



# 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

# MĚŘENÍ CHARAKTERISTIK PRUŽNÝCH LŮŽEK ZAVĚŠENÍ KOL

MEASUREMENT OF VEHICLE SUSPENSION BUSHING CHARACTERISTICS

## DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Petr Kopecký

## VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Petr Porteš, Ph.D.

BRNO 2023



# Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student:	<b>Bc. Petr Kopecký</b>
Studijní program:	Automobilní a dopravní inženýrství
Studijní obor:	bez specializace
Vedoucí práce:	<b>doc. Ing. Petr Porteš, Ph.D.</b>
Akademický rok:	2022/23

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 diplomové práce:

## Měření charakteristik pružných lůžek zavěšení kol

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Diplomová práce je zaměřena na měření charakteristik pružných lůžek náprav automobilů.

### Cíle diplomové práce:

Vypracovat rešerši problematiky pružných lůžek zavěšení kol.

Navrhnout zkušební zařízení.

Vypracovat metodiku měření charakteristik pružných lůžek pro statická zatěžování.

Změřit charakteristiky pružného lůžka.

Porovnat měřené charakteristiky pružných lůžek s výpočty metodou konečných prvků.

Sestavit model pružného lůžka pro multibody simulace v software ADAMS.

### Seznam doporučené literatury:

GILLESPIE, T. D. Fundamentals of Vehicle Dynamics. 1st ed. Warrendale: Society of Automotive Engineers, 1992. 495 s. ISBN 15-609-1199-9.

REIMPELL, J., STOLL, H., BETZLER, J. W. The Automotive Chassis: Engineering Principles. 2nd ed. Oxford: Butterworth Heinemann, 2001. ISBN 07-506-5054-0.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2022/23

V Brně, dne

L. S.

---

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

---

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.  
děkan fakulty



## ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá měřením statických charakteristik pružných lůžek zavěšení kol. Součástí je konstrukční návrh zkušebního zařízení a výkresová dokumentace, podle níž bylo zařízení vyrobeno. Zařízení má několik variant pro různá namáhání a je s případnými úpravami použitelné pro různá pružná lůžka včetně nesouosých. Je také uveden postup měření, výsledky měření statických charakteristik a jejich rozbor a porovnání s výpočty metodou konečných prvků. Změřené charakteristiky byly poté přidány do modelu nápravy pro multibody simulace.

## KLÍČOVÁ SLOVA

Pružné lůžko, silentblok, zavěšení kol, charakteristika, zkušební zařízení

## ABSTRACT

This master's thesis deals with the measurement of static characteristics of wheel suspension bushings. It includes a structural design of the test device and drawings according to which the device was manufactured. The device has several variations for different stresses and is applicable with possible modifications to various bushings including the ones that do not have common axes. The measurement procedure, the results of the measurements of the static characteristics and their analysis and comparison with the finite element method calculations are also given. The measured characteristics were then added to the model of the axle for multibody simulations.

## KEYWORDS

Bushing, silentblock, wheel suspension, characteristics, test device

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KOPECKÝ, Petr. *Měření charakteristik pružných lůžek zavěšení kol*. Brno, 2023. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. Vedoucí diplomové práce Petr Porteš. Dostupné také z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/145713>



## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením doc. Ing. Petra Porteše, Ph.D. a s použitím informačních zdrojů uvedených v seznamu.

V Brně dne 26. května 2023

.....

Petr Kopecký

## PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval panu docentu Portešovi za vedení diplomové práce, cenné rady a ochotu. Také bych chtěl vyzdvihnout vstřícný přístup pracovníků ÚADI, jelikož to není samozřejmost. Dále bych rád poděkoval svému otci a dědovi, kteří mě přivedli k technice a jsou mi v mnoha ohledech vzorem.

# OBSAH

Úvod .....	10
<b>1 Přehled současného stavu poznání.....</b>	<b>11</b>
1.1 Význam pružných lůžek .....	11
1.2 Konstrukce pružných lůžek.....	13
1.3 Měření charakteristik pružných lůžek.....	15
1.4 Zadní náprava VW Multivan .....	17
<b>2 Souřadný systém .....</b>	<b>20</b>
<b>3 Použitá měřidla .....</b>	<b>22</b>
3.1 Převodník síly S9M .....	22
3.2 Lankový potenciometr SP1-25 .....	24
3.3 Bezkontaktní měřidlo vzdálenosti HT-250.....	26
<b>4 Zkušební zařízení.....</b>	<b>28</b>
4.1 Adaptéry pro uchycení převodníků síly .....	29
4.2 Krut kolem osy X.....	31
4.3 Krut kolem os Y a Z .....	45
4.4 Tah v osách Y a Z .....	51
4.5 Tah v ose X.....	55
<b>5 Metodika měření.....</b>	<b>60</b>
<b>6 Změřené charakteristiky a jejich porovnání s MKP simulací .....</b>	<b>61</b>
6.1 Krut kolem osy X.....	61
6.2 Krut kolem osy Y.....	63
6.3 Krut kolem osy Z .....	64
6.4 Tah v ose X.....	66
6.5 Tah v ose Y .....	69
6.6 Tah v ose Z .....	70
<b>7 Model pružného lůžka pro multibody simulace .....</b>	<b>72</b>
<b>Závěr .....</b>	<b>78</b>
<b>Použité informační zdroje.....</b>	<b>79</b>
<b>Seznam použitých zkratk a symbolů.....</b>	<b>81</b>
<b>Seznam příloh .....</b>	<b>82</b>

## ÚVOD

Pružná lůžka, někdy také zvaná silentbloky, mají s postupujícím technickým vývojem stále složitější tvary. Konkrétně v případě pružných lůžek zavěšení kol, jejichž statické charakteristiky jsou měřeny v rámci této diplomové práce, se speciálním tvarem dociluje odlišných charakteristik v různých směrech. To přináší nové možnosti při konstrukci podvozku, ale naopak také problémy při zjišťování nebo ověřování těchto charakteristik.

Jelikož ze strany výrobců pružných lůžek nejsou charakteristiky pružných lůžek běžně dostupné, vzniká v případě nezávislých projektů potřeba tyto charakteristiky nějak stanovit. Pokud není k dispozici finančně náročné zařízení, jakým disponují výrobci, nabízí se možnost použít MKP simulaci. Ta má však svá omezení a je lepší, když je možné její výsledky ověřit. V tom případě má smysl sestavení vlastního zařízení, které by bylo konstruováno s ohledem na finanční i technické možnosti subjektu, pro který není měření charakteristik pružných lůžek hlavní náplní práce.

Na Ústavu automobilního a dopravního inženýrství (dále jen ÚADI) Fakulty strojního inženýrství Vysokého učení technického v Brně je postupně vytvářen model experimentálního automobilu Volkswagen Multivan, který umožňuje provádět multibody simulace jeho podvozku. Protože dokonale tuhé klouby by nebyly vhodnou náhradou pružných lůžek, byla nejprve vytvořena MKP simulace pružných lůžek. Nebylo však dosud známo, jak je tato simulace blízko realitě, a proto vznikla tato diplomová práce, která přináší i změřené charakteristiky skutečných pružných lůžek při statickém zatěžování.

V rámci práce jsou řešena dvě pružná lůžka zavěšení kol na zadní nápravě vozu VW Multivan. Náprava má čtyři pružná lůžka, dvě a dvě stejná. Pro změření statických charakteristik pružných lůžek je zkonstruováno zkušební zařízení umožňující různé modifikace pro různá namáhání, tak aby bylo možné změřit charakteristiky pro namáhání v tahu ve všech třech osách a v krutu kolem všech tří os. Cílem je, aby zkušební zařízení umožnilo ÚADI samostatně a ve vlastních prostorách provádět měření statických charakteristik pružných lůžek a zpřesňovat tak vytvářené modely.

Aby bylo do budoucna možné zkušební zařízení modifikovat i pro jiná pružná lůžka, musí být při konstrukci v rámci možností upřednostňována univerzální řešení. Pro využití při dalším vývoji poslouží kompletní výkresová dokumentace a 3D CAD modely sestav.

Pomocí vyrobeného zkušebního zařízení budou změřeny statické charakteristiky zmíněných dvou pružných lůžek a budou porovnány s výsledky MKP simulace. Na závěr budou charakteristiky zaneseny do multibody simulace, aby mohly být výsledky měření prakticky využity v dalším výzkumu.

# 1 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

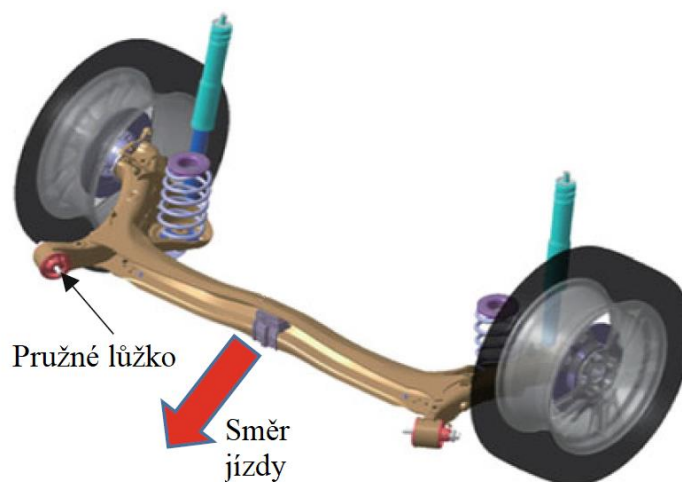
Pružná lůžka, stejně jako celé odvětví automobilového průmyslu, prošla během své historie velkým vývojem. Základní požadavek, který vedl ke vzniku pružných lůžek, tedy omezit přenos vibrací z jedné součásti na druhou, zní jednoduše, a i dnes je stále platný. S postupujícím vývojem je však očekáváno, že tento požadavek bude plněn stále lépe a ve stále náročnějších podmínkách a přidávají se k němu i požadavky nové. Tato kapitola se zabývá těmito požadavky, způsoby jak je splnit a v neposlední řadě také tím, jak otestovat výsledek.

## 1.1 VÝZNAM PRUŽNÝCH LŮŽEK

Na průměrném moderním automobilu je kolem 70 součástí, které jsou vyrobené z kombinace kovu a elastomeru [1], a které nazýváme pružnými lůžky. Tyto díly spojují různé části automobilu specifickým způsobem. Umožňují jejich vzájemný pohyb v různých směrech, ale tento pohyb není neustálý jako je tomu třeba u valivých ložisek [1]. Tento pohyb by totiž měl být tlumený.

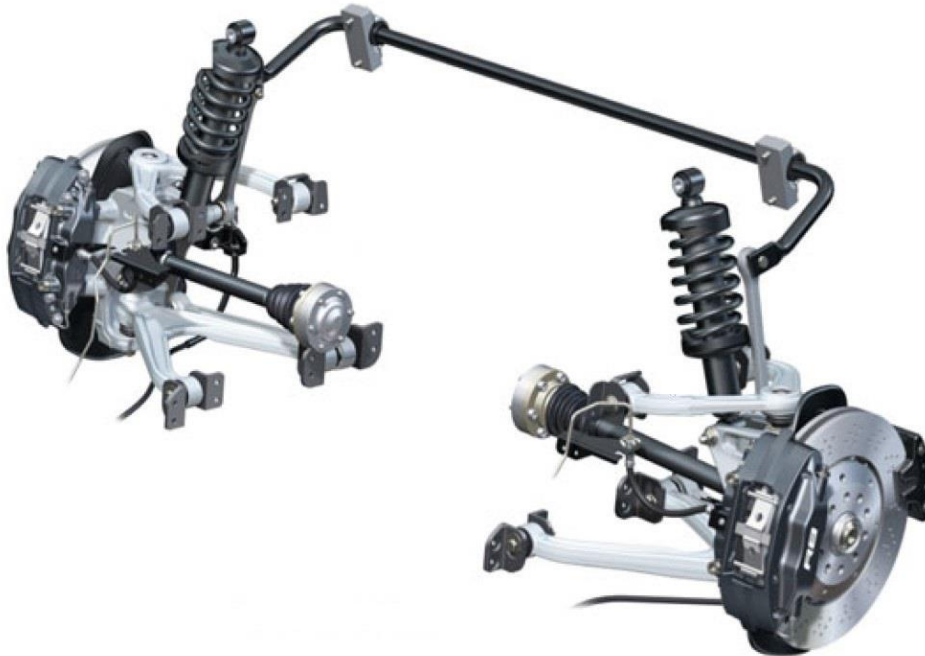
Pružná lůžka umožňují pružné uložení motoru, výfukového potrubí a tlumiče výfuku v samonosné karoserii nebo v šasi. Dále umožňují pružné spojení různých dílů podvozku (například nápravnice) a karoserie. V případě klasické koncepce automobilu umožňují pružné spojení podvozku (šasi) a samotné karoserie. A v neposlední řadě se pružná lůžka používají také u zavěšení kol. Právě na pružná lůžka zavěšení kol bude kladen důraz v této diplomové práci. Pod pojmem „pružné lůžko“ bude tedy dále rozuměno pružné lůžko zavěšení kol, konkrétně pryžové pružné lůžko pouzdrového typu. K tématu pryžových pružných lůžek jiného tvaru a k tématu hydraulických pružných lůžek nebude odbočováno, neboť rozsah těchto témat je nad rámec možností této diplomové práce.

Počet pružných lůžek zavěšení kol může být různý podle složitosti konstrukce nápravy. Například u jednoduché zadní vlečené nápravy s torzně poddajnou příčkou jsou použita jen dvě pružná lůžka, jak je vidět na obrázku 1. Malý počet pružných lůžek spolu s dalšími konstrukčními vlastnostmi této nápravy přispívá k velmi malé servisní náročnosti.



Obrázek 1 Vlečená náprava s torzně poddajnou příčkou [1]

U větších a dražších vozů však není servisní náročnost a cena tak důležitá, jako jízdní vlastnosti a pohodlí. Příkladem může být lichoběžníková náprava s dvojitými trojúhelníkovými příčnými rameny, která je na obrázku 2. Tato náprava má 8 pružných lůžek v uložení ramen. Kvůli konstrukční, servisní i finanční náročnosti, dané však nejen počtem pružných lůžek, se toto řešení používá hlavně u předních náprav automobilů vyšších tříd.



Obrázek 2 Náprava s dvojitými trojúhelníkovými příčnými rameny [1]

Pružná lůžka mají spolu s odpružením kol za úkol absorbovat vibrace způsobené nerovnostmi vozovky, po níž se automobil pohybuje a chránit součásti automobilu před namáháním rázy, přitom by ale neměla způsobovat nežádoucí pohyby karoserie a umožňovat nežádoucí změny geometrie nápravy [2], [3], [4], [5]. Změna geometrie v důsledku pružnosti pružného lůžka však může být i žádoucí a lze ji využít například při průjezdu obloukem [3].

Svou funkcí pružná lůžka doplňují pružiny, neboť pomáhají při konstrukci podvozku řešit problémy, které jen pomocí kovových pružin vyřešit nelze. Například přenos vysokofrekvenčních (přes 20 Hz) vibrací od vozovky do karoserie automobilu omezují právě pružná lůžka [1]. Přitom však nestačí pružná lůžka v uložení ramene nápravy, ale jsou potřeba také pružná lůžka v uchycení tlumičů [3], [4], [6]. Ta však nesmějí být příliš měkká, aby neovlivňovala a nezpožďovala funkci tlumičů [7].

Pružná lůžka ramen nápravy, jako jsou například na obrázku 1 a 2, jsou při jízdě po nerovnostech a pohybu kola vůči vozovce nahoru a dolů namáhána krutem. Jejich charakteristika v krutu tedy ovlivňuje i charakteristiku odpružení [3].

Pružná lůžka by tedy měla být bezúdržbová, málo poddajná, měla by umožňovat snadný pohyb součástí v požadovaném směru a měla by bránit přenosu vibrací [8], [9]. Požadavek na beúdržbovost je obvykle velmi dobře splněn. Bezúdržbovost však není totéž, co servisní náročnost.



K servisní náročnosti nápravy pružná lůžka sice přispívají velmi málo (díky tomu, že jsou téměř vždy bezúdržbová), ale nezanedbatelně, a to z důvodu své omezené životnosti. Jde o problém, který řeší majitelé starších vozů, a kterému tudíž není ze strany výrobců věnována velká pozornost. Z nápravy, která je u nového vozu oceňována pro své dobré jízdní vlastnosti a je řazena mezi výhody vozu, se tak mnohdy u staršího vozu stává finančně náročný problém, který je v nákupních rádcích naopak řazen mezi nevýhody vozu. Počet pružných lůžek a snadnost jejich výměny (jak bude zdůvodněno v kapitole 1.2) se na tomto problému také podílí.

Při měnicím se namáhání dochází k deformaci pružného lůžka, čímž se mění vzájemná poloha součástí, které jsou spojené přes pružné lůžko. Tím se mění geometrie zavěšení kol. Tato změna může být žádoucí a využívá se například při projíždění zatáček [2], [4]. Aby mohl být tento efekt využit, je potřeba přesně znát charakteristiku pružných lůžek.

## 1.2 KONSTRUKCE PRUŽNÝCH LŮŽEK

Při konstrukci pružných lůžek jsou určující vlastnosti pryže. V kontextu použití pro pružná lůžka je pryž levná, má dostatečnou životnost (ta ovšem závisí na prostředí, viz dále), nevyžaduje údržbu a má velké vlastní tlumení. Mezi nevýhody patří závislost životnosti na teplotě, počasí a působení chemických látek (například oleje) a dále pak s časem proměnlivá statická únosnost. Modul pružnosti a modul smyku je závislý na tvaru pružného lůžka a na směsi pryže a mění se také se zatížením a teplotou [4].

Dříve byla pouzdrová pružná lůžka konstruována častěji jako trubka v trubce, přičemž meziprostor je zcela vyplněn pryží. Takové jednoduché pouzdrové pružné lůžko je například na obrázku 3.

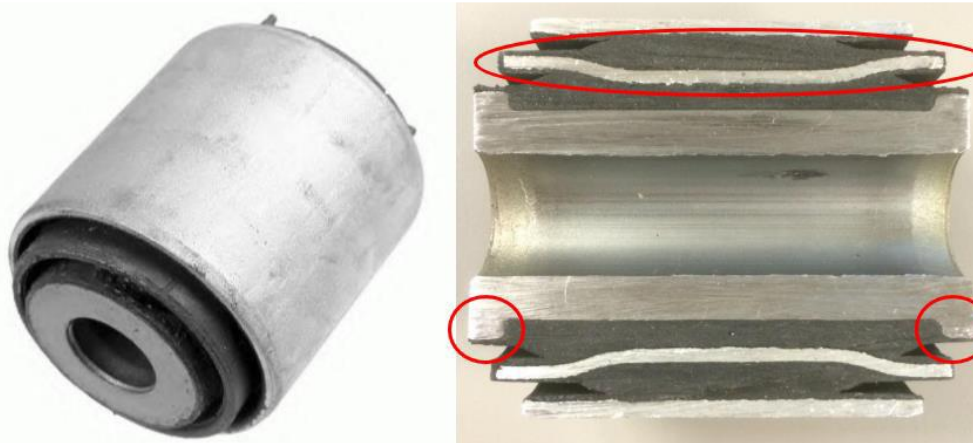


Obrázek 3 Jednoduché pružné lůžko pouzdrového typu [10]

Pryž může být předepjatá mezi kovovými součástmi, aniž by s nimi byla spojená, což bylo používáno hlavně v minulosti. Toto řešení je v českém prostředí známé například z uložení tlumičů zadní kyvné vidlice motocyklů Jawa. Druhou možností je spojení pryže s kovovými částmi pružného lůžka vulkanizací. Toto řešení se postupně prosadilo jako nejčastější. Mezi výhody patří to, že nehrozí, že by pryž postupně opustila své místo.

