5.3	8.33	13.5	0.19	1.5	
<b>TRH20A</b>	<b>30</b>	<b>63</b>	<b>77.4</b>	<b>53</b>	<b>40</b>	<b>M6</b>	<b>50.8</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>25.2</b>	<b>5</b>	<b>12</b>	<b>20</b>	<b>21.5</b>	<b>18</b>	<b>60</b>	<b>6 × 9.5 × 8.5</b>	<b>13.8</b>	<b>23.8</b>	<b>0.43</b>	<b>2.3</b>	
TRH20AL	30	63	93.4	53	40	M6	66.8	10	10	25.2	5	12	20	21.5	18	60	6 × 9.5 × 8.5	21.3	31.8	0.53	2.3	
TRH25A	36	70	83.5	57	45	M8	59.5	16	12	29.3	6	12	23	23.5	22	60	7 × 11 × 9	19.9	34.4	0.64	3.3	
TRH25AL	36	70	102.6	57	45	M8	78.6	16	12	29.3	6	12	23	23.5	22	60	7 × 11 × 9	27.2	45.9	0.83	3.3	
TRH30A	42	90	100.5	72	52	M10	70.5	18	12	34.3	7	12	28	31	26	80	9 × 14 × 12	28	46.8	1.11	4.8	
TRH30AL	42	90	123	72	52	M10	93	18	12	34.3	7	12	28	31	26	80	9 × 14 × 12	37.3	62.5	1.46	4.8	
TRH35A	48	100	113.9	82	62	M10	80.5	20	14	38.8	8	12	34	33	29	80	9 × 14 × 12	37.3	61.1	1.62	6.6	
TRH35AL	48	100	139.2	82	62	M10	106	20	14	38.8	8	12	34	33	29	80	9 × 14 × 12	50.2	81.5	2.08	6.6	
TRH45A	60	120	138.5	100	80	M12	97.7	22	15	50.9	10	16	45	37.5	38	105	14 × 20 × 17	60	95.6	2.88	11	
TRH45AL	60	120	171	100	80	M12	130	22	15	50.9	10	16	45	37.5	38	106	14 × 20 × 17	80.4	127	3.7	11	



Příloha č. 4 – naměřená a vypočtená data + nejistota typu A

# Naměřená a vypočtená data + nejistota typu A

kopírovat		kopírovat		kopírovat	
Soubor měření	Měřené místo	Zátěž	Čídllo	Základní údaje o měření	
R01-CPC	01KL	Tlak	02-DeweTesa06_ch2_9L90_C--65280 (MM01KL)		
R01-CPC	02VLS	Tlak	03-DeweTesa03_ch3_9h147_C--16776960 (MM02VLS)		
R01-CPC	03VPS	Tlak	04-DeweTesa01_ch4_9h597_C--16711680 (MM03VPS)		
R01-CPC	04KP	Tlak	05-DeweTesa04_ch5_9h660--0 (MM04KP)		
R01-CPC	05Z	Tlak	06-DeweTesa09_ch6_8X7_C--16448250 (MM05Z)		
t03-CHTR	01KL	Tlak	02-DeweTesa06_ch2_9L90_C--65280 (MM01KL)		
t03-CHTR	02VLS	Tlak	03-DeweTesa03_ch3_9h147_C--16776960 (MM02VLS)		
t03-CHTR	03VPS	Tlak	04-DeweTesa01_ch4_9h597_C--16711680 (MM03VPS)		
t03-CHTR	04KP	Tlak	05-DeweTesa04_ch5_9h660--0 (MM04KP)		
t03-CHTR	05Z	Tlak	06-DeweTesa09_ch6_8X7_C--16448250 (MM05Z)		
Hiwin 01	01KL	Tlak	02-DeweTesa06_ch2_9L90_C--65280 (MM01KL)		
Hiwin 01	02VLS	Tlak	03-DeweTesa03_ch3_9h147_C--16776960 (MM02VLS)		
Hiwin 01	03VPS	Tlak	04-DeweTesa01_ch4_9h597_C--16711680 (MM03VPS)		
Hiwin 01	04KP	Tlak	05-DeweTesa04_ch5_9h660--0 (MM04KP)		
Hiwin 01	05Z	Tlak	06-DeweTesa09_ch6_8X7_C--16448250 (MM05Z)		





kopirovat kopirovat kopirovat kopirovat kopirovat kopirovat						kopirovat kopirovat kopirovat kopirovat kopirovat						
Výchylka [um]						Síla [N]						
Průměrná výchylka [um]						Průměrná síla [N]						
Směrodatná odchylka [um]						Směrodatná odchylka [N]						
1	2	3	4	5		1	2	3	4	5		
-247	-243,6	-245,1	-242,2	-244,8	-244,5	-4 771,6	-4 773,1	-4 776,2	-4 777,9	-4 779,5	-4 775,7	3,3
-306,9	-304,3	-304,7	-303,1	-306,9	-305,2	-4 771,6	-4 773,1	-4 776,2	-4 777,9	-4 779,5	-4 775,7	3,3
-303,5	-301	-302,2	-299,8	-300,6	-301,4	-4 771,6	-4 773,1	-4 776,2	-4 777,9	-4 779,5	-4 775,7	3,3
-234,1	-230,2	-232	-229,8	-230,4	-231,3	-4 771,6	-4 773,1	-4 776,2	-4 777,9	-4 779,5	-4 775,7	3,3
-187,4	-182,9	-184,9	-181	-183	-183,8	-4 771,6	-4 773,1	-4 776,2	-4 777,9	-4 779,5	-4 775,7	3,3
-319,3	-317,6	-305,7	-310	-306,8	-311,9	-4 779,8	-4 779,6	-4 783,2	-4 755,7	-4 782,0	-4 776,1	11,5
-376,7	-374,3	-361,4	-365,2	-361,7	-367,9	-4 779,8	-4 779,6	-4 783,2	-4 755,7	-4 782,0	-4 776,1	11,5
-357,4	-355,1	-341,9	-344,6	-341,5	-348,1	-4 779,8	-4 779,6	-4 783,2	-4 755,7	-4 782,0	-4 776,1	11,5
-297,3	-296	-284,7	-288,3	-285,7	-290,4	-4 779,8	-4 779,6	-4 783,2	-4 755,7	-4 782,0	-4 776,1	11,5
-194,3	-193,9	-184,4	-189,2	-186,9	-189,7	-4 779,8	-4 779,6	-4 783,2	-4 755,7	-4 782,0	-4 776,1	11,5
-157,6	-157,4	-158	-157,1	-158,5	-157,7	-4 779,3	-4 782,9	-4 787,2	-4 770,9	-4 770,8	-4 778,2	7,3
-211,4	-211,2	-212	-210,9	-212	-211,5	-4 779,3	-4 782,9	-4 787,2	-4 770,9	-4 770,8	-4 778,2	7,3
-209,6	-209,1	-209,7	-209	-210,2	-209,5	-4 779,3	-4 782,9	-4 787,2	-4 770,9	-4 770,8	-4 778,2	7,3
-151,6	-151,7	-151,8	-151,5	-152,7	-151,9	-4 779,3	-4 782,9	-4 787,2	-4 770,9	-4 770,8	-4 778,2	7,3
-137,9	-137,5	-138,1	-137,5	-138,6	-137,9	-4 779,3	-4 782,9	-4 787,2	-4 770,9	-4 770,8	-4 778,2	7,3



zkontrolovat nadpis		Nejistoty typu A				Tuhost	Nejistoty typu B	
Poddajnost	Tuhost [N/mm]	Koeficient citlivosti pro výchylku	Nejistota A pro výchylku	Koeficient citlivosti pro sílu	Nejistota A pro sílu		Nejistota A [N/mm]	
0,1	256,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,1		
0,1	319,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
0,1	315,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
0,0	242,2	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,1		
0,0	192,5	-0,1	-0,2	0,0	0,0	0,2		
0,1	326,5	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,2		
0,1	385,1	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,1		
0,1	364,4	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,2		
0,1	304,0	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,2		
0,0	198,6	-0,1	-0,3	0,0	-0,1	0,3		
0,0	165,0	-0,1	-0,1	0,0	0,0	0,1		
0,0	221,3	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0		
0,0	219,2	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0		
0,0	158,9	-0,1	-0,1	0,0	0,0	0,1		
0,0	144,3	-0,1	-0,1	0,0	-0,1	0,1		