Jednoduché pružné lůžko ne vždy může splnit všechny požadavky, které jsou na něj kladeny. Proto vznikají konstrukce složitější, které obvykle směřují k úpravě charakteristiky pružného lůžka v některém směru.

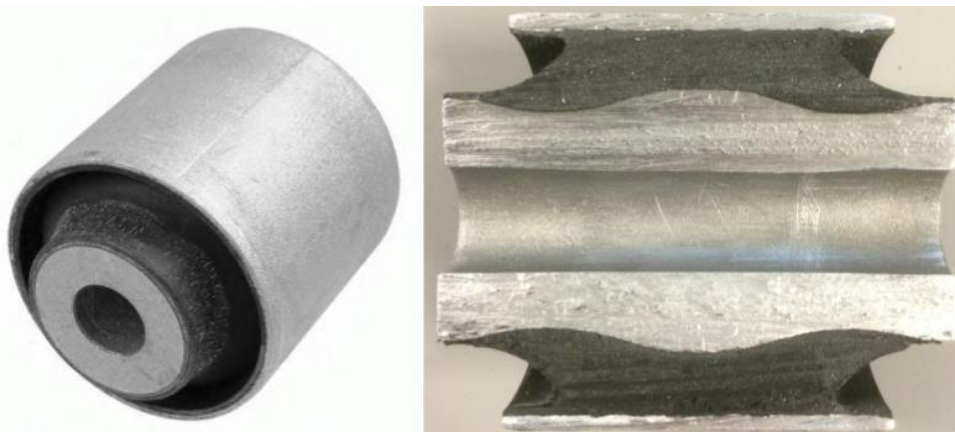
Mezi vnitřním a vnějším pouzdem pružného lůžka může být umístěna další trubka, která je z obou stran obklopena navulkanizovanou pryží. Pružné lůžko pak není tvořeno dvěma, ale třemi sousými trubkami, jak je vidět na obrázku 4. Mezery mezi nimi jsou vyplněny pryží. Toto řešení příliš nemění torzní charakteristiku, a přitom zmenšuje poddajnost v radiálním směru [8], [11].



Obrázek 4 Pružné lůžko se třemi pouzdry [11]

Často se u pružných lůžek vytváří v pryži mezery, které mění charakteristiku v určitém směru [9]. Pružné lůžko může mít v jednom směru větší tuhost kvůli prioritě zachování geometrie a v jiném směru zase může být preferována menší tuhost kvůli zabránění přenosu vibrací. Konkrétní příklad bude popsán v kapitole 1.4.

Další možností, jak tvarem pružného lůžka měnit jeho charakteristiku, je změna tvaru pouzder z jednoduchého válce na složitější tvar. Na příklad u pružného lůžka na obrázku 4 je speciálně tvarované prostřední pouzdro, které má uprostřed menší průměr než na krajích. Vnitřní pouzdro má na koncích osazení zvětšující plochu, na niž je pryž navulkanizovaná. Na obrázku 5 je pružné lůžko se speciálním vnitřním pouzdem, jehož vnější průměr se po délce plynule mění.



Obrázek 5 Pružné lůžko s vnitřním pouzdem s po délce proměnlivým vnějším průměrem [11]

Pružné lůžko je buď samostatným dílem, nebo pevnou součástí jiného dílu. V případě samostatného pružného lůžka je obvykle vnější pouzdro zalisováno do jiného dílu, obvykle ramene nápravy. Takové řešení umožňuje výměnu zteřelého pružného lůžka, aniž by bylo nutné měnit další díly, a tudíž tolik nezvyšuje servisní náklady a celkovou uhlíkovou stopu vozidla. Naopak je tomu v případě, kdy je pružné lůžko pevnou součástí například ramene nápravy. Z důvodu vysoké ceny dílu pak bývá výměna odkládána, což může vést i ke snížení bezpečnosti provozu vozidla v důsledku zhoršených jízdních vlastností.

### 1.3 MĚŘENÍ CHARAKTERISTIK PRUŽNÝCH LŮŽEK

Měření charakteristik pružných lůžek je důležitou disciplínou jak v reverzním inženýrství (pokud vlastnosti pružného lůžka nejsou známy), tak při výrobě pružných lůžek. Jelikož vlastnosti pryže se mění v čase, je potřeba měřit charakteristiky nejen u nového pružného lůžka, ale i po určité době provozu, aby bylo možno stanovit jeho přibližnou životnost. Takové testování je finančně velmi náročné.

Nabízí se možnost problém obejít tím, že se pružné lůžko zařadí mezi tzv. opotřebitelné díly. Na opotřebitelné díly se totiž žádná záruka nevztahuje a případné kladné vyřízení reklamace opotřebitelného dílu, který selhal extrémně brzy, je pak projevem dobré vůle výrobce. Tato praxe je běžná mimo jiné například u zemědělských strojů. Jedná se však o záležitost spíše obchodní a z technického pohledu je problém testování pružných lůžek velmi důležitý.

Pro namáhání pružných lůžek tahem slouží zařízení podobná zařízením pro zkoušky materiálů, běžně známým jako trhačky. Umožňují plynulé zvyšování zátěže a průběžné zaznamenávání posuvu i působící síly.

V případě dynamického namáhání mohou posloužit zařízení pro testování tlumičů. Umožňují cyklické zatěžování různou rychlostí a je tak možné nejen změřit charakteristiku pružného lůžka při dynamickém namáhání, ale také provádět únavové zkoušky.

Pro namáhání pružných lůžek krutem slouží zařízení umožňující pootáčení jednoho upínacího přípravku vůči druhému, přičemž je zaznamenáván působící moment a úhel pootáčení. Pohon takových zařízení bývá hydraulický.

Existují také zařízení, která mohou namáhat těleso, třeba pružné lůžko, tahem i krutem, případně kombinovaně. Takovým zařízením disponuje například Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava. Jak je vidět na obrázku 6, zařízení má dvoje hydraulické čelisti, jejichž vzájemná poloha se může hydraulicky měnit. Namáhání může být axiální (maximální silou 100 kN) nebo torzní (maximálním momentem 150 Nm). Pohyby jsou synchronizované a je tak možné provádět i kombinované namáhání [12].



Obrázek 6 Zařízení MULTI-AX pro axiální a torzní namáhání [12]

Pokud není testovací zařízení k dispozici, provádí se měření statických charakteristik pružných lůžek improvizovaným způsobem. Například na univerzitě v Göteborgu bylo pro radiální tahové statické namáhání pouzdrového pružného lůžka sestrojeno velmi jednoduché zařízení, které pro orientační měření splnilo účel. Jak je vidět na obrázku 7, zařízení se skládá z univerzálních upínacích dílů, mezi nimiž je pružné lůžko uchyceno pomocí závitové tyče. Kolem vnějšího pouzdra pružného lůžka je veden upínací popruh s ráčnou. Na popruh je přes siloměr připojen hydraulický válec, který se zasouvá [11]. Nevýhodou je, že zařízení neumožňuje žádné namáhání krutem a axiální namáhání tahem. Přesnost měření je ovlivněna mimo jiné pružností upínacího pásu, hmotností siloměru, a především hmotností hydraulického válce.

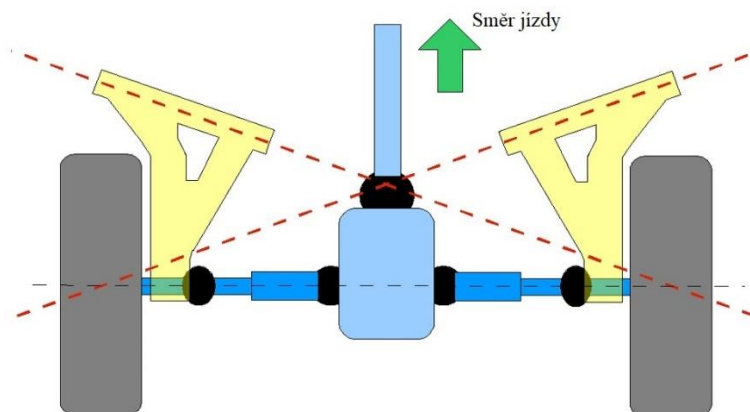


Obrázek 7 Zařízení pro měření statických charakteristik při radiálním namáhání tahem [11]



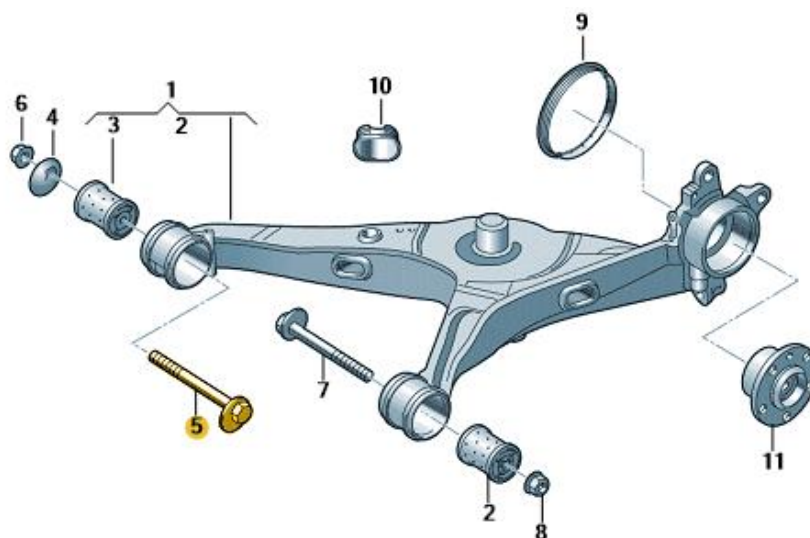
## 1.4 ZADNÍ NÁPRAVA VW MULTIVAN

Pružná lůžka zavěšení kol zadní nápravy automobilu VW Multivan jsou dobrým příkladem toho, že moderní pružné lůžko je velice sofistikovaným konstrukčním dílem. Obecně se v případě této zadní nápravy jedná o nápravu se dvěma samostatnými vlečenými rameny, jak je vidět na schématickém obrázku 8. Jde tedy o nezávislé zavěšení kol, což není pro užitková vozidla typické a přináší lepší jízdní vlastnosti.



Obrázek 8 Schéma zadní nápravy se dvěma vlečenými rameny [1]

Ramena jsou ke karoserii uchycena přes celkem 4 pružná lůžka (každé rameno přes dvě pružná lůžka). Ta umožňují kývání ramen, přičemž je pružné lůžko namáháno krutem. Aby se přitom pružné lůžko neprotáčelo v rameni, je vnější pouzdro do ramene zalisováno. Vnitřní pouzdro je k úchytku na karoserii přimontováno pomocí šroubu (pozice 5 a 7 na obrázku 9) a matice M14 (pozice 6 a 8 na obrázku 9), jak je vidět na obrázku 10. Šroubový spoj se utahuje nejprve momentem 120 Nm a potom se matice ještě pootočí o 180° [13]. Vzniká tak velké předpětí, které brání pootočení vnitřního pouzdra. Drážky ve vnitřních pouzdrech slouží pro nastavení správné polohy pružného lůžka při montáži a neslouží pro přenos momentu při namáhání pružného lůžka krutem. Šrouby procházejí excentrickými podložkami, jejichž pootočením před utažením šroubového spoje se nastavuje geometrie nápravy.

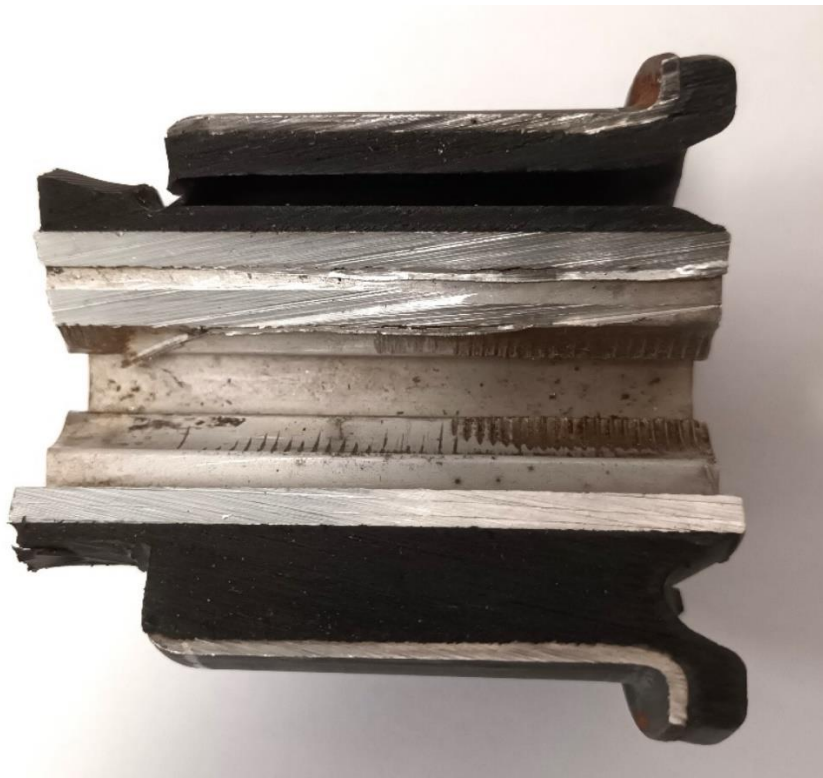


Obrázek 9 Levé rameno zadní nápravy VW Multivan T6.1 [13]



Obrázek 10 Levé rameno zadní nápravy, pohled proti směru jízdy

Obě pružná lůžka nemají prostor mezi pouzdry vyplněný pryží zcela, ale jsou zde mezery. Jejich tvar ovlivňuje charakteristiku pružného lůžka v různém směru. Velikost jedné z mezer je patrná z řezu na obrázku 11.



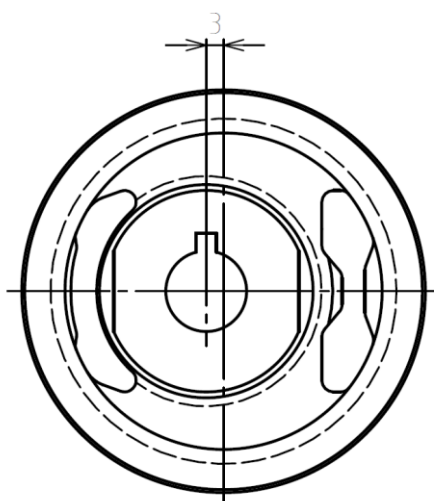
Obrázek 11 Řez vnějším pružným lůžkem

Z orientace pružných lůžek (viz obrázek 12) lze předpokládat, že v rámci konstrukce nápravy byla požadována větší radiální tuhost pružných lůžek v podélném směru (ve směru a proti směru jízdy vozidla) a menší tuhost ve svislém směru.



Obrázek 12 Orientace pružných lůžek v rameni

Vnitřní pružné lůžko je specifické tím, že jeho vnitřní a vnější pouzdro nemají společnou osu. Jejich osy jsou rovnoběžné a vzdálené od sebe 3 mm, jak je vidět na obrázku 13. Lze předpokládat, že důvodem je požadavek na jinou tuhost v kladném a záporném smyslu osy Z (viz souřadný systém popsany v kapitole 2).



Obrázek 13 Vzájemná poloha os vnitřního a vnějšího pouzdra vnitřního pružného lůžka



## 2 SOUŘADNÝ SYSTÉM

Kvůli přehlednosti a jednoznačnosti byl zvolen jeden souřadný systém, který je používán v rámci celé diplomové práce pro označení směru působení sil, směru pohybu a pojmenování jednotlivých variant zkušebního zařízení. Jedná se o kartézský pravotočivý souřadný systém.

Dvě testovaná pružná lůžka bylo potřeba od sebe jednoznačně odlišit, a proto jim byly přiřazeny názvy podle jejich polohy. Pružné lůžko nacházející se dále od podélné osy vozidla je v kontextu této diplomové práce nazýváno jako vnější. Pružné lůžko nacházející se blíže podélné osy vozidla je označováno jako vnitřní. Na obrázku 14 je vnější pružné lůžko a na obrázku 15 je vnitřní pružné lůžko.

Pro obě zkoumaná pružná lůžka je souřadný systém z principu stejný. Jak je patrné z obrázku 14 a obrázku 15, osa X je totožná s podélnou osou válce. Osy Y a Z jsou na tuto osu samozřejmě kolmé. Osa Y prochází částí pružného lůžka, která je bez odlehčení. Tedy v řezu rovinou XY je gumová část pružného lůžka tvořena plným materiálem. Osa Z prochází částí pružného lůžka s odlehčením. Tedy v řezu rovinou XZ jsou viditelné vzduchové mezery v gumové části pružného lůžka.



Obrázek 14 Zvolený souřadný systém pro vnější pružné lůžko

U vnitřního pružného lůžka nastává problém s tím, že osa vnitřního pouzdra není totožná s osou vnějšího pouzdra. Souřadný systém byl zvolen vzhledem k vnitřnímu pouzdru, ale ne ve všech případech namáhání je možné jej z konstrukčních důvodů dodržet a někdy je tedy namáhání v ose (případně kolem osy), která je vztažena k vnějšímu pouzdru.

Základní poloha zvoleného souřadného systému vnitřního pružného lůžka je na obrázku 15. Vnitřní pružné lůžko má v otvoru ve vnitřním pouzdru jednu drážku. Osu této drážky protíná kolmo osa Y. Vliv této drážky na tuhost pružného lůžka lze považovat za zanedbatelný. Nesmírně důležitá je však poloha vybrání v gumové části pružného lůžka. Stejně jako v případě vnějšího pružného lůžka i u vnitřního jimi prochází osa Z. Gumová část však u vnitřního pružného lůžka není symetrická kolem roviny XY. Vybrání ležící v kladném směru osy Z je menší než vybrání ležící v záporném směru osy Z. Lze očekávat, že se to projeví i v naměřených charakteristikách popsaných v kapitole 6.





Obrázek 15 Zvolený souřadný systém pro vnitřní pružné lůžko

Při zadávání naměřených charakteristik pružných lůžek do modelu v softwaru MSC Adams musel být tento zvolený souřadný systém porovnán s lokálním souřadným systémem prvku v modelu. Je nutno uznat, že konvence použitá v modelu bývá obecně častěji používána. Jelikož však bylo s modelem pracováno až nakonec, nebyl již z důvodu zachování přehlednosti souřadný systém měněn.

Změřené charakteristiky pružných lůžek pro jednotlivé osy byly přiřazeny příslušným osám souřadného systému modelu, tak aby vlastnosti modelu odpovídaly skutečnosti. Modelu v softwaru Adams je věnována kapitola 7.

### 3 POUŽITÁ MĚŘIDLA

V sestavách pro měření charakteristik pružných lůžek, popsanych v následující kapitole, jsou použity tři různé druhy měřidel. Tato měřidla slouží k měření síly a vzdálenosti. Jimi naměřené hodnoty budou dále použity přímo anebo poslouží pro výpočet momentu a úhlu.

#### 3.1 PŘEVODNÍK SÍLY S9M

Převodník síly S9M vyráběný firmou HBM (Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH) je tvořen ocelovým tělesem tvaru písmene S, které se při namáhání tahem deformuje. Tato deformace je snímána integrovanými tenzometry, díky nimž je získáván elektrický signál. Tento signál je pak dále zpracováván v příslušném modulu měřicí stanice a konečným výstupem je hodnota síly v Newtonech.