Příloha č. 5 – celkové nejistoty

Celkové nejistoty		Soubor měření	Měřené místo	Číslo	Průměrná výchylka		Průměrná síla		Koeficient citlivosti pro výchylku	Nejistoty úchylkoměrů dle kalibrace
					$\bar{y}$ $\mu\text{m}$	$u_A(V)$ N	$A_1$ $\text{N}/\mu\text{m}^2$	$u(x)$ $\mu\text{m}$		
R01-CPC			01KL	02-DeweTesa06_ch2_9L90_C--65280 (MM01KL)	-244,54	-4 776	0,0	0,0	1,0	
R01-CPC			02VLS	03-DeweTesa03_ch3_9h147_C--16776960 (MM02VLS)	-305,18	-4 776	0,0	0,0	1,0	
R01-CPC			03VPS	04-DeweTesa01_ch4_9h597_C--16711680 (MM03VPS)	-301,42	-4 776	0,0	0,0	1,0	
R01-CPC			04KP	05-DeweTesa04_ch5_9h660--0 (MM04KP)	-231,3	-4 776	0,0	0,0	1,0	
R01-CPC			05Z	06-DeweTesa09_ch6_8X7_C--16448250 (MM05Z)	-183,84	-4 776	-0,1	-0,1	1,0	
t03-CHTR			01KL	02-DeweTesa06_ch2_9L90_C--65280 (MM01KL)	-311,88	-4 776	0,0	0,0	1,0	
t03-CHTR			02VLS	03-DeweTesa03_ch3_9h147_C--16776960 (MM02VLS)	-367,86	-4 776	0,0	0,0	1,0	
t03-CHTR			03VPS	04-DeweTesa01_ch4_9h597_C--16711680 (MM03VPS)	-348,1	-4 776	0,0	0,0	1,0	
t03-CHTR			04KP	05-DeweTesa04_ch5_9h660--0 (MM04KP)	-290,4	-4 776	0,0	0,0	1,0	
t03-CHTR			05Z	06-DeweTesa09_ch6_8X7_C--16448250 (MM05Z)	-189,74	-4 776	-0,1	-0,1	1,0	
Hiwin 01			01KL	02-DeweTesa06_ch2_9L90_C--65280 (MM01KL)	-157,72	-4 778	-0,1	-0,1	1,0	
Hiwin 01			02VLS	03-DeweTesa03_ch3_9h147_C--16776960 (MM02VLS)	-211,5	-4 778	-0,1	-0,1	1,0	
Hiwin 01			03VPS	04-DeweTesa01_ch4_9h597_C--16711680 (MM03VPS)	-209,52	-4 778	-0,1	-0,1	1,0	
Hiwin 01			04KP	05-DeweTesa04_ch5_9h660--0 (MM04KP)	-151,86	-4 778	-0,1	-0,1	1,0	
Hiwin 01			05Z	06-DeweTesa09_ch6_8X7_C--16448250 (MM05Z)	-137,92	-4 778	-0,1	-0,1	1,0	



Standardní nejistota typu B													
Vliv měřicí metody						Vliv obsluhy							
Standardní nejistota pro vychytku	Koeficient citlivosti pro silu	Nejistota dynamometru dle kalibrace	Standardní nejistota pro silu	Celková nejistota pro vychytku a silu	Koeficient rozdělení pravděpodobnosti	Prispěvek ke standardní nejistotě	Odhad	Chyba	Typ rozdělení	Koeficient rozdělení pravděpodobnosti	Standardní nejistota	Koeficient citlivosti	Prispěvek ke standardní nejistotě
$u_1(k)$	$A_2$	$u(F)$	$u_2(k)$	$u(k)=z_{\max}$	$k$	$u_{B1}(k_s)$	$N/\mu\text{m}$	$N/\mu\text{m}$	-	$k_3$	$u_{B2}(Y)$	$A_3$	$u_{B2}(k_s)$
$N/\mu\text{m}$	$1/\mu\text{m}$	$N$	$N/\mu\text{m}$	$N/\mu\text{m}$	-	$N/\mu\text{m}$	$N/\mu\text{m}$	$N/\mu\text{m}$	-	-	$N/\mu\text{m}$	-	$N/\mu\text{m}$
0,0	0,0	20,0	-0,1	0,1	1,73	0,1	0,00	0,1	rovn.	1,73	0,058	1,00	0,06
0,0	0,0	20,0	-0,1	0,1	1,73	0,0	0,00	0,1	rovn.	1,73	0,058	1,00	0,06
0,0	0,0	20,0	-0,1	0,1	1,73	0,0	0,00	0,1	rovn.	1,73	0,058	1,00	0,06
0,0	0,0	20,0	-0,1	0,1	1,73	0,1	0,00	0,1	rovn.	1,73	0,058	1,00	0,06
-0,1	0,0	20,0	-0,1	0,1	1,73	0,1	0,00	0,1	rovn.	1,73	0,058	1,00	0,06
0,0	0,0	20,0	-0,1	0,1	1,73	0,0	0,00	0,1	rovn.	1,73	0,058	1,00	0,06
0,0	0,0	20,0	-0,1	0,1	1,73	0,0	0,00	0,1	rovn.	1,73	0,058	1,00	0,06
0,0	0,0	20,0	-0,1	0,1	1,73	0,0	0,00	0,1	rovn.	1,73	0,058	1,00	0,06
0,0	0,0	20,0	-0,1	0,1	1,73	0,0	0,00	0,1	rovn.	1,73	0,058	1,00	0,06
-0,1	0,0	20,0	-0,1	0,1	1,73	0,1	0,00	0,1	rovn.	1,73	0,058	1,00	0,06
-0,1	0,0	20,0	-0,1	0,1	1,73	0,1	0,00	0,1	rovn.	1,73	0,058	1,00	0,06
-0,1	0,0	20,0	-0,1	0,1	1,73	0,2	0,00	0,1	rovn.	1,73	0,058	1,00	0,06
-0,1	0,0	20,0	-0,1	0,1	1,73	0,2	0,00	0,1	rovn.	1,73	0,058	1,00	0,06
-0,1	0,0	20,0	-0,1	0,1	1,73	0,2	0,00	0,1	rovn.	1,73	0,058	1,00	0,06
-0,1	0,0	20,0	-0,1	0,1	1,73	0,2	0,00	0,1	rovn.	1,73	0,058	1,00	0,06