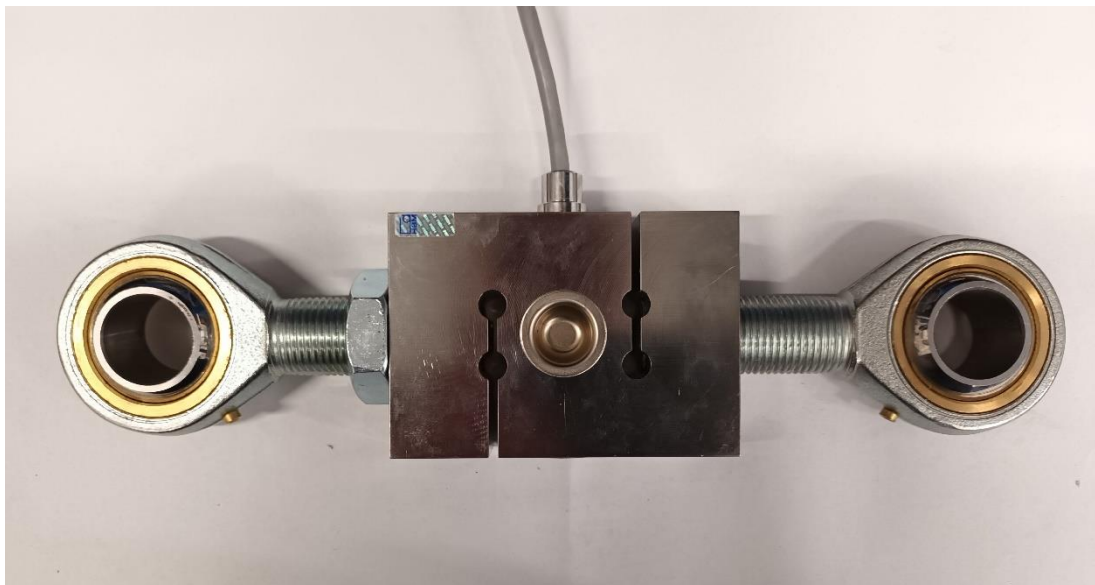
Ke každému převodníku S9M je dodáván testovací protokol s hodnotami pro kalibraci. Protokol je označen sériovým číslem výrobku a je přiřazen vždy ke konkrétnímu kusu. Pro maximální sílu a pro sílu 0 N je uveden výstup v mV/V. Tyto hodnoty zohledňuje software měřicí stanice, takže při výměně převodníku S9M za jiný kus (nebo v případě této diplomové práce jiný za kus s jiným rozsahem) je potřeba zadat hodnoty pro ten konkrétní kus, který je právě ke stanici připojen. Pak již není potřeba provádět další kalibraci. Přesnost měřidla je 0,02 %.

Díky tomu, že jsou tenzometry integrovány do základního tělesa, je celé zařízení chráněno proti vnikání prachu a vody na úrovni IP68 podle EN 60529 [14]. Taková ochrana je pro použití ve vnitřních prostorách laboratoře více než dostatečná.

Převodníky síly S9M jsou vyráběny ve variantách pro měření síly v tahu o velikosti do 500 N, 1 kN, 2 kN, 5 kN, 10 kN, 20 kN a 50 kN [14]. ÚADI disponuje variantami pro sílu do 2 kN a 20 kN. V případě pružných lůžek testovaných v rámci této diplomové práce byly použity právě tyto dvě varianty. Pro testování jiných pružných lůžek může být potřeba zakoupit převodníky síly s jiným rozsahem měření.

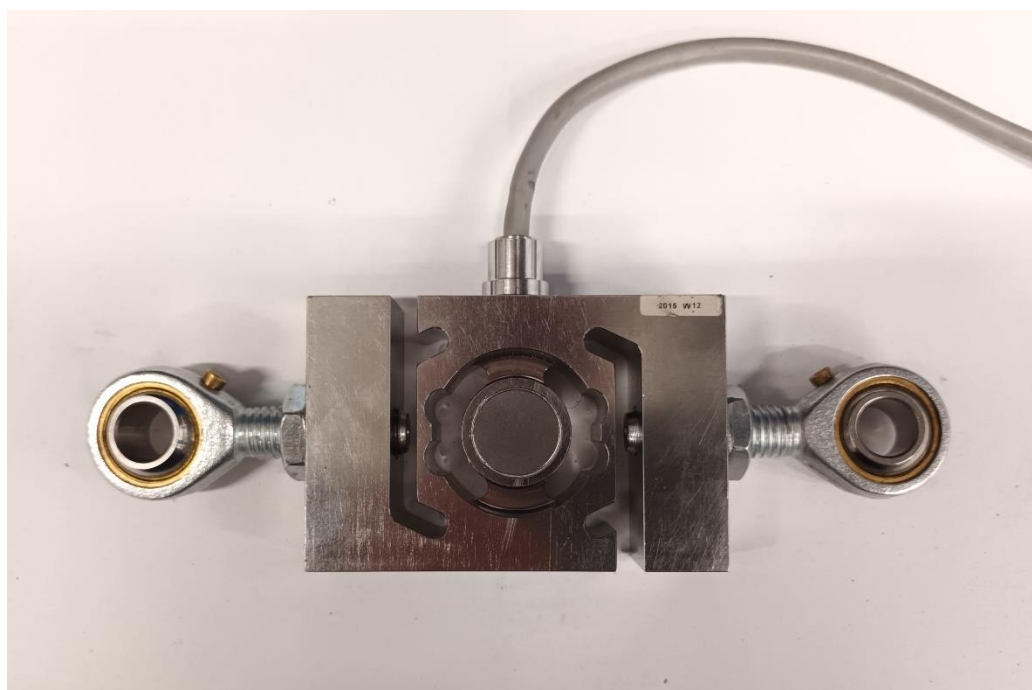
Do základního tělesa tvaru písmene S jsou na obou koncích zašroubována kloubová oka, jejichž velikost se samozřejmě liší podle toho, na jakou sílu je měřidlo dimenzováno. Připojení měřidla ke zbytku sestavy přes kloubová oka má tu výhodu, že chrání základní těleso před nežádoucím namáháním (například krutem), které by zkreslovalo výsledky měření a mohlo by také způsobit poškození měřidla.

Větší ze dvou dostupných převodníků síly, tedy do 20 kN má oka se závitem M24 a je na obrázku 16. Z obrázku je rovněž patrné, že chybí jedna ze dvou kontramatic, jimiž jsou kloubová oka v základním tělese zajištěna proti pootočení. Ovšem v případech, kdy hrozilo pootočení oka, muselo být pootočení celé sestavy zabráněno tak, aby nedocházelo k namáhání základního tělesa převodníku krutem. Proto absence této matice nebyla problémem.



Obrázek 16 Převodník síly S9M do 20 kN

Menší převodník síly do 2 kN má kloubová oka se závitem M12 a je na obrázku 17. Princip uchycení i fungování je stejný jako u většího provedení.



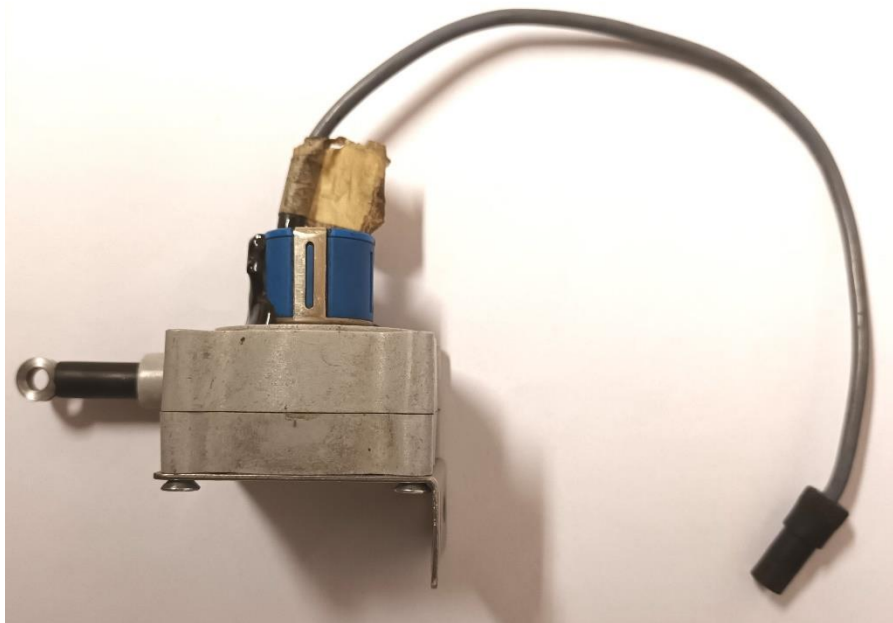
Obrázek 17 Převodník síly S9M do 2 kN

Převodníky síly jsou k dalším částem zkušebního zařízení připojeny buď přímo šrouby procházejícími kloubovými oky anebo přes adaptéry, které jsou popsány v kapitole 4.1.

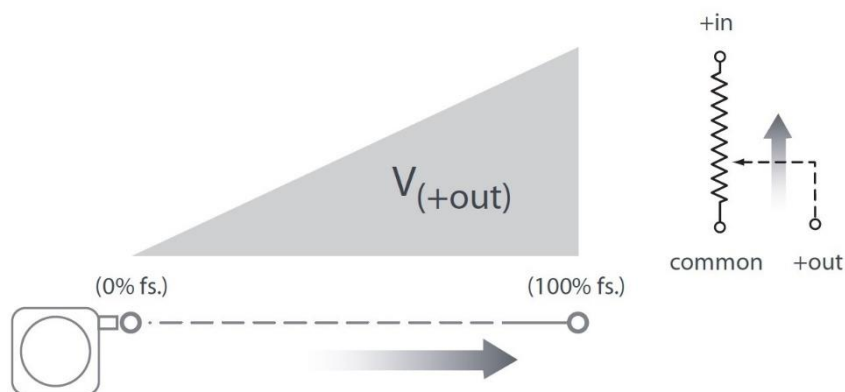
### 3.2 LANKOVÝ POTENCIOMETR SP1-25

Lankové potenciometry SP1, sloužící k měření vzdálenosti, byly dříve produktem firmy Celesco, později je nabízela firma TE Connectivity. Existuje několik variant SP1 lišících se délkou lanka. Délka lanka v palcích je uváděna v označení typu za pomlčkou. Použitý exemplář z produkce Celesco je typ SP1-25 a má tedy maximální délku lanka 635 mm [15].

Měřidlo je konstruováno jako naviják lanka a otáčení navijáku je snímáno potenciometrem. Konstrukční řešení je zřejmé z obrázku 18. Potenciometr je zapojený jako dělič napětí. Princip měření s takto zapojeným potenciometrem je zřejmý z obrázku 19. Hodnota výstupního napětí  $V_{(+out)}$  se s větší délkou vytaženého lanka zvětšuje. Lanko je vyrobeno z korozivzdorné oceli, je potaženo vrstvou nylonu a má průměr 0,48 mm [15].



Obrázek 18 Lankový potenciometr SP1-25



Obrázek 19 Princip fungování lankového potenciometru [15]

Před započítím měření je potřeba provést kalibraci měřidla. Ta spočívá v uložení hodnoty elektrického napětí pro nějakou malou délku lanka (bylo zvoleno 10 mm) a poté pro velkou délku lanka blízkou se maximální délce. Volba horního kalibračního bodu závisí na tom, jaká délka lanka se během měření bude využívat. Bylo zvoleno 600 mm, jelikož s touto délkou lanka bylo počítáno v konstrukčním návrhu zkušebního zařízení.

V případě správně provedené kalibrace udává výrobce přesnost měřidla 0,25 % [15]. Při maximální délce lanka 635 mm je to chyba 1,59 mm. Taková přesnost je pro měření posuvu při namáhání pružného lůžka tahem nedostatečná, a proto byla ve většině případů použita pro měření vzdálenosti bezkontaktní měřidla vzdálenosti HT-250 popsaná v kapitole 3.3.

Vlastnosti lankového potenciometru však byly s výhodou využity pro měření úhlu pootočení hřídele. K tomuto účelu by mohlo sloužit k tomu určené měřidlo, ovšem takovým měřidlem ÚADI nedisponuje a byla snaha využít dostupná měřidla, pokud to bude možné. Pro měření úhlu pootočení hřídele tedy byl navržen mechanismus s kruhovou výsečí namontovanou na hřídeli. Na kruhovou výseč se navíjí ocelové lanko o průměru 1 mm. Jeden jeho konec je sevřením uchycený na konci kruhové výseče, druhý konec je potřeba spojit s lankem potenciometru. Tím je umožněno využít měření délky lanka k měření úhlu.

Lanko potenciometru je zakončeno ocelovým kroužkem a gumovým válečkem, který slouží pro tlumení nárazu při rychlém navinutí lanka. Pro spojení lanka potenciometru a lanka na kruhové výseči byla zvolena lavinová šňůra kvůli tomu, že je velmi ohebná. Při napnutí navijákem lanka se napne těsně kolem ocelového kroužku a nevytváří nežádoucí pružnou smyčku, jejíž rozměr by se měnil i při malé změně zatížení. Pro spojení lavinové šňůry a ocelového lanka navíjeného na kruhovou výseč byla použita svorkovnice určená pro spojování elektrických vodičů. Vytváří pevné spojení bez nežádoucích pružných prvků. Provedení spojení lanek je na obrázku 20.



Obrázek 18 Spojení lanka potenciometru s lankem na kruhové výseči

Při pohybu kruhové výseče, a tedy i pohybu obou lanek by mělo docházet jen k minimální změně zatížení lanka, a tedy i lavinové šňůry. Toho je docíleno tím, že při zpracovávání měření jsou brány v potaz jen klidové stavy. Změna zatížení by mohla být způsobena jen charakteristikou pružiny navijáku lanka.

Jelikož k lavinové šňůře nebyly k dispozici žádné charakteristiky, bylo provedeno vlastní orientační měření. Při zatížení tahem silou 0,3 N byla délka zkušební vzorku šňůry 1007 mm. Při zatížení silou 2,5 N byla délka 1018 mm a při 10,7 N to bylo 1033 mm. V sestavě má však použitá šňůra délku jen 37 mm. I kdyby došlo ke změně zatížení o 2,2 N, což není předpokládáno, znamenalo by to protažení použité šňůry o 0,4 mm.

Použití lavinové šňůry vnáší do měření chybu, ovšem ta je, jak bylo ukázáno, velmi malá a pro účely této práce akceptovatelná. V záležitosti spojení dvou ocelových lanek však je nadále prostor pro zlepšení.

Poloměr kruhové výseče byl při konstrukčním návrhu přizpůsoben předpokládanému úhlu pootočení a dostupné délce lanka potenciometru. V zájmu docílení větší přesnosti by bylo možné navrhnout kruhovou výseč o ještě větším poloměru a zakoupit lankový potenciometr s delším lankem. Existuje provedení s délkou lanka 1270 mm [15]. Pro použití v této diplomové práci se však jevil stávající SP1-25 jako dostatečný a byl tedy použit. Při poloměru kruhové výseče 400 mm (což je hodnota vhodná pro dostupnou délku lanka a předpokládaný úhel pootočení hřídele) je totiž chyba měření úhlu  $0,223^\circ$ . O kruhové výseči je v kontextu zbytku sestavy pojednáno v kapitole 4.2 a její rozměry jsou na výkrese DPKH07.

### 3.3 BEZKONTAKTNÍ MĚŘIDLO VZDÁLENOSTI HT-250

Pro měření posuvu byla použita bezkontaktní laserová měřidla vzdálenosti HT-250 od firmy CORRSYS-DATRON Sensorsysteme. Měřidlo je primárně určeno jako senzor výšky, například proměření výšky karoserie automobilu nad vozovkou při jízdě. Senzor funguje na principu optické triangulace, kdy světlo odražené od povrchu je kolimováno na citlivé pole a podle toho, která část pole je osvětlena, je určena vzdálenost povrchu [16]. Laser má výkon do 5 mW, vlnovou délku 660 nm a patří do třídy 3R podle DIN EN 60825-1:2001-11 [16]. Signál ze senzoru, jímž je přenášena informace o naměřené vzdálenosti, je zaznamenáván v centrální stanici, kam jsou zapojena i ostatní použitá měřidla. Hodnoty jsou zapisovány pro všechna měřidla zároveň a s časovým údajem.

Přesnost senzoru HT-250 je 0,1 mm [16], což je pro účely této práce dostačující. Stejně přesnosti by sice bylo možné dosáhnout i při použití obyčejného posuvného měřidla, ovšem v takové řešení by vyžadovalo ruční zápis naměřených hodnot, měření by trvalo déle, a především by vyvstalo velké riziko lidské chyby, která by mohla změřením zbytečně znehodnotit.

Senzor funguje pro měření vzdálenosti od 80 do 330 mm [16], což jsou hodnoty vhodné právě pro zmíněné měření výšky karoserie automobilu nad vozovkou. V případě měření charakteristik pružných lůžek je potřeba zaznamenávat posuvy maximálně v řádech desítek milimetrů, takže rozsah měřidla je plně dostačující.

Velikost tečky, která je vidět na osvětlovaném povrchu, má být zhruba 1 x 2 mm [16]. Praxe ukázala, že tečka má spíše tvar kruhu o průměru zhruba 3 mm. Součástí, na něž dopadá



laserový paprsek, byly navrhovány tak, aby kolem této tečky bylo ještě dost místa pro případ, že by došlo k neočekávanému vychýlení. Jedná se konkrétně o součásti s čísly výkresů DPKH20, DPKP04, DPTH01 a DPTP03. Na určeném místě byla vždy nakreslená značka, aby bylo možné vizuálně kontrolovat, že je tečka vždy na stejném a správném místě.

V případě lesklých kovových povrchů může docházet k odrazům světla i od jiných povrchů než od toho měřeného a tím k nežádoucímu ovlivnění měření. Tomu bylo předcházeno polepením potenciálně problematických povrchů textilní páskou, která má matnější povrch.

Celý senzor je chráněn hliníkovým tělem 65 x 50 x 20 mm a je odolný proti vnikání prachu a vody na úrovni IP65 podle EN 60529 [16]. Tvar pouzdra a umístění okének pro senzor je vidět na obrázku 21. V pouzdře jsou dvě díry určené pro šrouby M3, jimiž je možné senzor uchytit k dalším součástem. K tomu byl ve všech případech použit vlastnoručně vyrobený plechový držák (číslo výkresu DPKH10).

Jak již bylo uvedeno, přesnost měřidla i rozsah jsou pro účely této diplomové práce vhodné a jelikož ÚADI disponuje hned několika kusy těchto senzorů, byly použity ve všech variantách měření charakteristik pružných lůžek. Uspořádání však bylo různé, jak bude podrobněji popsáno v kapitole 4. Většinou byl použit jen jeden senzor pro zaznamenávání posuvu svěrného pouzdra na pružném lůžku, případně pohybu páky. V případě krutu kolem osy X byly použity dva senzory pro zjištění pootočení jedné části sestavy.



Obrázek 19 Bezkontaktní měřidlo vzdálenosti HT-250

## 4 ZKUŠEBNÍ ZAŘÍZENÍ

Návrh a výroba zkušebního zařízení pro měření charakteristik pružných lůžek zavěšení kol je nejvýraznějším cílem této diplomové práce. Oproti prvotním očekáváním se návrh ukázal jako mnohem náročnější. To je způsobeno především tím, že jedno z testovaných pružných lůžek nemá souosé vnitřní a vnější pouzdro. Největší komplikace to přináší pro návrh sestavy pro krut kolem osy X, jak bude blíže popsáno v kapitole 4.2.

Pro vytvoření zkušebního zařízení byly použity některé nakupované díly a také velké množství na míru vyráběných součástí. Pokud to bylo možné, vyráběl tyto součásti autor diplomové práce sám. Některé výrobní operace, vyžadující vybavení, kterým autor práce ani ÚADI nedisponuje, byly provedeny na zakázku. Šlo například o frézování čtyřhranů nebo soustružení. Rovněž byly na zakázku provedeny veškeré sváry, jelikož svařování vlastními silami autora práce by sice bylo možné, ale bylo by časově výrazně náročnější a nedosáhlo by se takové kvality.

Některé plechové díly byly vytvořeny na zakázku jako výpalky laserem. Tloušťka pálených plechů byla 2 mm a 4 mm. Podrobněji bude o účelu a konstrukci těchto dílů pojednáno v kapitolách týkajících se konkrétního zkušebního zařízení, kde jsou použity. Díly z plechu o tloušťce 0,7 mm vyráběl autor práce sám.

Všechny varianty zkušebního zařízení jsou uchyceny k montážní desce s T drážkami, která je zabudovaná v podlaze laboratoře ÚADI. Tato deska poskytuje pevnou základnu pro montáž zařízení. Na desku s drážkami jsou součásti sestavy přimontovány buď přímo anebo s pomocí desek tvaru písmene L, které mají podlouhlé díry a umožňují variabilní uchycení. K dispozici byl jeden kus L desky od firmy Warco, která má jednoduché provedení bez žeber, ale silnější stěnu. Tvar je vidět na obrázku 22. Dále pak dva kusy velice podobných desek od neznámého výrobce, které jsou vyztužené žebry.



Obrázek 20 Upínací L deska Warco ZDROJ ANGLE PLATES



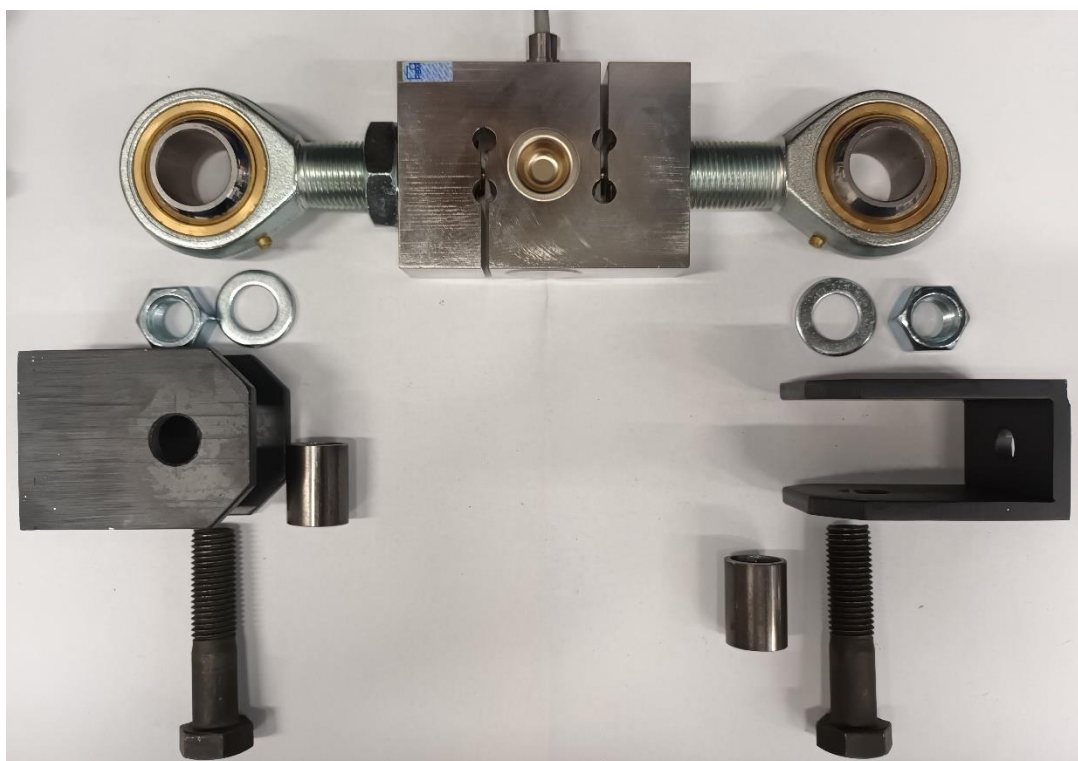
#### 4.1 ADAPTÉRY PRO UCHYCENÍ PŘEVODNÍKŮ SÍLY

V některých případech byla oka převodníků síly S9M (popsaných v kapitole 3.1) uchycena přímo k páce a podobně, jindy však bylo potřeba převodník síly uchytnit ke šroubu, jehož osa je totožná s osou, v níž působí měřená síla. Použit šroub, který by se šrouboval přímo do závitu v základním tělese měřidla by nebylo vhodné z důvodu přenosu nežádoucího namáhání na měřidlo. Jak již bylo uvedeno, tento problém řeší kloubová oka. Pro uchytní šroubu k těmto okům byly vyrobeny adaptéry tvaru písmene U.

Byly vytvořeny dvě varianty pro různou velikost ok. Větší varianta je určena pro převodník síly do 20 kN a je vidět na obrázku 23. Je vyrobena na zakázku ze tří kusů ocelové pásoviny tloušťky 6 mm, jak je vidět na výkresu DPAD02.

K upevnění kloubových ok ve větších U adaptérech slouží šrouby M16. Na ně jsou v rámci snahy o ochranu kloubových ok nasazeny kousky ocelových trubek. Nejlepším řešením by byla na míru vyrobená válcová vložka s vnitřní dírou pro šroub a vnějším průměrem vhodným do oka. Vzhledem k velikosti sil, kterými je soustava zatěžována, však bylo předpokládáno, že řešení s trubkami bude dostačující. Tento předpoklad se v praxi potvrdil, na trubkách nevznikl žádný otisk od šroubu. Výroba speciálních vložek nebo volba větších šroubů by tedy byla nevhodná, jelikož by nepřinesla žádnou praktickou výhodu, a naopak by zvětšovala již tak značnou hmotnost sestavy.

U částí sestavy, které jsou opřené o základní desku, větší hmotnost nijak nevádí. Ovšem některé součásti jsou nad podložkou a tíhová síla, která na ně působí, vnáší do soustavy další nežádoucí namáhání. Cílem proto je, aby jeho velikost nebyla větší, než je v rámci konstrukčních možností nutné.

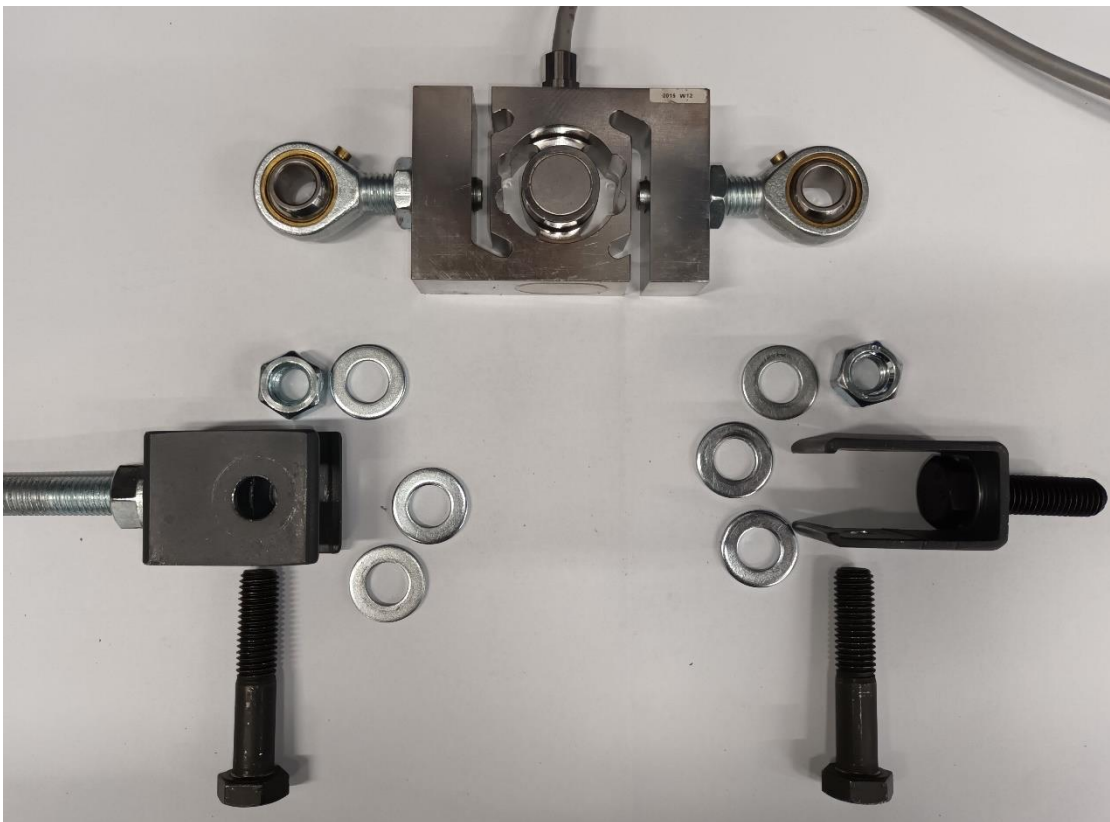


Obrázek 23 Převodník síly do 20 kN s oky a adaptéry

Na obrázku 24 je vidět převodník síly do 20 kN smontovaný s oky a U adaptéry. Zmiňované ochranné trubky jsou nasazeny na šroubech a jsou tedy skryté uvnitř ok. Šrouby M12 určené pro připojení této sestavy ke zbytku měřicího zařízení je nutné nasadit do U adaptérů a případně je také utáhnout ještě před montáží ok. Velikost U adaptéru je navržena tak, aby se do nich vešla nejen šestihránná hlava šroubu, ale také válcová hlava s vnitřním šestihranem, která je vyšší. Dostatek místa pro vyšší hlavu šroubu je patrný i z obrázku 24.

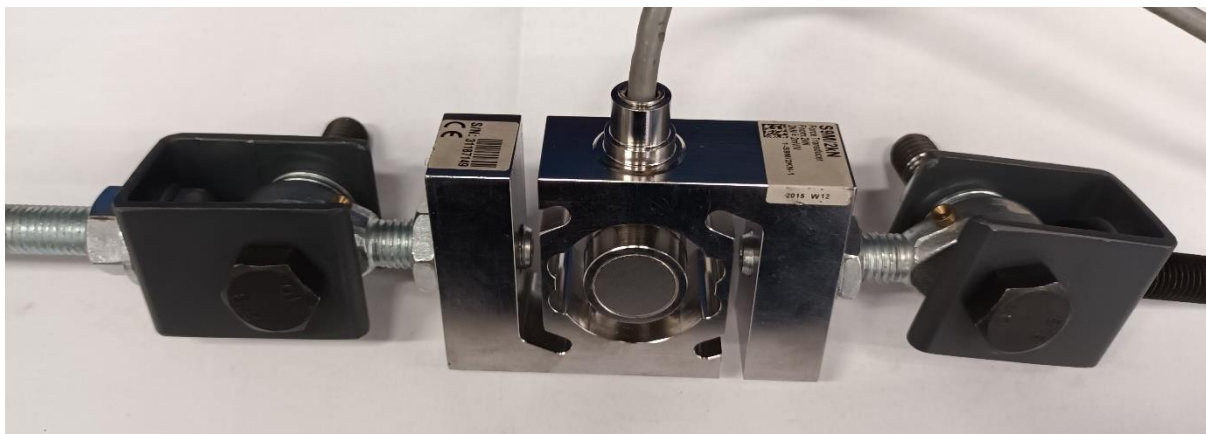


Obrázek 21 Převodník síly do 20 kN s namontovanými oky a adaptéry



Obrázek 25 Převodník síly do 2 kN s oky a adaptéry

Menší varianta U adaptéru pro převodník síly do 2 kN má stejný účel jako větší provedení, je však vyráběna zcela jiným způsobem. Byl využit ocelový profil, z nějž jsou vyrobeny i páky používané u zkušebního zařízení pro krut kolem osy X popsaného v kapitole 4.2. Tento profil byl uříznut na potřebnou délku, následně do něj byly vyvrtány díry pro šrouby a teprve pak byla odřezána jedna stěna. Výrobu provedl autor práce sám. Rozměry jsou na výkresu DPAD01. Toto řešení je hospodárnější než výroba z pásoviny, a přitom jsou rozměry adaptéru kompaktní (jak je vidět na obrázku 25 a 26), umožňují pohodlnou montáž a sestava nemá zbytečně velkou hmotnost.



Obrázek 22 Převodník síly do 2 kN s namontovanými oky a adaptéry

Jelikož je vnitřní rozměr profilu větší, než je potřeba pro kloubové oko, jsou na šroubu M12 nasazeny další podložky, které jsou vidět na obrázku 25. Šrouby M12 jsou záměrně vybrány s dřikem, aby nehrozilo poškození vnitřní válcové plochy oka otlačením závitu.

## 4.2 KRUT KOLEM OSY X

Zkušební zařízení pro namáhání krutem kolem osy X je ze všech zařízení nejsložitější. Jeho složitost je způsobena především snahou přizpůsobit zařízení i pro měření charakteristik pružných lůžek, která nemají totožnou osu vnějšího a vnitřního pouzdra. Tak je tomu v případě testovaného vnitřního pružného lůžka.

Během vývoje konstrukčních návrhů byla uvažována různá více či méně složitá řešení tohoto problému, která přinášela různé nevýhody. Vždy se jednalo o vznikající nepřesnosti vnášející chyby do měření, někdy ještě navíc kombinované s nepřiměřenou složitostí sestavy a finančně neúnosnou náročností výroby.

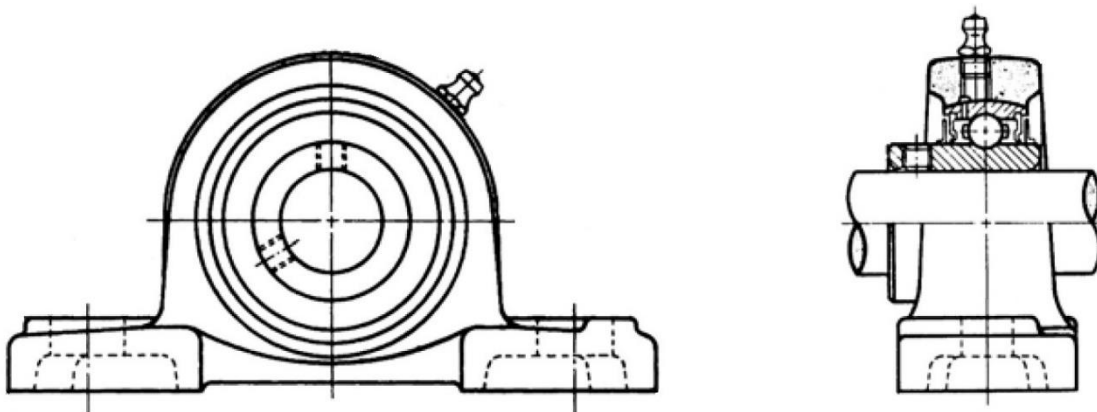
Jako nejvhodnější bylo vybráno řešení s kloubem, kdy moment je nepřímě měřen až za kloubem. Součástí naměřené charakteristiky by tedy nebyla jen charakteristika pružného lůžka, ale také kloubu. Součástí je samozřejmě i charakteristika všech dalších prvků v řetězci, ale pouze u kloubu lze předpokládat relevantně velký vliv.

Pokud by však byl vliv kloubu změřen, bylo by možné jej od naměřené charakteristiky odečíst a dostat charakteristiku samotného pružného lůžka. Proto bylo sestrojeno zařízení pro měření pootočení vnějšího pouzdra pružného lůžka. Vnější pouzdro by se v ideálním případě (dokonale tuhý kloub a celá sestava) nemělo vůbec hýbat. Toto zařízení bylo nainstalováno na

svěrné pouzdro, v němž je pružné lůžko upnuté. Díky tomu je jím zjištěn nejen vliv kloubu, ale i případný vliv deformace hřídele, páky a převodníku síly a jeho uchycení.

Obecně se zkušební zařízení skládá ze dvou hřídelí, přičemž jedna se pootáčí a druhá stojí. Tyto hřídele jsou vzájemně spojeny pružným lůžkem, které je tak namáháno krutem. Pokud je však pružné lůžko nesouosé, nemohou být souosé ani tyto hřídele, a proto byl použit zmiňovaný kloub.

Hřídele jsou uloženy pomocí ložiskových těles UCP 206 (viz obrázek 27), která jsou určena pro hřídel o průměru 30 mm. Právě podle průměru hřídele byla volena velikost ložiskových těles. Tato ložisková tělesa jsou podle dokumentace prodejce určena pro dynamické zatížení 18,6 kN a statické zatížení 10,8 kN [18]. To je pro toto zkušební zařízení více než dostatečné, neboť ložisková tělesa zachytávají reakci na sílu o velikosti maximálně 2 kN, což je omezení použitého měřidla.



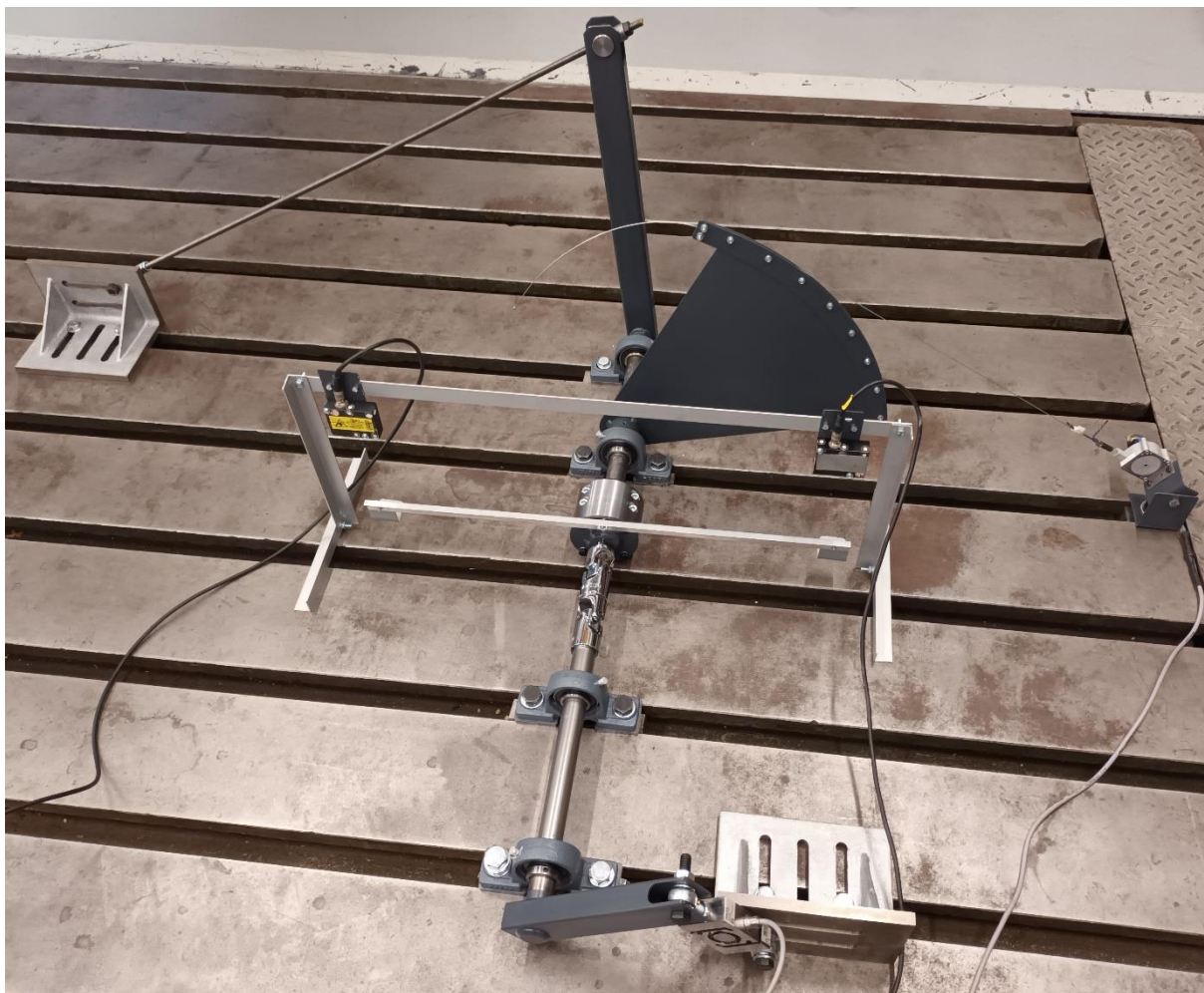
Obrázek 23 Ložiskové těleso UCP [18]

Ložisková tělesa mají v patkách díry pro šrouby o velikosti maximálně M16, jimiž budou uchycena k základní desce s T drážkami. Na vnitřním pouzdru ložiska jsou dvě závitové díry pro stavěcí šrouby, jak je vidět na obrázku 27. Ty lze použít jednak pro zachycení malých axiálních sil (což ale nebylo potřeba) a jednak pro vymezení vůle mezi pouzdrem ložiska a hřídelem (což také nakonec nebylo potřeba).