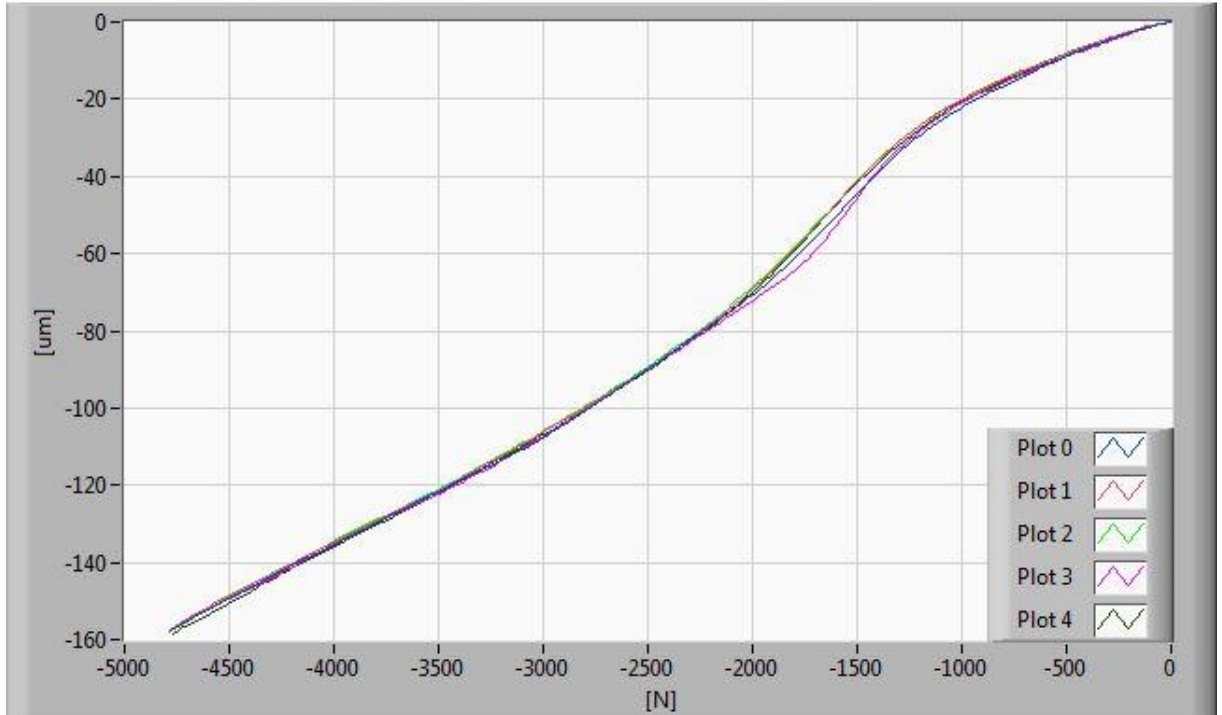


Vliv A/D převodníku Dewetron													
Odhad	Chyba	Typ rozdělení	Koefficient rozdělení pravděpodobnosti	Standardní nejistota		Koefficient citlivosti	Příspěvek ke standardní nejistotě		Standardní nejistota typu B		Standardní kombinovaná nejistota. Nejistota typu A je zde obsažena	Koefficient rozšíření	Standardní rozšířená nejistota
				$u_{B3}(y)$	$N/\mu\text{m}$		$u_{B3}(k_3)$	$N/\mu\text{m}$	$u_B(k_3)$	$N/\mu\text{m}$			
0,00	0,1	rovn.	-	1,73	0,1	1,00	0,1	0,1	0,1	0,1	2,0	0,2	
0,00	0,1	rovn.	1,73	0,1	1,00	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	2,0	0,2	
0,00	0,1	rovn.	1,73	0,1	1,00	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	2,0	0,2	
0,00	0,1	rovn.	1,73	0,1	1,00	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	2,0	0,3	
0,00	0,1	rovn.	1,73	0,1	1,00	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	2,0	0,4	
0,00	0,1	rovn.	1,73	0,1	1,00	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	2,0	0,4	
0,00	0,1	rovn.	1,73	0,1	1,00	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	2,0	0,3	
0,00	0,1	rovn.	1,73	0,1	1,00	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	2,0	0,4	
0,00	0,1	rovn.	1,73	0,1	1,00	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	2,0	0,4	
0,00	0,1	rovn.	1,73	0,1	1,00	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	2,0	0,6	
0,00	0,1	rovn.	1,73	0,1	1,00	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	2,0	0,3	
0,00	0,1	rovn.	1,73	0,1	1,00	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	2,0	0,2	
0,00	0,1	rovn.	1,73	0,1	1,00	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	2,0	0,2	
0,00	0,1	rovn.	1,73	0,1	1,00	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	2,0	0,3	
0,00	0,1	rovn.	1,73	0,1	1,00	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	2,0	0,3	

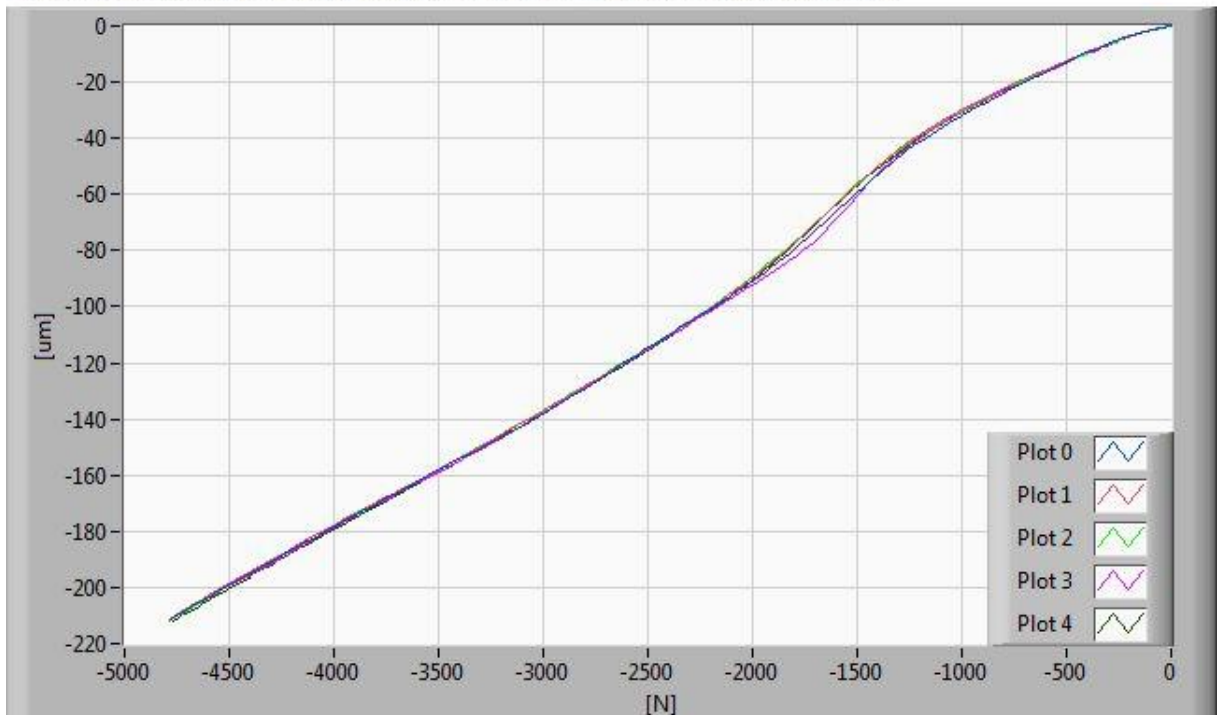


Příloha č. 6 – grafy - HIWIN

Merene místo: 01KL; Zátěž: Tlak; Soubor: Hiwin 01; Cidlo: 02-DeweTesa06\_ch2\_9L90\_C