Jelikož ložisková tělesa nejsou dostatečně vysoká, jsou podložena speciálními podložkami vyrobenými jako výpalek z plechu. Jejich rozměry jsou na výkresu DPKH21. Pro každé ložiskové těleso byly potřeba celkem 4 kusy těchto podložek. Množství závisí na vnějším průměru svěrného pouzdra, které je namontováno na vnějším pouzdru pružného lůžka.

Nyní bude zkušební zařízení popsáno postupně od jednoho pevného konce k druhému. Přitom bude uvedeno, z jakých součástí se zařízení skládá a jaký je jejich význam. Celkový přehledný pohled na zařízení je na obrázku 28. Poloha součástí je označena na výkresu DPKH50.





Obrázek 28 Celkový pohled na sestavu pro krut kolem osy X

Pootočení hřídele je vyvoláváno přes páku pomocí utahování matice na závitové tyči. Závitová tyč je zachycená jedním koncem pomocí oka ke šroubu v upínací L desce, jak je vidět na obrázku 29.



Obrázek 29 Uchycení konce závitové tyče

Toto uchycení s okem zachytává jednak axiální tahovou sílu v závitové tyči a jednak brání otáčení závitové tyče. Na obrázku 29 je stav před zatížením, při prvním pootočení maticí se pootočí i oko, opře se a dále už se neotáčí. Závitová tyč je tedy pevná, zatímco matice na jejím opačném konci (viz obrázek 30) je pohyblivá.

Závitová tyč je s pákou (výkres DPKH11) spojená prostřednictvím čepu s dírou a s vyfrézovanou ploškou (viz výkres DPKH01). Kdyby byla matice přímo na této plošce, nešlo by nasadit klíč. Proto je pod maticí vložen distanční váleček (výkres DPKH15), který zároveň brání čepu v axiálním pohybu. Tento konstrukční uzel je na obrázku 30 a musí se mazat.



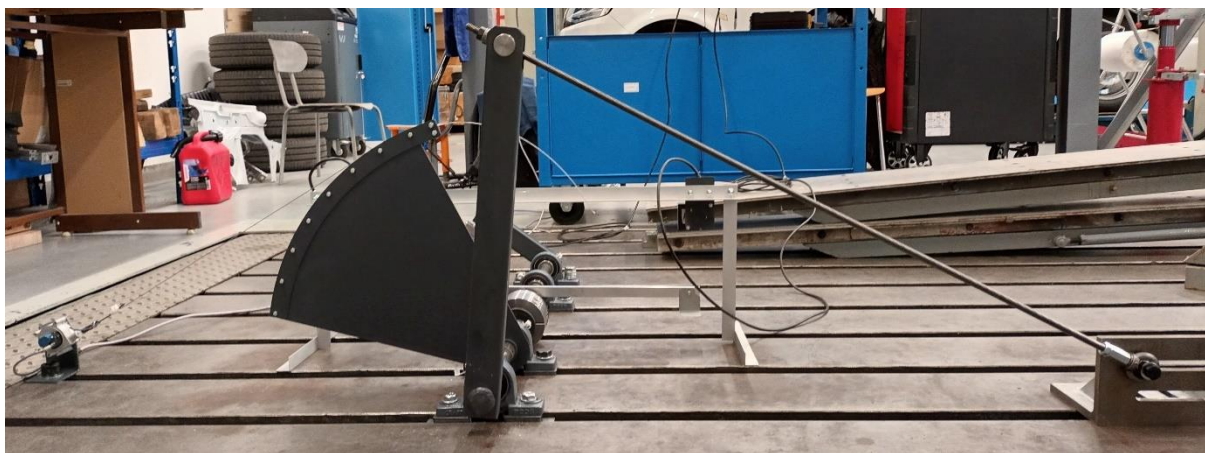
Obrázek 24 Spojení závitové tyče a páky

Mezi pákou a závitovou tyčí je ve výchozí poloze (bez zatížení) ostrý úhel, jak je zřejmé z obrázku 31. Při postupném utahování matice, a tedy pootáčení páky a zkroucení pružného lůžka se bude tento úhel zvětšovat a přibližovat k pravému úhlu. Díky tomu se síla potřebná pro pootáčení maticí nezvětšuje tak rychle, jako kdyby byl úhel neměnný (což není konstrukčně možné). Opačný efekt, tedy výraznější zvětšování ovládací síly, by nastal, kdyby byl úhel ve výchozí poloze  $90^\circ$  a pak se dále zvětšoval. Univerzálnost zkušebního zařízení by sice takové sestavení umožňovala, avšak z uvedeného důvodu to není vhodné. To, že se úhel mění, nemá na přesnost měření žádný vliv, neboť pootočení je měřeno na hřídeli.

Závitová tyč je vhodná pro zatížení tahem, nikoliv však tlakem (hrozí ztráta vzpěrné stability). Pro kroucení pružného lůžka opačným směrem je proto potřeba sestavu přeskládat.



Páka, kterou je pohybováno pomocí závitové tyče, je svarem spojená s hřídelem, na jehož konci je nasazeno pružné lůžko. Pootáčení hřídele je zaznamenáváno pomocí lankového potenciometru SP1-25, který byl blíže popsán v kapitole 3.2. Jeho lanko je spojeno s dalším lankem, které se navíjí na kruhovou výseč, jak je vidět v levé části obrázku 31.



Obrázek 31 Boční pohled na sestavu pro krut kolem osy X

Kruhová výseč je tvořena plechovým výpalkem navařeným na soustružený kroužek (výkres svarku DPKH22). Kroužek je proti pootočení na hřídeli zajištěn dvěma stavěcími šrouby. Lanko je na obvodu kruhové výseče vedeno dvěma dalšími plechovými výpalky, které jsou s kruhovou výsečí spojeny šrouby. Na konci je lanko sevřené mezi těmito dvěma plechy. Tento svěrný spoj umožňuje při povolení dvou šroubů seřízení délky lanka.

Při známém poloměru kruhové výseče se podle délky lanka měřeného potenciometrem určí úhel pootočení hřídele. Poloměr kruhové výseče byl zvolen co největší, protože při větším poloměru je pro stejný úhel pootočení potřeba delší lanko a tím se přesnost měření zlepšuje. Omezení je dáno maximální dostupnou délkou lanka (viz kapitola 3.2) a požadovaným úhlem pootočení. I když v případě zadní nápravy VW Multivan nedochází k pootočení pružného lůžka o více než 15° oběma směry, bylo zkušební zařízení navrhováno tak, aby umožnilo pootočení o 45° a bylo univerzálně vhodné i pro jiná pružná lůžka, u nichž by bylo potřeba znát charakteristiku i pro takto velké pootočení. V případě takto velkého pootočení by bylo potřeba nastavit jinou počáteční polohu, aby se v celém průběhu docílilo výhodného efektu změny úhlu závitové tyče, který byl popsán na předchozí straně.

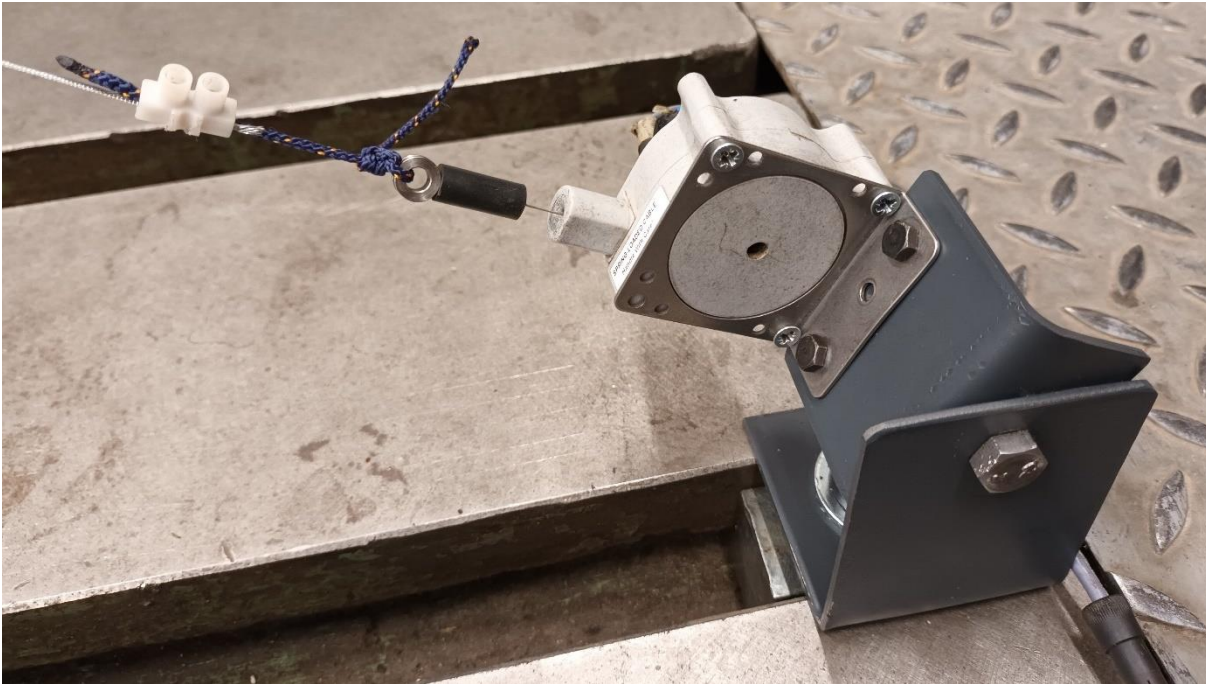
Podle uvedených omezení byl zvolen poloměr kruhové výseče 400 mm. Použité ocelové lanko má průměr 1 mm. Při započtení poloviny tloušťky lanka bude pro výpočet úhlu použit poloměr  $R$  o velikosti 400,5 mm. Úhel pootočení  $\alpha$  se tedy určí podle rovnice:

$$\alpha = \frac{l \cdot 360}{2 \cdot \pi \cdot R}$$

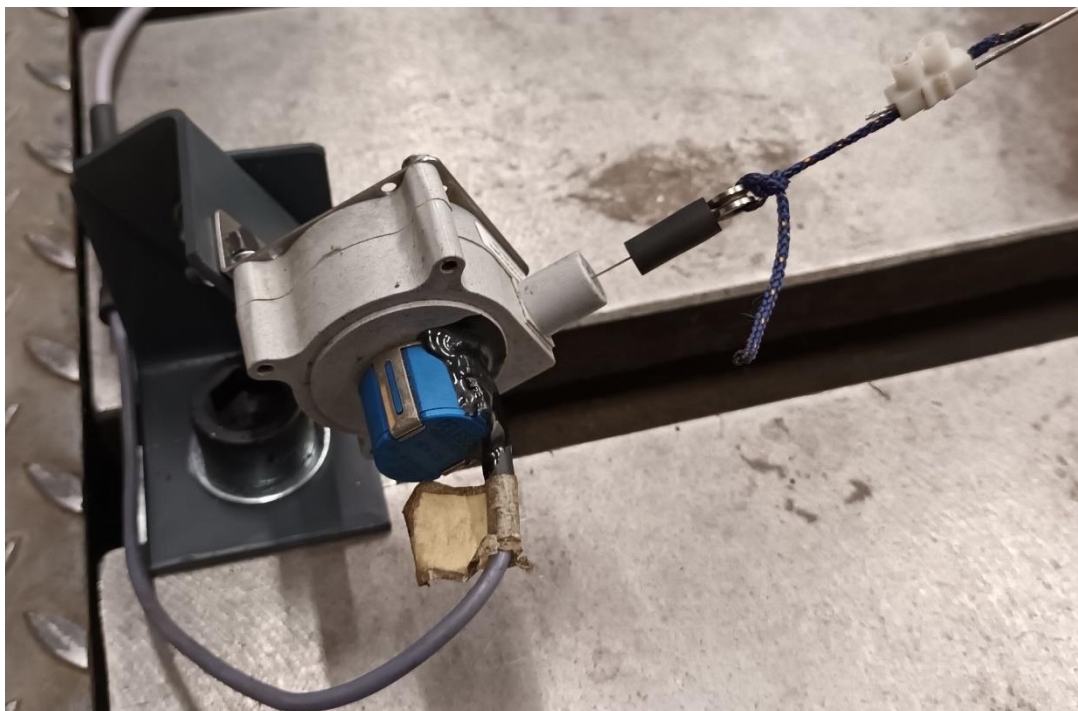
kde  $l$  je délka lanka, které bylo při pootočení vytaženo z navijáku.

Lankový potenciometr je uchycen k desce s T drážkami pomocí dvoudílného držáku (výkresy DPKH08 a DPKH09), který je vidět na obrázku 32 a obrázku 33. Díly jsou spojeny jedním šroubem umožňujícím nastavení sklonu lankového potenciometru. To je důležité proto, aby lanko do těla měřidla zabíhalo plynule a zbytečně se neotíralo o stěnu otvoru a nevznikalo tak

nežádoucí tření. Součástí potenciometru je plechový úchyt, přes nějž je dvěma šrouby připevněn k horní části držáku.



Obrázek 32 Držák lankového potenciometru – první pohled



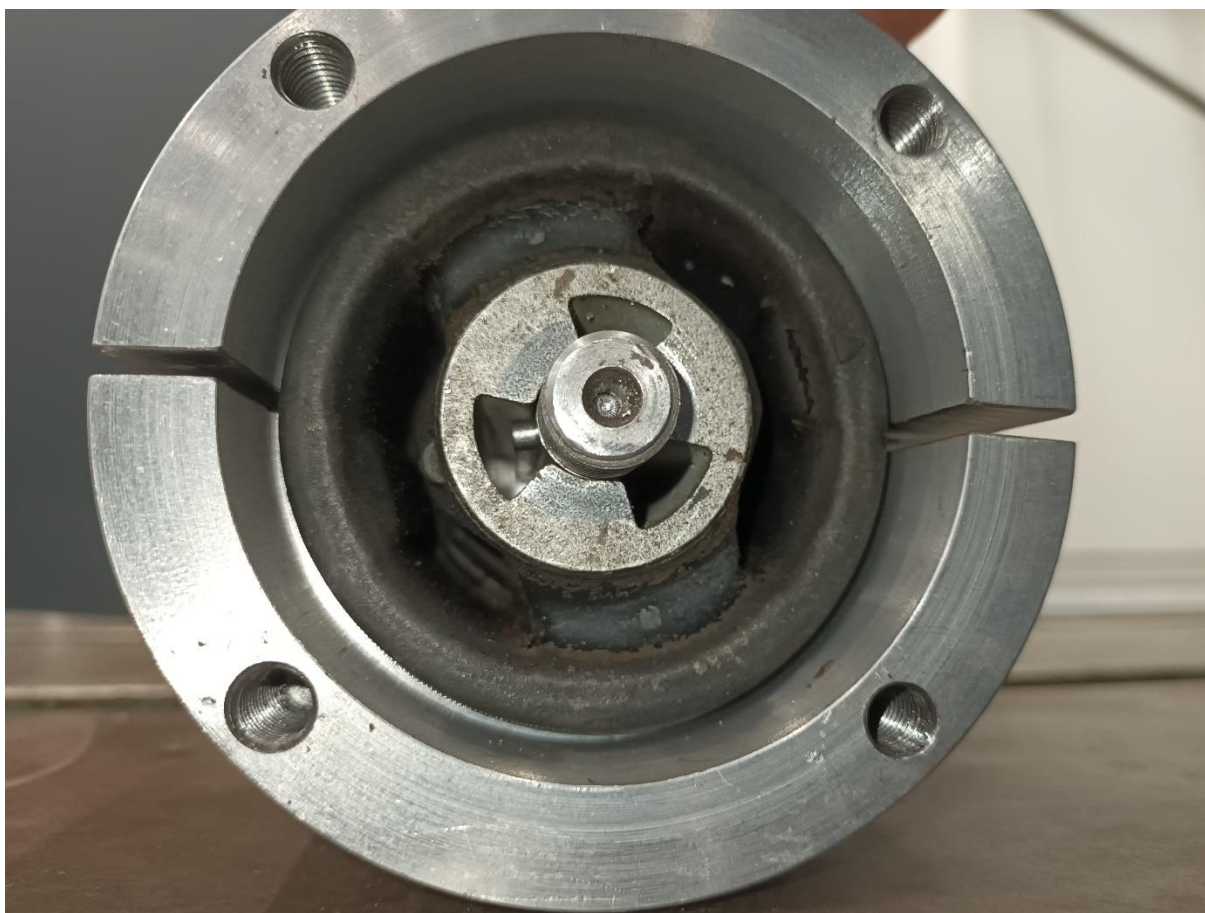
Obrázek 33 Držák lankového potenciometru – druhý pohled

Řešení spojení lanka potenciometru a lanka navíjeného na kruhovou výseč již bylo popsáno v kapitole 3.2. V základní poloze je lanko potenciometru trochu povytažené, aby byla jistota, že bude už od začátku měření napnuté.