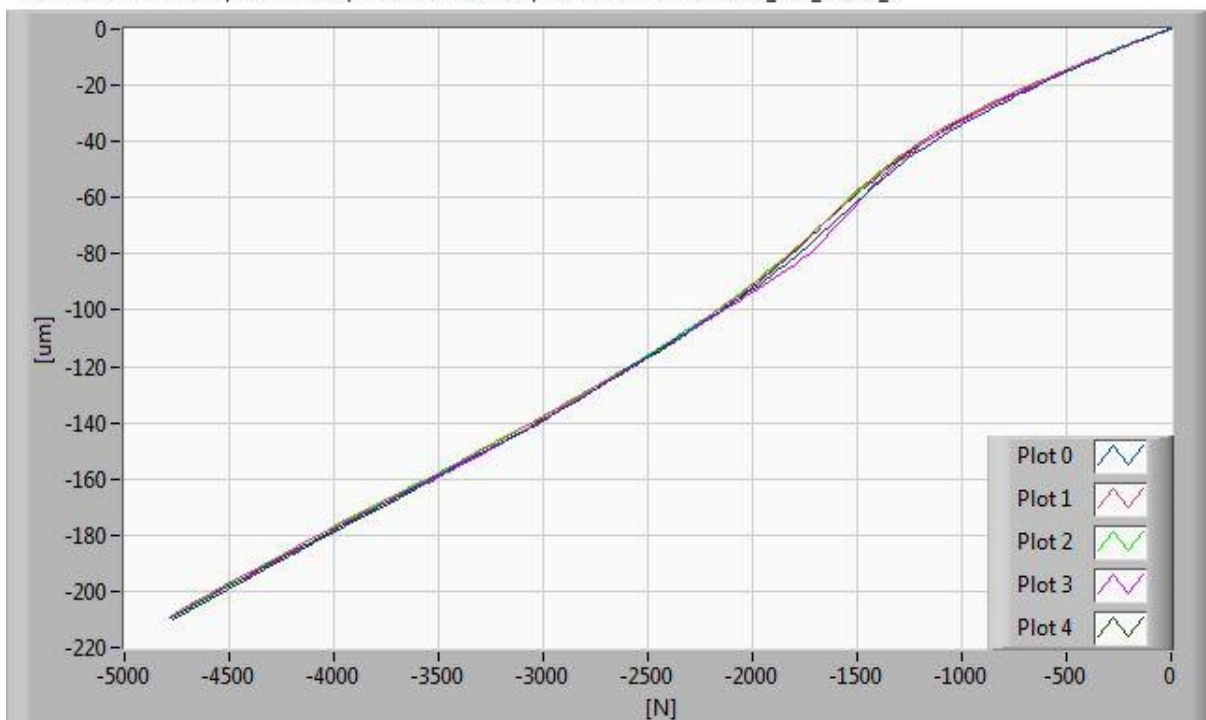


Merene místo: 02VLS; Zátěž: Tlak; Soubor: Hiwin 01; Cidlo: 03-DeweTesa03\_ch3\_9h147\_C

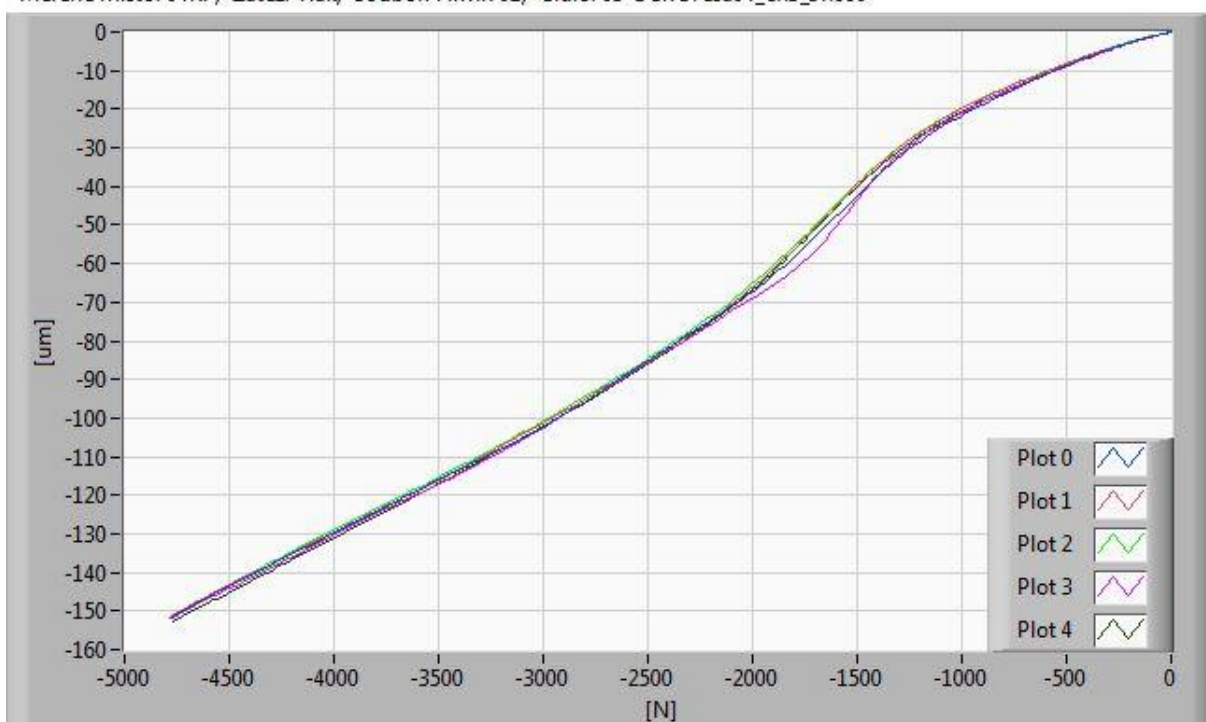




Merene místo: 03VPS; Zatez: Tlak; Soubor: Hiwin 01; Cidlo: 04-DeweTesa01\_ch4\_9h597\_C



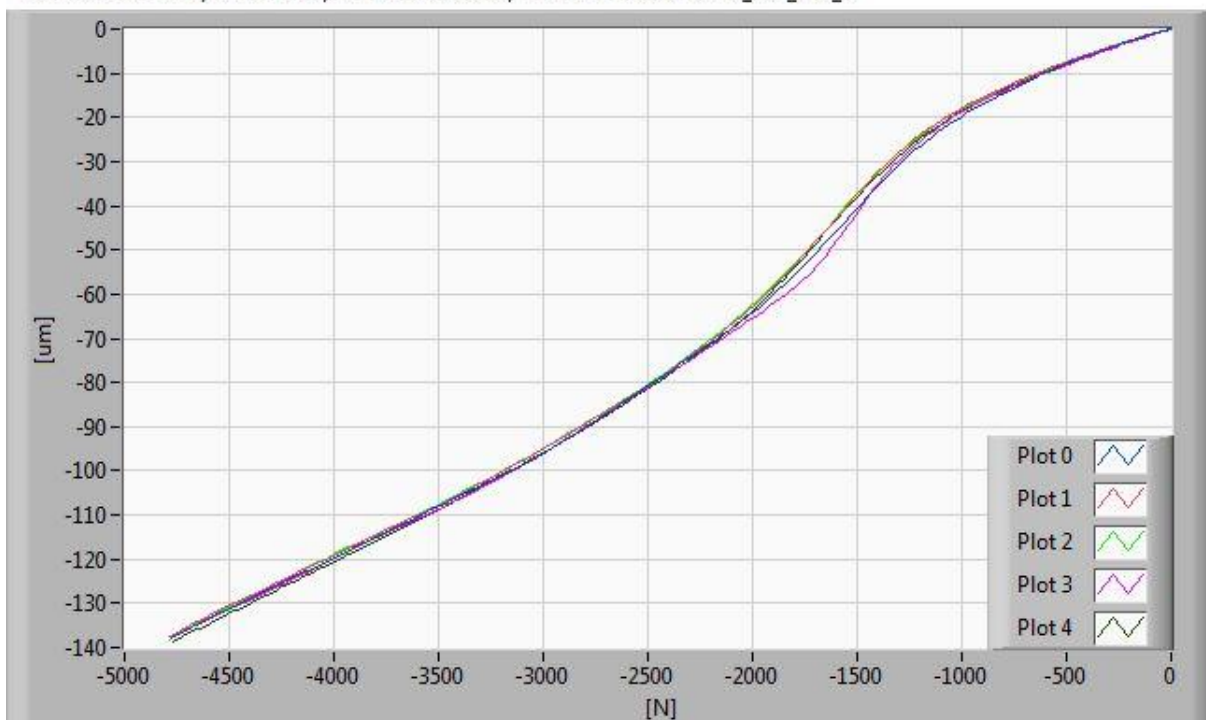
Merene místo: 04KP; Zatez: Tlak; Soubor: Hiwin 01; Cidlo: 05-DeweTesa04\_ch5\_9h660





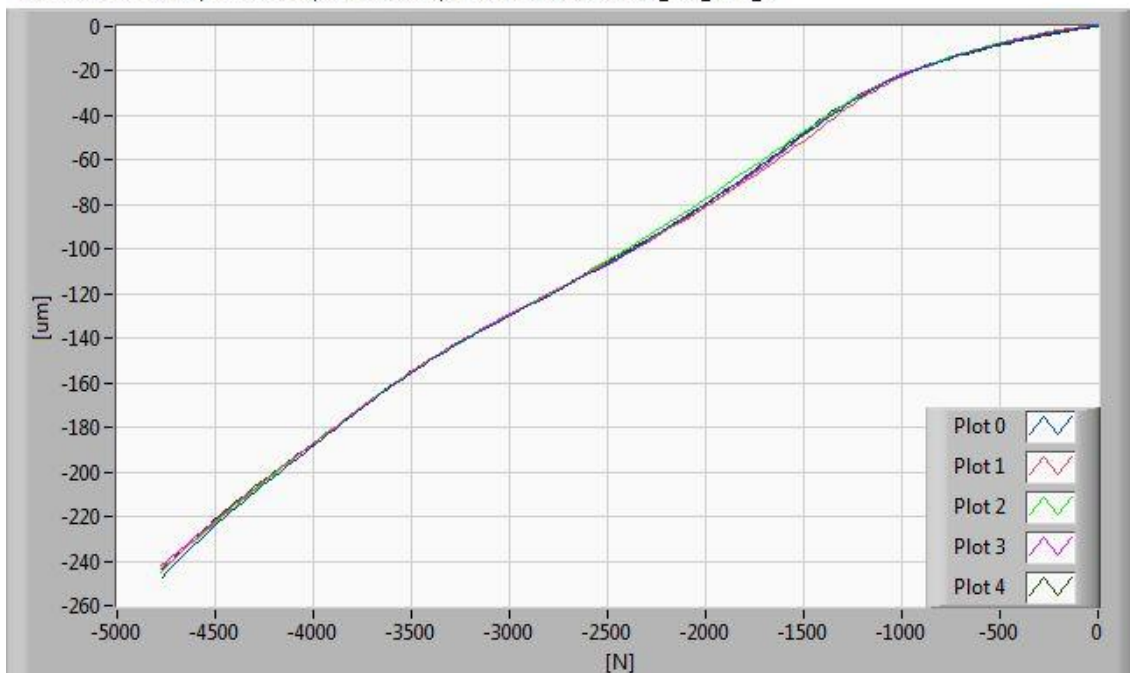


Merene místo: 05Z; Zatez: Tlak; Soubor: Hiwin 01; Cidlo: 06-DeweTesa09\_ch6\_8X7\_C