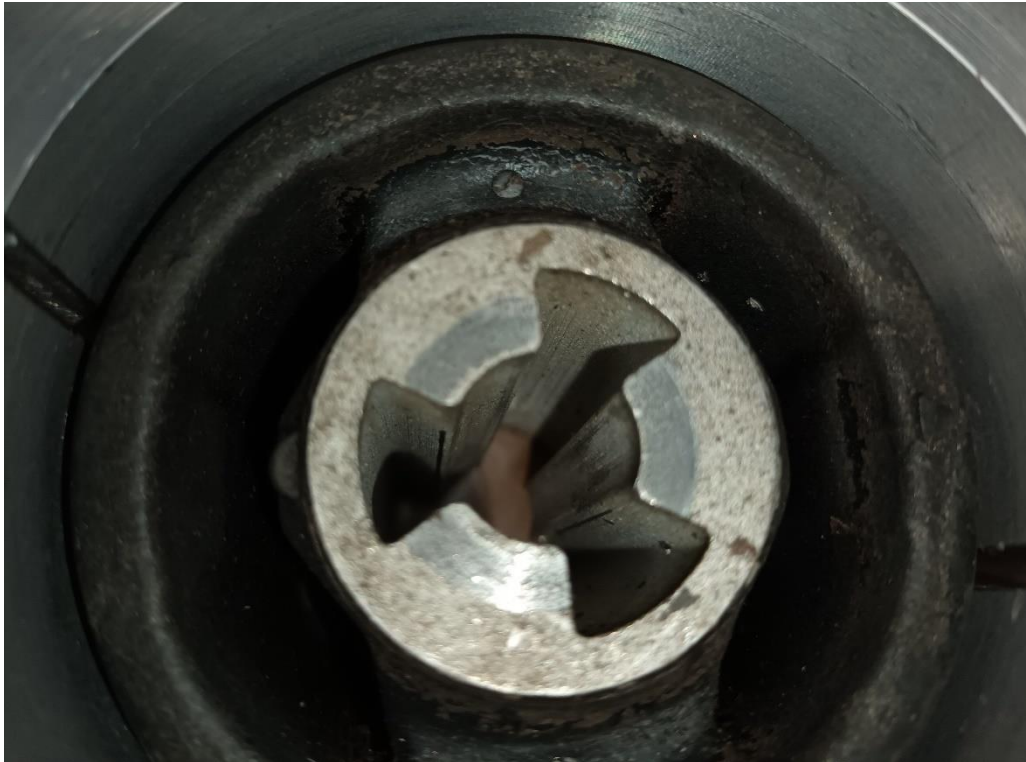
Na konci hřídele je nasazeno vnitřní pouzdro pružného lůžka. Proto má konec hřídele menší průměr a drážku pro pero, jak je vidět na výkresu DPKH03. Drážka pro pero nemá některé rozměry (konkrétně hloubku) podle normy, neboť bylo potřeba, aby bylo pero o něco více ve vnitřním pouzdru pružného lůžka než v hřídeli. Drážka v hliníkovém vnitřním pouzdře vnitřního pružného lůžka je určena pro zajištění správné orientace pružného lůžka při montáži. Není tedy určena pro pero a přenos krouticího momentu, tak jako je to řešeno v tomto zkušebním zařízení. Proto také bylo vnitřní pouzdro staženo maticí na závitu na konci hřídele. Díky tomu se krouticí moment přenáší i třením na čelních plochách vnitřního pouzdra pružného lůžka.

Vnitřní pouzdro vnějšího pružného lůžka nemá jednoduchou drážku, ale tři drážky, které nemají vhodný tvar pro přenos krouticího momentu standardním těsným perem. Mezi perem a hranou drážky tak vzniká pouze čárový dotyk. Situace je po demontáži příruby, matice a podložky vidět na obrázku 34.



Obrázek 34 Vnější pružné lůžko nasazené na hřídeli

V praxi se ukázalo, že řešení vyvinuté původně pro vnitřní pružné lůžko skvěle funguje i pro vnější pružné lůžko. Na hraně drážky se ani po opakovaném zatěžování a provedení všech měření nevytvořilo omačkání, povrch je jen lehce oleštěný, jak je vidět na obrázku 35. To vzniklo při prvním zatížení a další měření tak nebyla zkreslená plastickou deformací v místě dotyku pera a hrany drážky.



Obrázek 35 Stav drážky ve vnitřním pouzdru vnějšího pružného lůžka po zatěžování

Vnější pouzdro pružného lůžka je uchyceno ve svěrném pouzdře (výkres DPKH02). Jedná se o výrobně nejnáročnější součást, která byla vyrobena na míru pro testovaná pružná lůžka. Používá se ve všech variantách zkušebního zařízení. Součást je z technologických důvodů vyráběna v celku a poté rozřezána na dvě poloviny. Tyto dvě poloviny jsou k sobě stahovány čtyřmi šrouby. V rozloženém stavu je pouzdro vidět na obrázku 36.

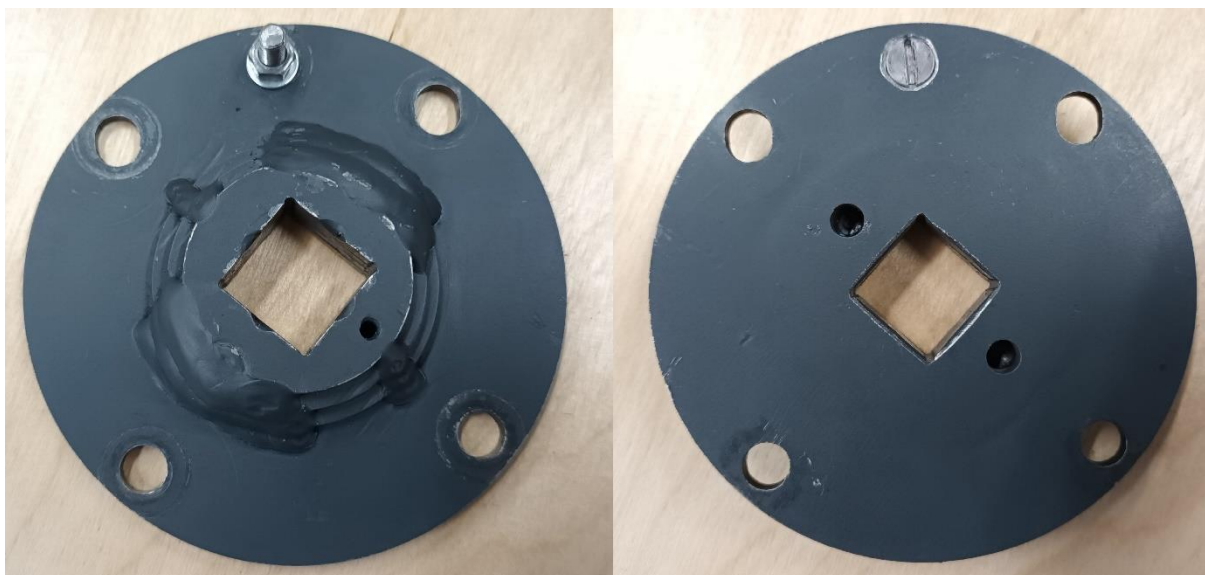


Obrázek 36 Rozložené svěrné pouzdro

Univerzálnost zkušebního zařízení je omezena jednak svěrným pouzdrům, jehož vnitřní rozměr musí odpovídat vnějšímu průměru vnějšího pouzdra pružného lůžka. V případě menšího pružného lůžka by bylo možné použít na míru vyrobenou vložku. V případě většího průměru by však bylo nutné vyrobit nové svěrné pouzdro a případně i přírubu. Princip by bylo možné zachovat stejný, konstrukční návrh by vycházel z již vytvořené varianty, ale výroba by stála čas a finance.

Dále by v případě jiného pružného lůžka bylo potřeba přizpůsobit tvar zakončení hřídele, na nějž se nasazuje vnitřní pouzdro pružného lůžka. Konkrétní provedení by záleželo na tvaru a rozměrech vnitřního pouzdra.

Na čelo svěrného pouzdra je čtyřmi šrouby M8 přišroubována příruba. Jak je vidět na výkresu DPKH13 a na obrázku 37, dvě díry pro šrouby jsou oválné. To je z důvodu stahování polovin svěrného pouzdra k sobě a z toho vyplývající změny vzájemné polohy šroubů. Příruba tedy musí být na čele svěrného pouzdra orientovaná patřičným způsobem.



Obrázek 37 Příruba

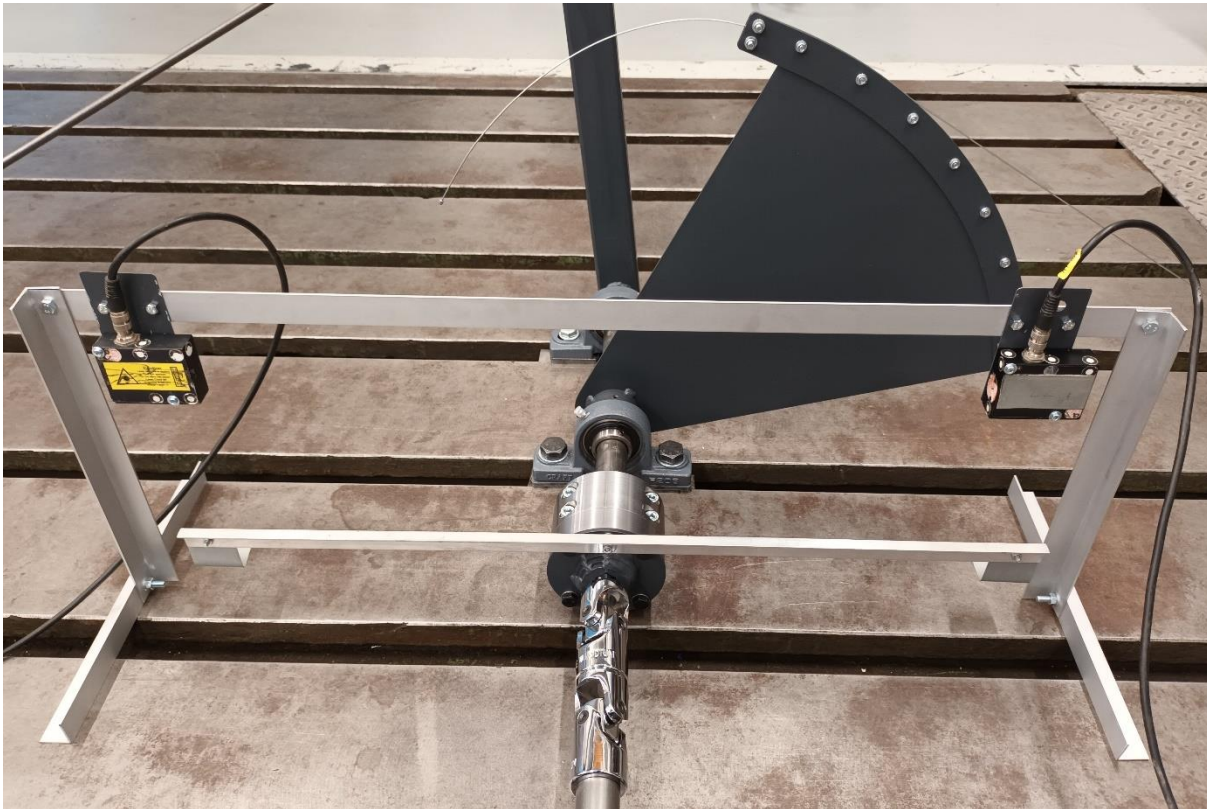
Dvě menší díry v blízkosti čtyřhranu mají technologický význam. Jsou v nich umístěny šrouby, kterými jsou všechny čtyři části příruby staženy k sobě během svařování, aby byla dodržena správná vzájemná poloha všech čtyř částí a čtyřhranný otvor měl správný tvar. Polotovary pro přírubu byly vyrobeny jako výpalky z plechu o tloušťce 4 mm.

Šroub M5 se zápusťnou hlavou, který je vidět v horní části obrázku 37, slouží pro montáž ukazatele pootočení (výkres DPKH17). Rameno ukazatele se pohybuje spolu s přírubou, a tedy i se svěrným pouzdrům. Jak již bylo uvedeno na začátku této kapitoly, v ideálním případě by k pohybu nedocházelo, ale reálně se pouzdro pootáčí v důsledku pružnosti části sestavy, která bude popsána dále. Ukazatel pootočení umožňuje tento pohyb zaznamenat a zohlednit při vyhodnocování měření.

Jak je vidět na obrázku 38 a 39, na koncích ramene jsou dvě plechové plochy, na něž dopadají paprsky dvou laserových měřidel vzdálenosti HT-250. Díky tomu, že jsou tato měřidla dvě, je možné vyhodnocovat rozdíl mezi jimi naměřenými hodnotami. Pokud se tedy svěrné pouzdro



kromě pootáčení také ještě posouvá celé směrem nahoru nebo dolů z důvodu nesouososti pružného lůžka, tato změna nastane pro obě měřené vzdálenosti a na jejich rozdílu se neprojeví. Díky tomu není měření pootočení zkresleno tímto posunem.



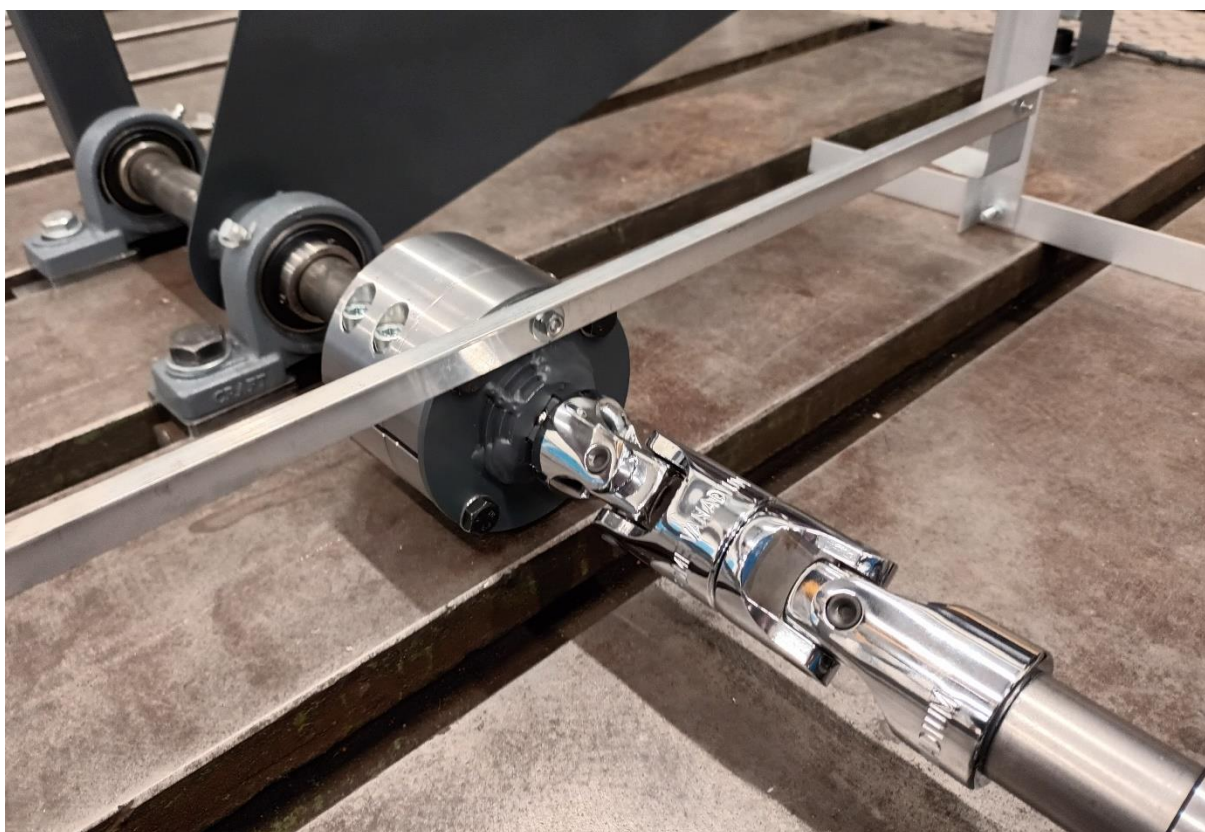
Obrázek 38 Ukazatel pootočení a rám – první pohled



Obrázek 39 Ukazatel pootočení a rám – druhý pohled

Rám, na němž jsou pomocí plechových držáků uchyceny senzory HT-250, je vytvořen z pěti částí vyrobených z hliníkového profilu podle výkresů DPKH16A, DPKH16B a DPKH16C. Díky tomu, že rám není nijak zatěžovaný, může být lehký a po povolení čtyř šroubů i velmi skladný.

Do čtyřhranné díry v přírubě (viz obrázek 37) se zasune čtyřhranná část kloubu, jak je vidět na obrázku 40. Klouby jsou dva a jedná se o Kardanovy klouby dodávané jako příslušenství sady nástrčných klíčů (běžně zvané gola sada) o velikosti 3/4 palce. Tato velikost byla zvolena jednak z důvodu neochoty výrobců sdělit maximální moment, pro který jsou určeny jejich klouby o velikosti 1/2 palce, a jednak z důvodu toho, že redukce z 1/2 na 3/4 palce by znamenala další prvek s vůlí. Čtyřhran, který zapadá do příruby, a na opačné straně čtyřhranná díra, do níž se zasouvá konec hřídele, je totiž vhodné zvolit větší, aby se protikusy nemusely tepelně zpracovávat pro zvýšení pevnosti, a přitom se neomačkaly.



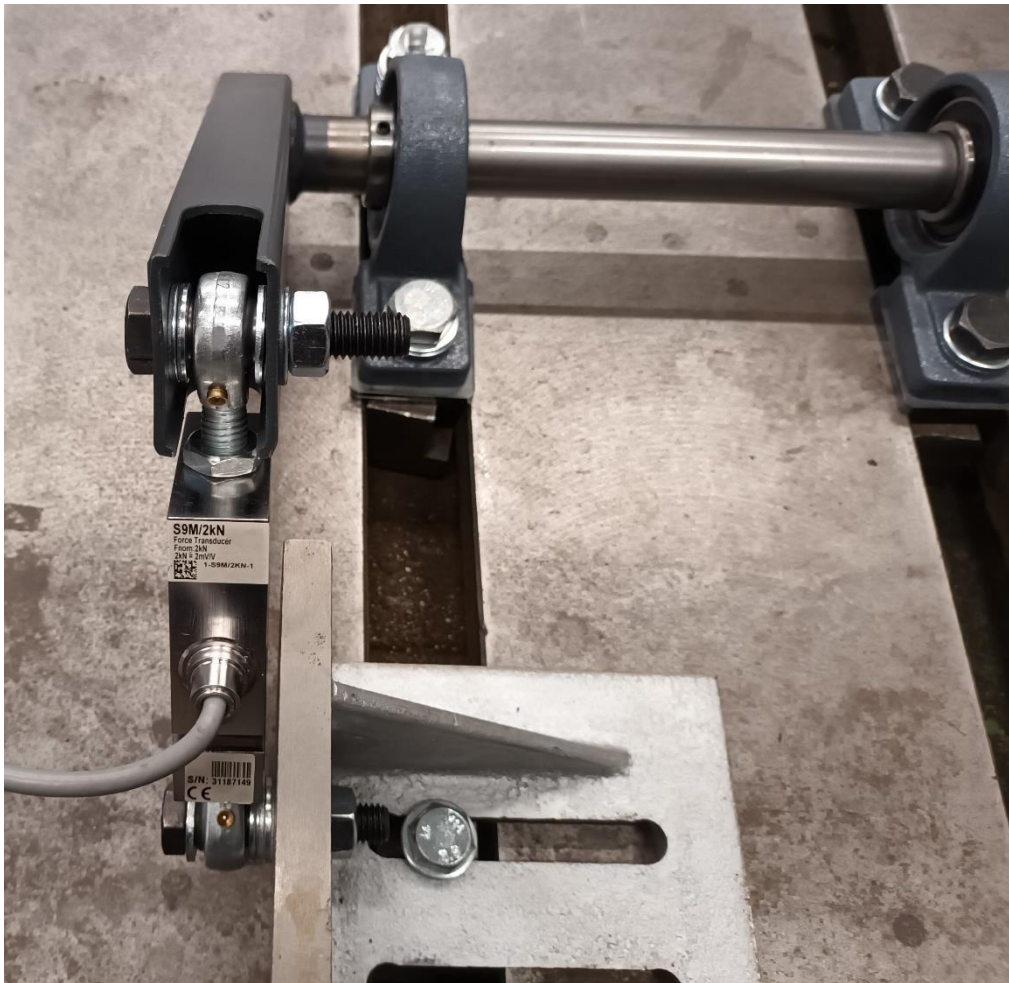
Obrázek 40 Klouby mezi přírubou a hřídelem

Na druhé straně (v pravé části obrázku 40) je do čtyřhranného otvoru zasunutý čtyřhranný konec hřídele (viz výkres DPKH04). Hřídel je opět uložen pomocí ložiskových těles UCP 206. Na druhém konci hřídele je přivařená páka, která je vyrobená z ocelového profilu a na jejímž opačném konci je šroubem uchyceno oko převodníku síly S9M v provedení do 2 kN.