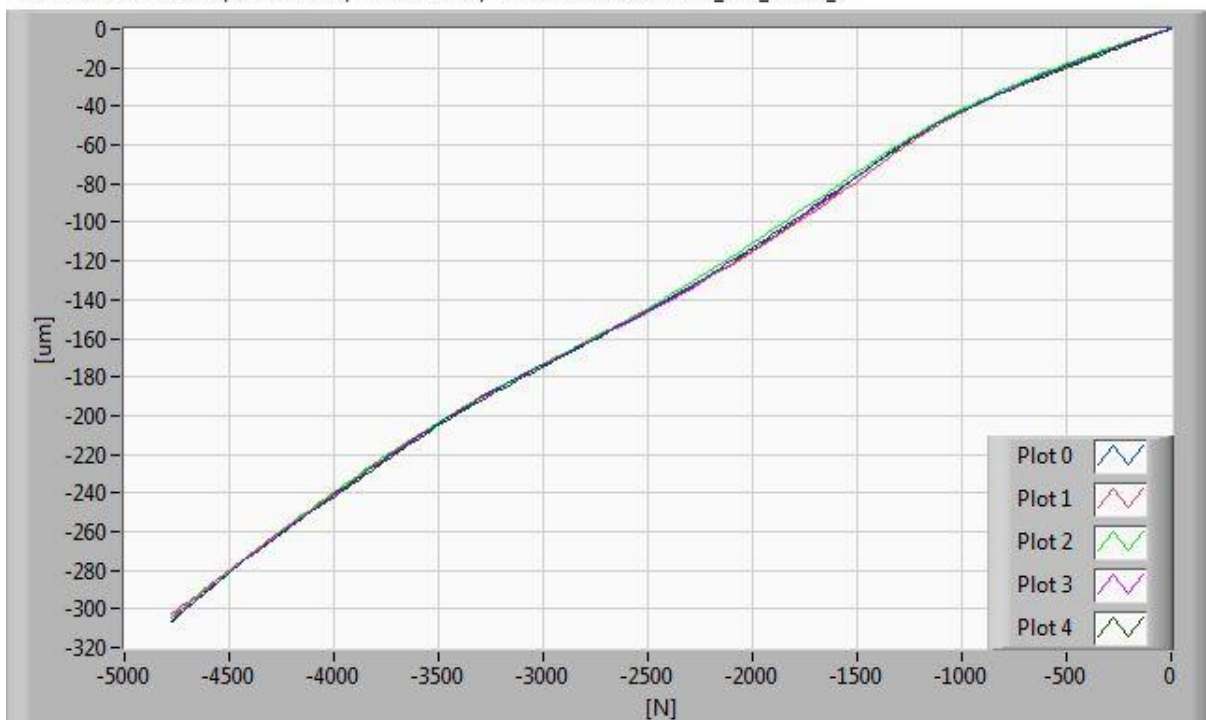
### Příloha č. 7 – grafy – CPC

Merene místo: 01KL; Zatez: Tlak; Soubor: R01; Cidlo: 02-DeweTesa06\_ch2\_9L90\_C

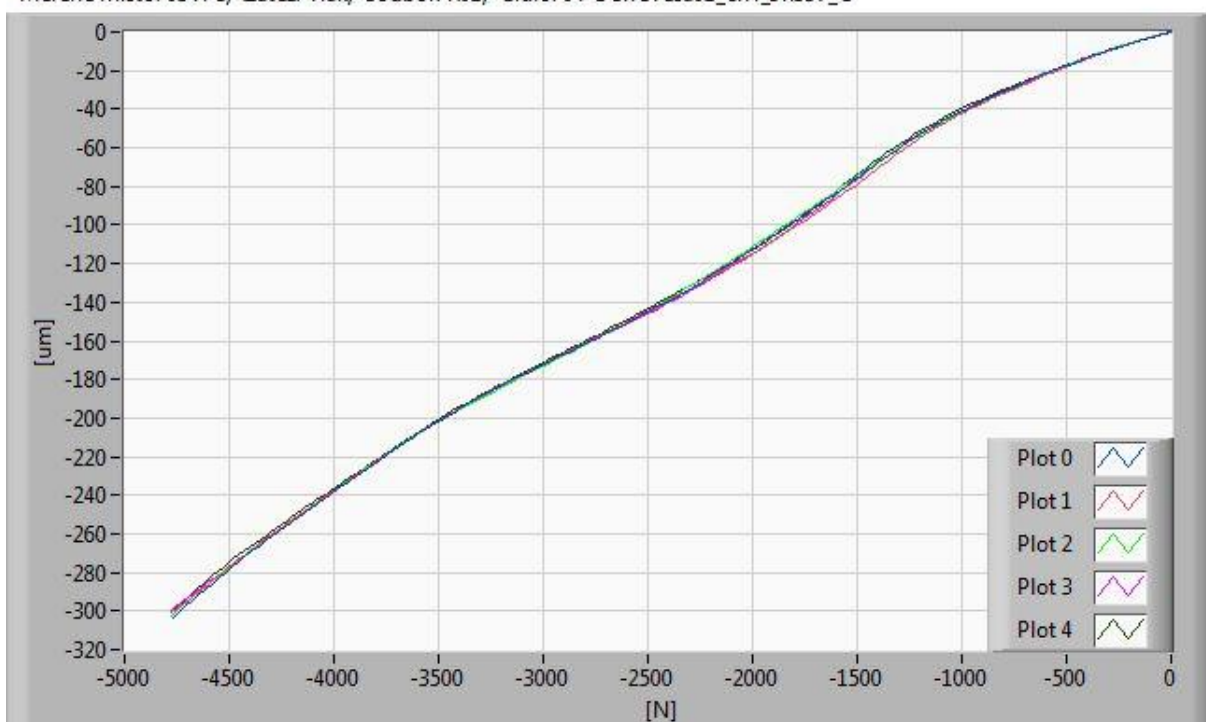




Merene místo: 02VLS; Zatez: Tlak; Soubor: R01; Cidlo: 03-DeweTesa03\_ch3\_9h147\_C

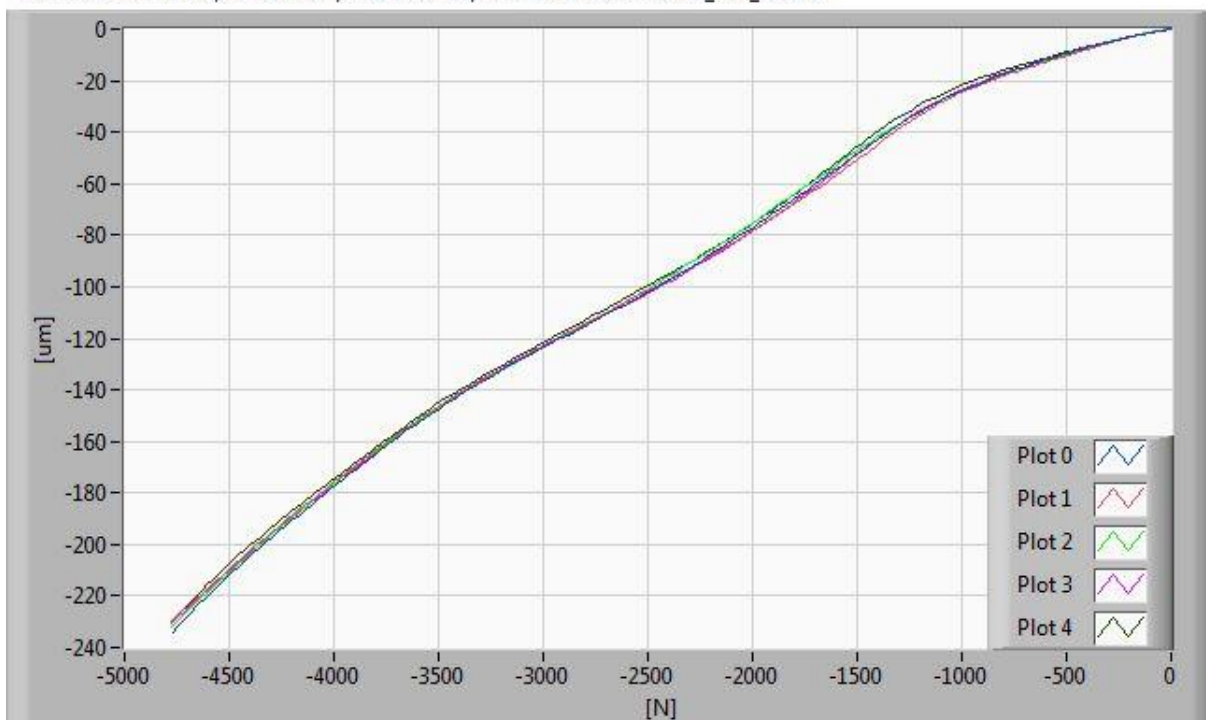


Merene místo: 03VPS; Zatez: Tlak; Soubor: R01; Cidlo: 04-DeweTesa01\_ch4\_9h597\_C