Hřídel je delší, než by v této sestavě musel být, a za posledním ložiskovým tělesem trčí volně do prostoru o cca 30 mm, jak je vidět na obrázku 41. V tomto místě je hřídel namáhán ohybem, avšak vzhledem k délce této části a průměru hřídele je vliv zanedbatelný. Důvodem tohoto stavu je snaha o univerzální možnost použití zkušebního zařízení. V případě, že by



pružné lůžko bylo kratší, mohou se oba hřídele zasunout směrem k sobě. Aby to bylo možné, musí být za posledním ložiskovým tělesem tato rezerva.



Obrázek 41 Páka a uchycení převodníku síly – pohled shora

Převodník síly S9M je svým druhým okem uchycen pomocí šroubu M12 k upínací desce tvaru písmene L. Ta je pak uchycená k základní desce s T drážkami. Podlouhlé díry v L desce jsou orientovány tak, aby mohla být snadno nastavena poloha L desky vůči T drážce v základní desce. Šrouby M12 procházející oky musejí mít patřičně dlouhý dřík, aby se předešlo poškození ok.

Během zatěžování lze úhel mezi převodníkem síly a pákou považovat za neměnný, neboť deformace ocelového profilu (páky) je zanedbatelná a protažení tělesa převodníku síly taktéž (při měření nebyla využita ani čtvrtina rozsahu).

Při počáteční montáži je velmi důležité nastavit úhel mezi převodníkem síly a pákou co nejpřesněji na hodnotu 90°. Pokud by to nebylo dodrženo, budou kvůli tomu naměřené hodnoty zbytečně méně přesné. K nastavení lze použít vhodný zámečnický úhelník. Vzájemná poloha součástí je patrná také z obrázku 42.



Obrázek 42 Páka a uchycení převodníku síly – pohled z boku

Dosud popisovaná sestava je univerzální a použitelná i pro nesouosá pružná lůžka, jako je vnitřní pružné lůžko zadní nápravy vozu VW Multivan. Sestavení je také patrné z výkresu DPKH50. Ne vždy je však použití kloubů nutné. V případě vnějšího pružného lůžka, nebo obecně jakéhokoliv pružného lůžka, jehož vnitřní i vnější pouzdro mají společnou osu, je možné ze sestavy klouby vynechat. V tom případě se čtyřhranné zakončení hřídele, na němž byl nasazen kloub, zasune přímo do čtyřhranného otvoru v přírubě na svěrném pouzdru, jak je to ukázáno na obrázku 43. Jinak je sestava stejná jako univerzální varianta s klouby, a proto pro ni není vytvořen výkres sestavy.



Obrázek 43 Spojení hřídele a příruby přímo bez kloubů



Navržené zkušební zařízení umožňuje i zatěžování pružného lůžka opačným směrem. Toho lze docílit dvěma způsoby. Buď demontáží svěrného pouzdra a otočením pružného lůžka anebo také přeskládání celé sestavy naopak. Při pouhém otočení pružného lůžka se však pružné lůžko nemusí správně vejít pod přírubu umístěnou na čele svěrného pouzdra. To záleží na rozměrech pružného lůžka. V případě, že by to nevyšlo, je k dispozici zmíněná druhá, složitější varianta. Ta nebyla pro testovaná pružná lůžka potřeba, byla však pro ukázkou a ověření také složena a vyzkoušena a je na obrázku 44. Je možné ji sestavit jak s klouby, tak bez nich.



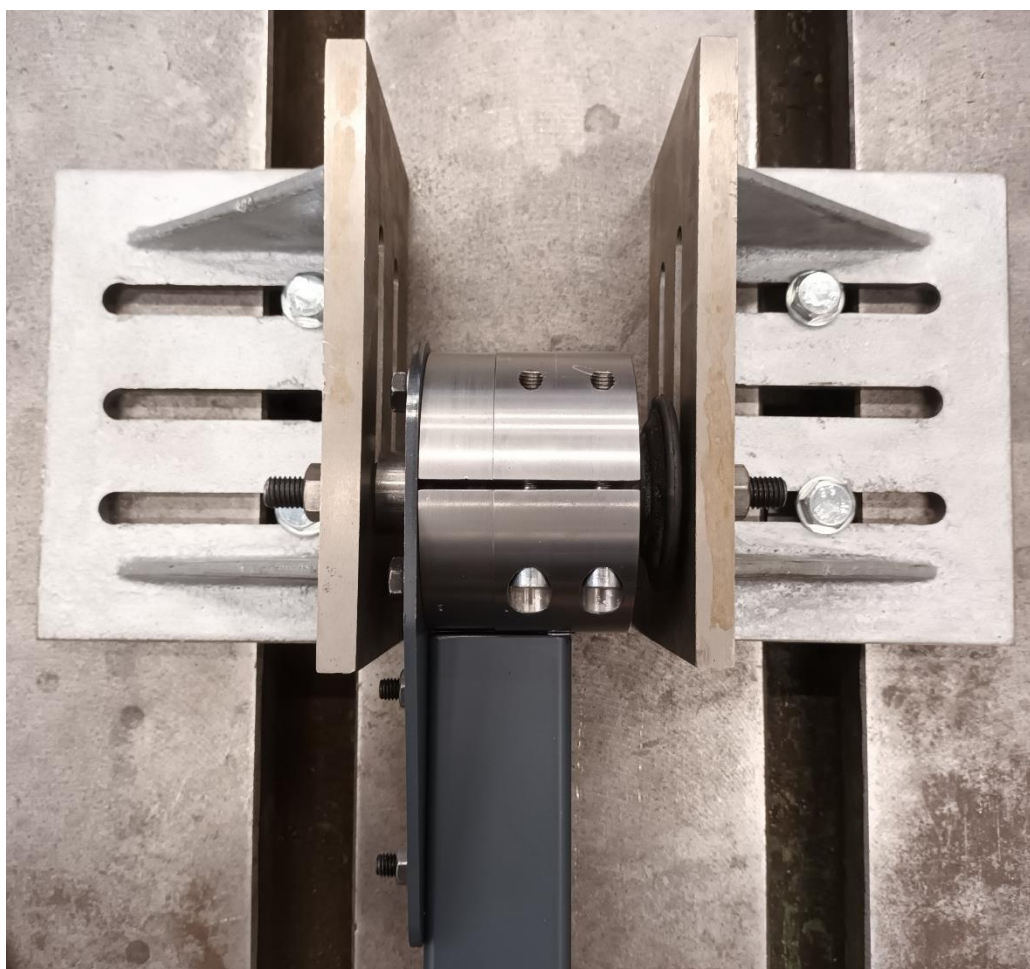
Obrázek 44 Obrácená varianta sestavy



### 4.3 KRUT KOLEM OS Y A Z

Pro namáhání pružného lůžka krutem kolem os Y a Z vystačí jedna varianta zkušebního zařízení. Změna mezi osou Y a Z se provádí pouze pootočením pružného lůžka ve svěrném pouzdru o 90° kolem osy X. K tomu je potřeba vymontovat svěrné pouzdro ze sestavy, upnout jej do svěráku, povolit čtyři šrouby, jimiž je pouzdro stažené, pružné lůžko pootočít, svěrné pouzdro opět utáhnout a namontovat zpět do sestavy. Myšlenka provádět pootočení pružného lůžka bez demontáže svěrného pouzdra ze sestavy se ukázala jako nepraktická a bylo obtížné pootočít pružné lůžko přesně. Navíc v obou případech je stejně nutné demontovat plechový díl páky na čele svěrného pouzdra.

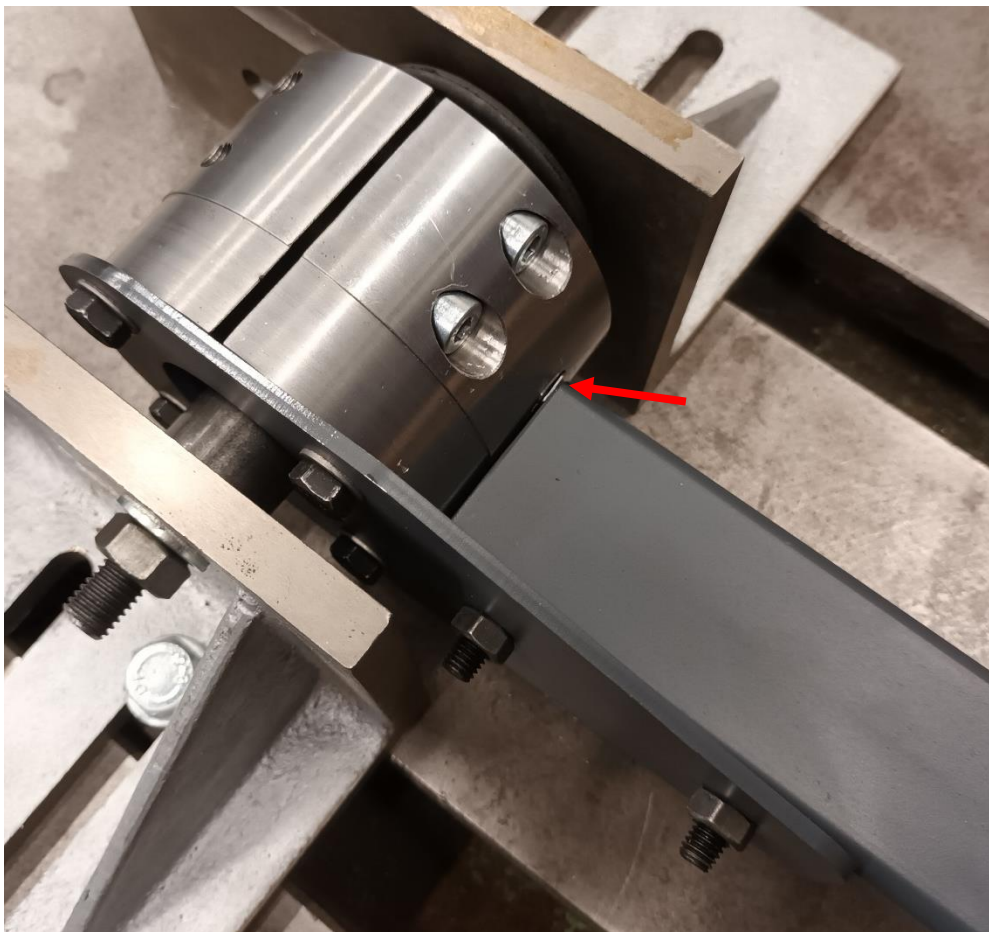
Základem sestavy jsou dvě L desky upnuté k desce s T drážkami. Mezi L deskami je pružné lůžko a rozpěrný kroužek (výkres DPKP01), skrz které vede závitová tyč M12, která všechny tyto čtyři součásti stahuje k sobě, jak je vidět na obrázku 45.



Obrázek 45 Umístění pružného lůžka mezi L deskami

Na čele svěrného pouzdra je čtyřmi šrouby M8 uchycen plechový díl páky (jedná se o výpalek, výkres DPKP03). K němu je pak dvěma šrouby M8 uchycena samotná páka. Ta byla autorem práce vyrobena z ocelového profilu, podle výkresu DPKP02. Vzájemná poloha je patrná z obrázku 46.

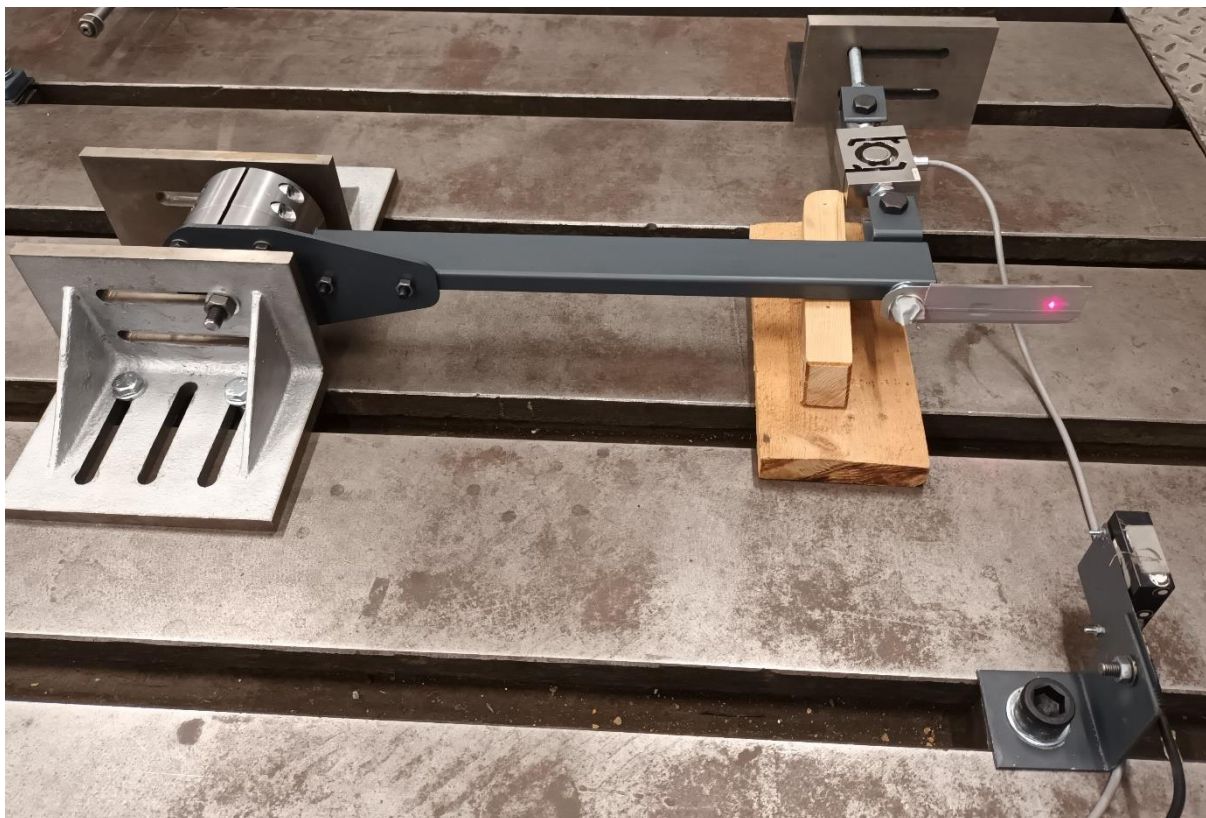
Na kraji páky, v místě, kde se dotýká svěrného pouzdra, by vznikala vůle, která by se musela vymezit na začátku měření. Jelikož však tuhost pružného lůžka v krutu kolem osy Y není velká, byla by tím ztracena nezanedbatelná část charakteristiky. Takové řešení nelze považovat za akceptovatelné, a proto je vymezení vůle provedeno už při montáži. Sestava se smontuje tak, aby tato vůle byla co nejmenší. Po utažení všech šroubů, které na tuto vůli mají vliv, se páka jemně napruží tak, aby se vůle zvětšila, a do vzniklé mezery se vsune vhodný kousek spárové měrky (tedy tenkého tvrdého plechu). Poté se páka opět uvolní a tím se opře přes spárovou měrku o svěrné pouzdro, jak je vidět na obrázku 46. Na začátku měření už se tedy nemusí vymezovat vůle v tomto místě.



Obrázek 46 Spojení páky a svěrného pouzdra

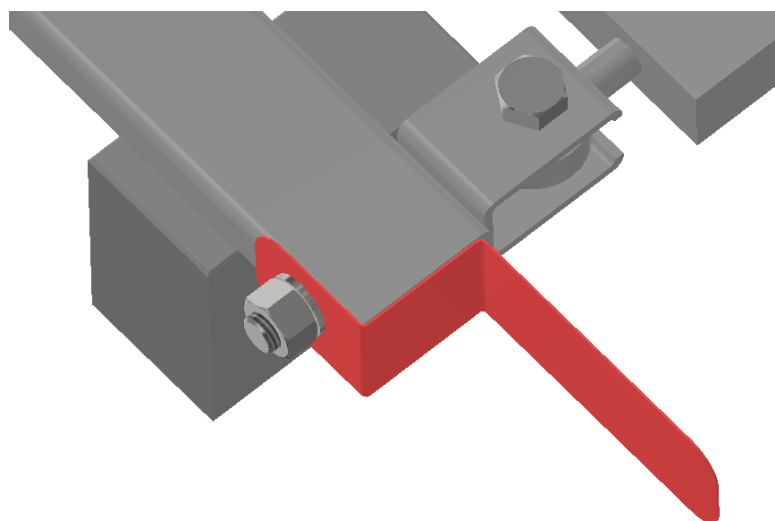
Ke druhému konci páky je přes šroub M12 a U adaptér připojeno oko převodníku síly S9M o velikosti do 2 kN. Stačilo by použít i měřidlo určené pro menší sílu, ale to by znamenalo nákup dalšího nového měřidla, což nebylo vyhodnoceno jako nezbytně nutné. Obecně samozřejmě síla závisí na tuhosti testovaného pružného lůžka a podle toho je možné volit vhodně dimenzované měřidlo.

Délka páky byla zvolena s ohledem na velikost síly a také na to, aby byl na konci páky dostatečně velký posuv, který bude možné měřit bezkontaktním měřidlem vzdálenosti HT-250. Laserový paprsek by mohl dopadat přímo na stěnu ocelového profilu, ale vhodnější je rameno ještě prodloužit a nechat paprsek dopadat na plechové prodloužení. Pak je při stejném úhlu naměřena větší změna vzdálenosti. To je zřejmé z obrázku 47.



Obrázek 47 Prodloužení páky pro bezkontaktní měření vzdálenosti

Při provedení prodloužení páky, které je na obrázku 47, však není správná geometrie. Vhodnější by bylo, aby bod, k němuž se vzdálenost měří, byl na ose páky (nikoliv ose ocelového profilu, ale ose fyzikální páky). Proto bylo navrženo ještě zahnuté prodloužení páky, které je na výkresu DPKP04 a které je použito i v aktualizovaném modelu sestavy a výkresu sestavy DPKP50. Jeho tvar je dobře vidět na obrázku 48. Uchycení plechového prodloužení je v obou provedeních pomocí šroubu M12, kterým je k páce připevněn i U adaptér.