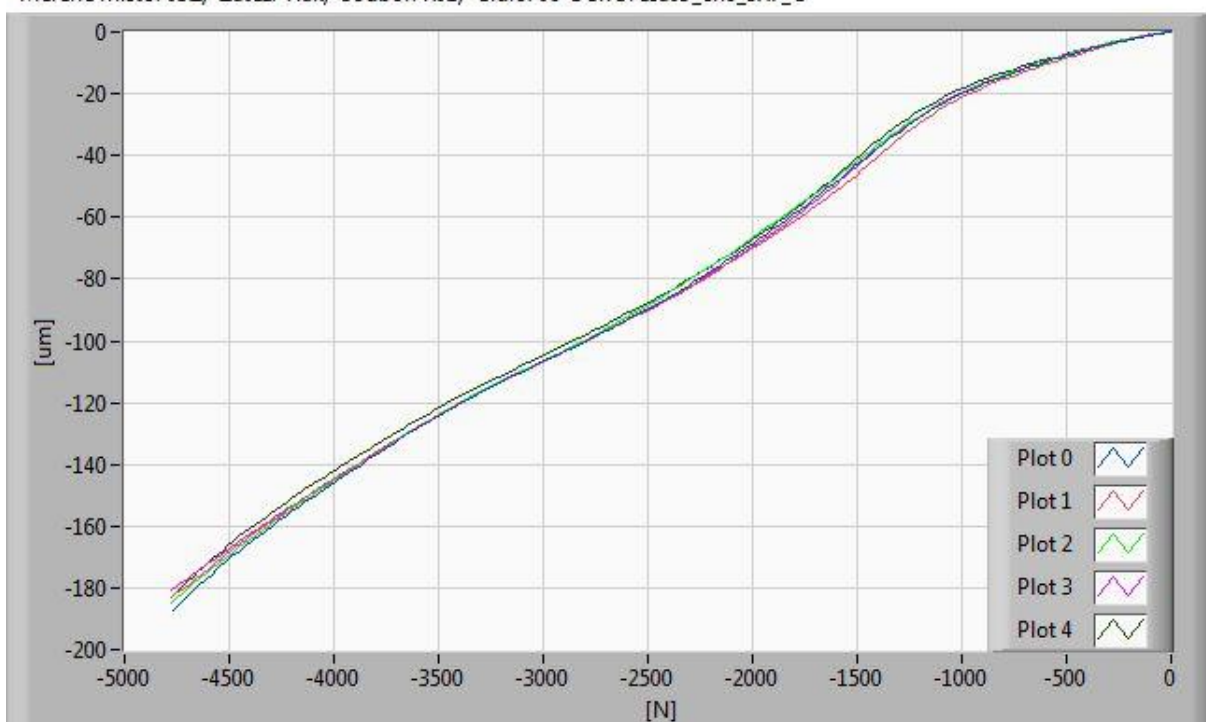




Merene místo: 04KP; Zatez: Tlak; Soubor: R01; Cidlo: 05-DeweTesa04\_ch5\_9h660



Merene místo: 05Z; Zatez: Tlak; Soubor: R01; Cidlo: 06-DeweTesa09\_ch6\_8X7\_C

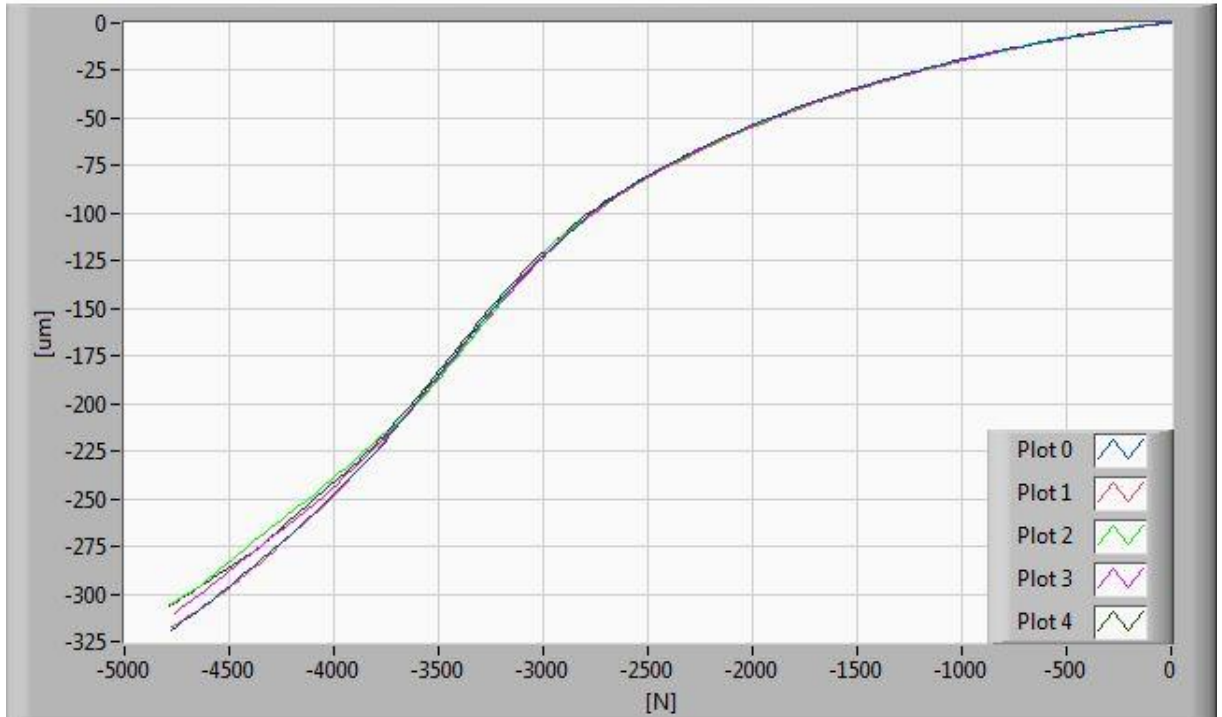




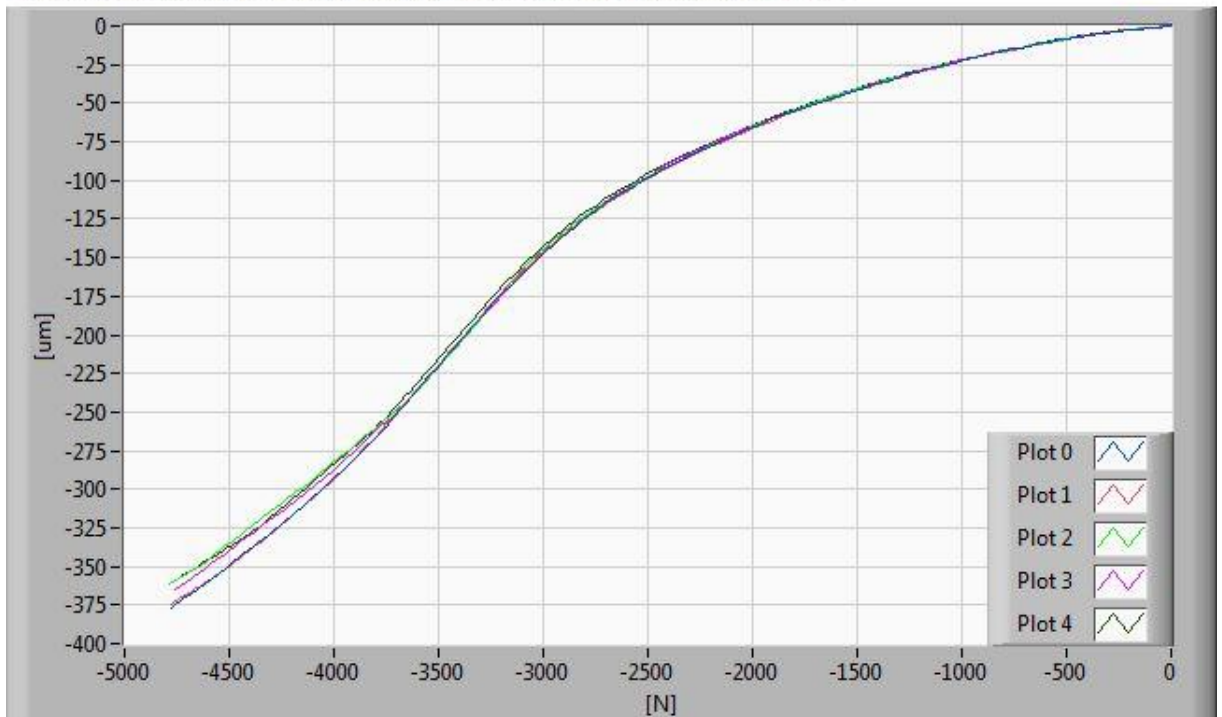


Příloha č. 8 – grafy - CHTR

Merene místo: 01KL; Zatez: Tlak; Soubor: t03; Cidlo: 02-DeweTesa06\_ch2\_9L90\_C

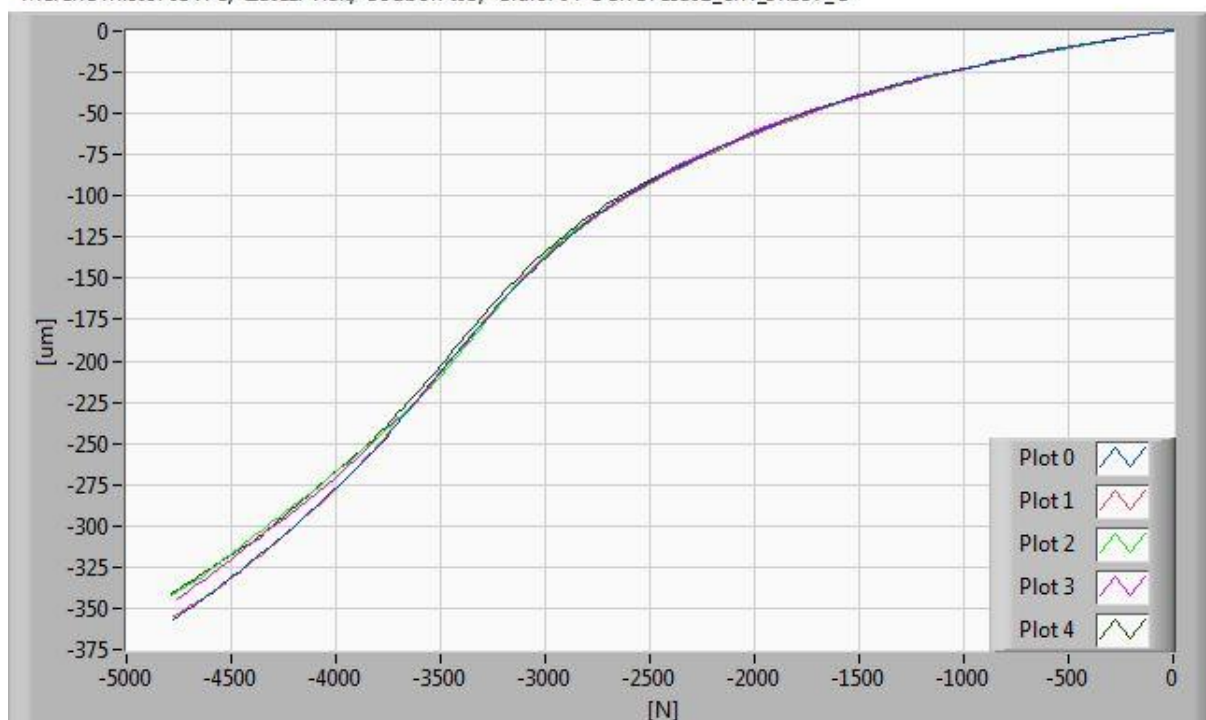


Merene místo: 02VLS; Zatez: Tlak; Soubor: t03; Cidlo: 03-DeweTesa03\_ch3\_9h147\_C

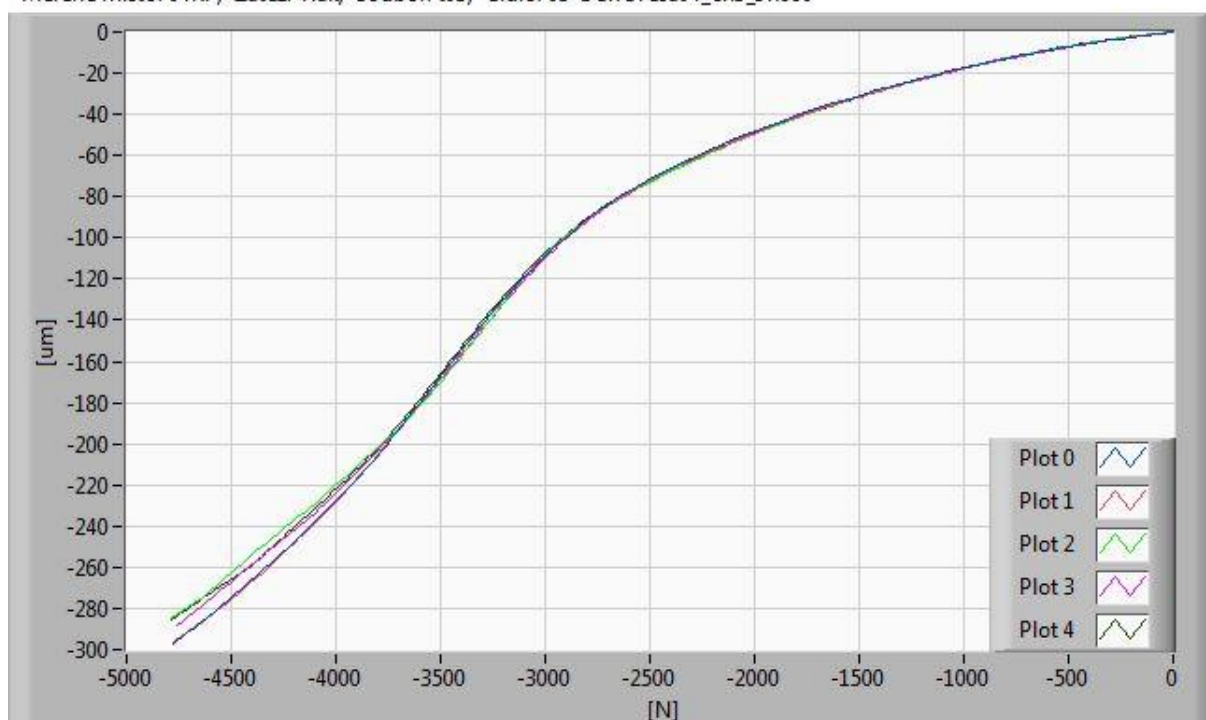




Merene místo: 03VPS; Zatez: Tlak; Soubor: t03; Cidlo: 04-DeweTesa01\_ch4\_9h597\_C



Merene místo: 04KP; Zatez: Tlak; Soubor: t03; Cidlo: 05-DeweTesa04\_ch5\_9h660





Merene místo: 05Z; Zatez: Tlak; Soubor: t03; Cidlo: 06-DeweTesa09\_ch6\_8X7\_C