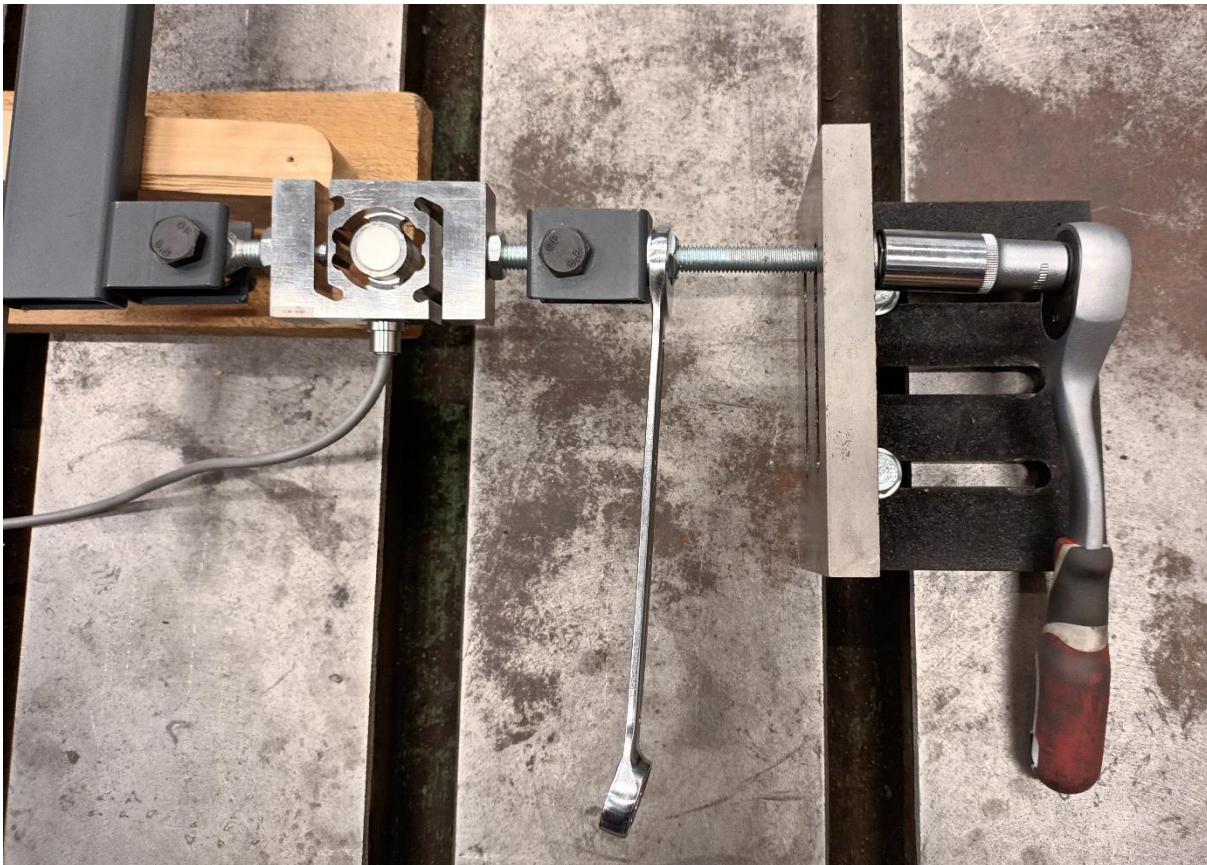
Obrázek 25 Zahnuté plechové prodloužení páky



Bezkontaktním měřidlo vzdálenosti HT-250 je k základní desce upevněno pomocí plechového držáku (výkres DPKH10) a pak spodní části držáku používaného i pro lankový potenciometr (výkres DPKH08). Při výběru polohy na základní desce je nutné vzít v potaz rozsah měřitelné vzdálenosti uvedený v kapitole 3.3.

Aby byla páka stále vodorovně a ve správné poloze, je podepřena dřevěnými hranoly. Jejich výšku je potřeba upravit podle toho, v jaké výšce je uchyceno pružné lůžko. Pokud se jedná o nesouosé pružné lůžko, pak se výška hladiny, v níž se má páka nacházet, mění podle natočení pružného lůžka kolem osy X a je potřeba podle toho upravit výšku hranolů.

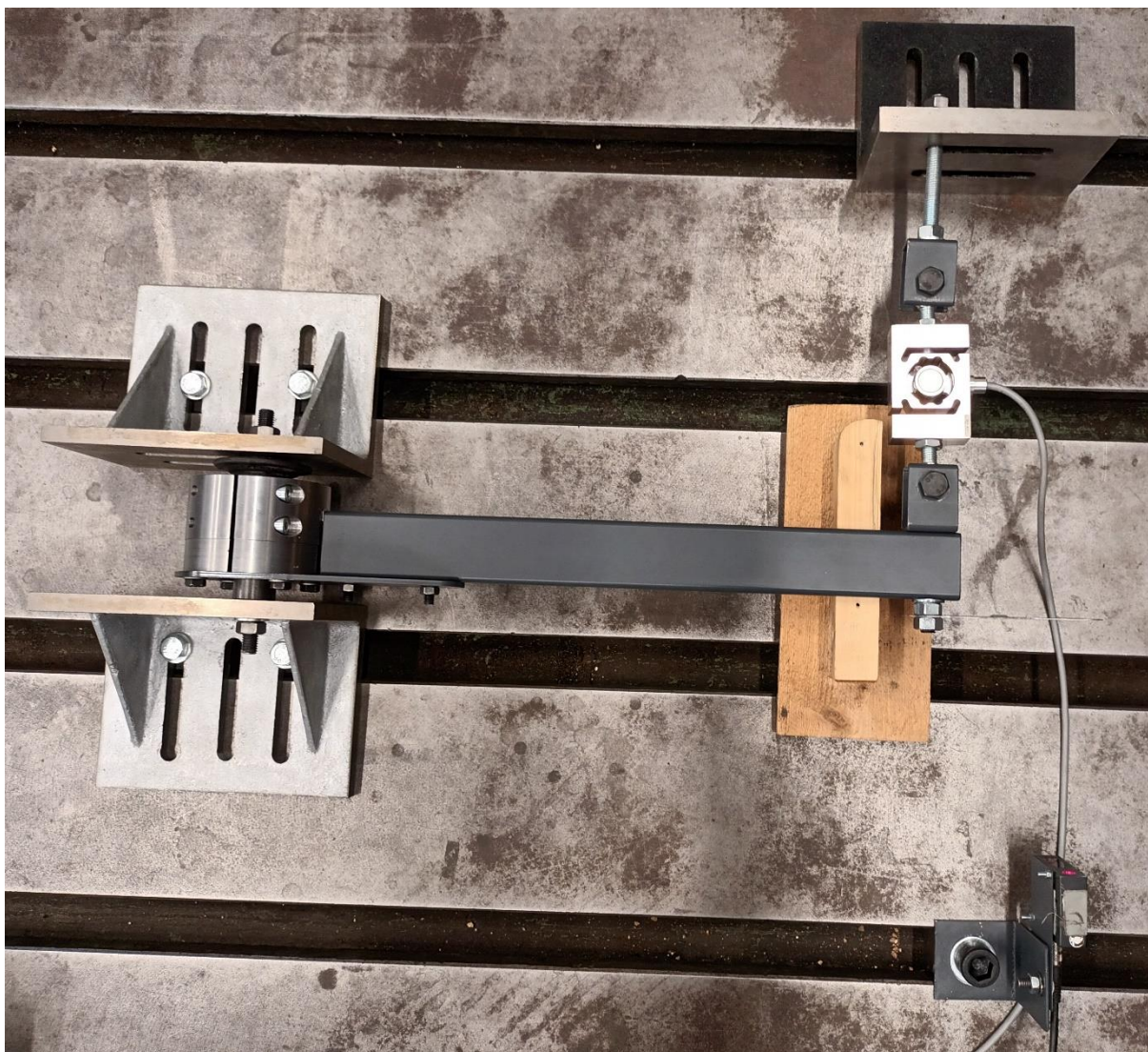
Převodník síly je na druhé straně opět přes U adaptér spojen s dalším šroubem. Tento šroub prochází L deskou, jak je vidět na obrázku 49. Utahováním matice na tomto šroubu působí přes měřidlo síla na páku a ta pootáčí svěrným pouzdem, a tedy i vnějším pouzdem pružného lůžka. Při utahování matice je potřeba druhým klíčem zachytit rotaci sestavy tak, aby měřidlo nebylo namáháno krutem.



Obrázek 49 Šroub pro vyvození pohybu

Na obrázku 47 je zařízení v odlehčeném stavu a je vidět, že sestava kolem převodníku síly je prověšená. Při namáhání se však napne. Pokud by síla nebyla vzhledem k hmotnosti měřidla dost velká, měření by bylo zkreslené a v tom případě by mělo smysl umístit další dřevěný podkládací hranol i pod těleso měřidla. Vliv tření je v tomto případě zanedbatelný vzhledem k velikosti tahové síly.

Při montáži sestavy a volbě polohy L desky, skrze kterou prochází pohybový šroub, je potřeba dbát na to, aby úhel mezi pákou a osou převodníku síly byl o trochu menší než  $90^\circ$ . Poloha je vidět na obrázku 50. Přesně lze vhodný úhel stanovit jako  $90^\circ$  minus polovina plánovaného maximálního úhlu natočení pružného lůžka při měření charakteristiky. Tak se bude úhel pohybovat vždy velmi blízko hodnotě  $90^\circ$  a bude možné zanedbat jeho změnu.



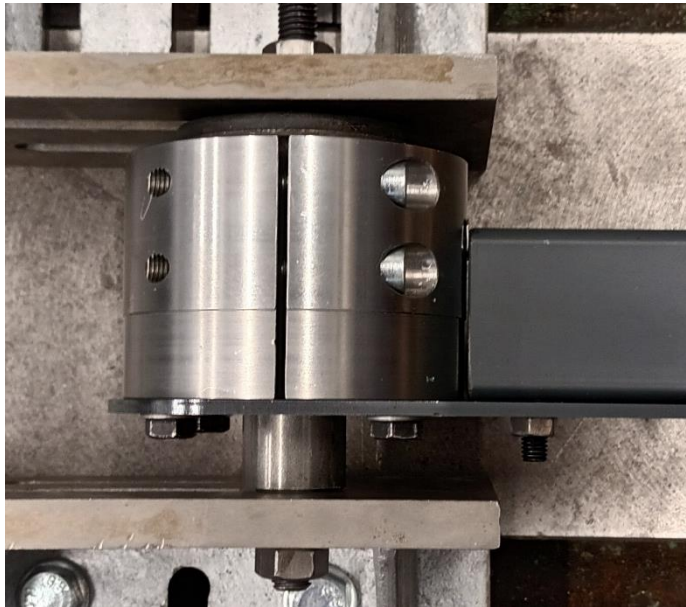
Obrázek 50 Sestava pro krut kolem os Y a Z – pohled shora

Při známé délce páky a při zanedbání změny úhlu se z naměřené síly vypočítá moment, kterým je pružné lůžko namáháno. Při známé poloze bodu, kam dopadá laserový paprsek měřidla vzdálenosti, se úhel natočení vypočítá jako arkustangens podílu změny vzdálenosti a délky ramene.

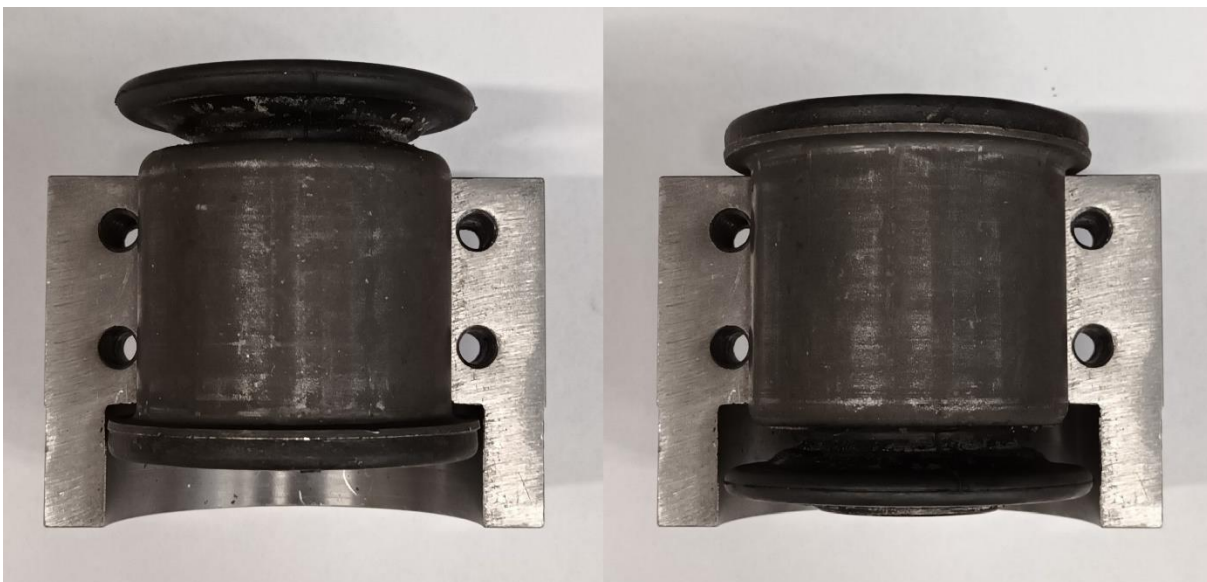
Na zadní nápravě vozu VW Multivan jsou osy pružných lůžek od sebe vzdáleny 495 mm. V extrémním případě, kdy by v obou pružných lůžkách dosedlo vnitřní pouzdro na vnější pouzdro, tedy kov na kov, by byl úhel natočení pružného lůžka  $3,58^\circ$ . To však předpokládá úplné vytlačení gumy z prostoru mezi kovovými pouzdry. Reálnější je předpokládat poloviční maximální úhel o velikosti  $1,79^\circ$ .



Dříve popsané uchycení páky k svěrnému pouzdru není vhodné pro namáhání opačným směrem, než jak je to na obrázku 50. Pro namáhání pružného lůžka opačným směrem je proto potřeba rozebrat svěrné pouzdro a pružné lůžko v něm otočit kolem osy Y anebo Z. Jedna poloha je na obrázku 45. Druhá poloha, určená pro zatěžování v opačném směru, je vidět na obrázku 51. Obě polohy jsou také na obrázku 52.



Obrázek 51 Svěrné pouzdro s pružným lůžkem v druhé poloze

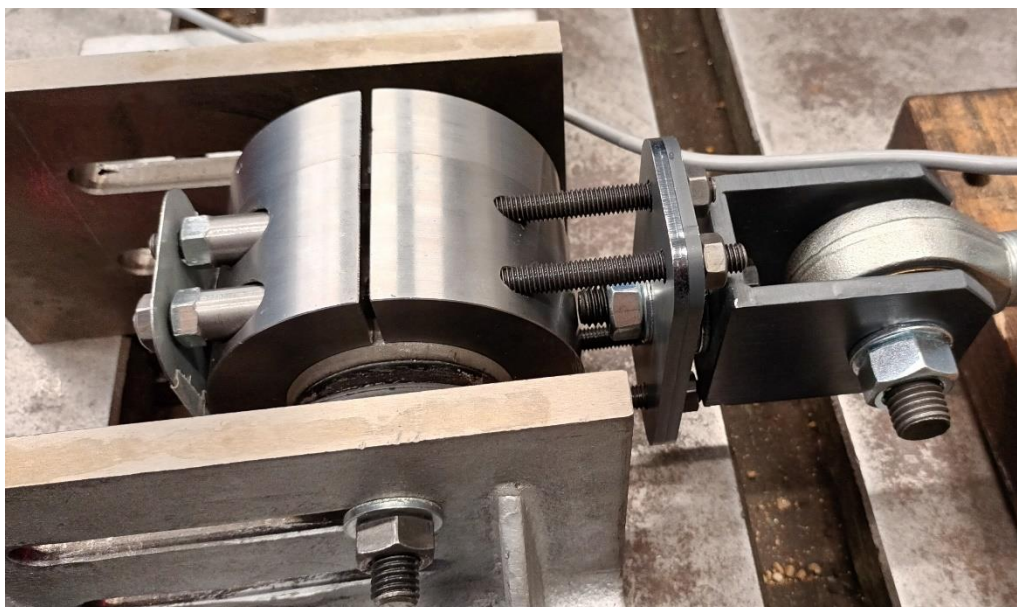


Obrázek 52 Dvě varianty orientace pružného lůžka ve svěrném pouzdru

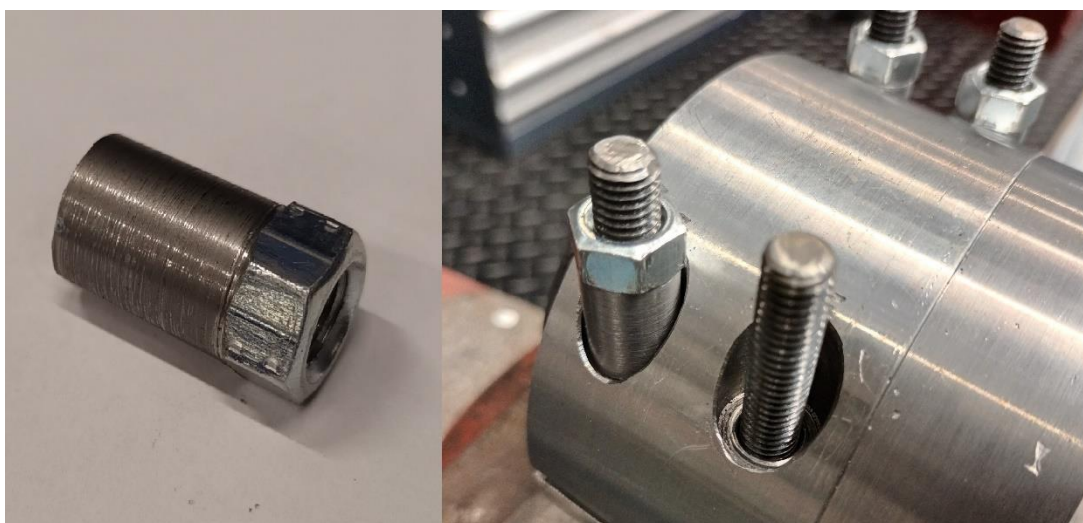
#### 4.4 TAH V OSÁCH Y A Z

Podobně jako v případě zkušebního zařízení pro namáhání krutem kolem os Y a Z je i v případě tahu v těchto osách jedna společná sestava a změna mezi osou Y a Z se provádí pouze pootočením pružného lůžka ve svěrném pouzdru o 90° kolem osy X. Samozřejmě je k tomu opět potřeba povolit svěrné pouzdro, jak bylo popsáno v kapitole 4.3. Pružné lůžko je stejným způsobem uchyceno pomocí závitové tyče a rozpěrného kroužku mezi dvě L desky.

Na vnějším pouzdru pružného lůžka je svěrné pouzdro, ovšem není staženo šrouby, ale závitovými tyčemi, jak je vidět na obrázku 53. Tyto závitové tyče nejen stahují svěrné pouzdro, ale také přenášejí zatížení tahem. Pro toto řešení byla vyrobena speciální matice, která je na výkresu DPTP02 a na obrázku 54. Vznikla soustružením z běžně dostupné prodloužené matice M8 a svým tvarem je přizpůsobená do vybrání ve svěrném pouzdře, které je jinak určené pro válcovou hlavu šroubu, jak je vidět na obrázku 54.

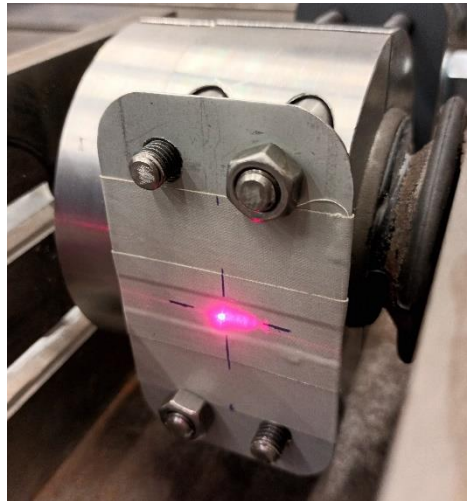


Obrázek 53 Uchycení pružného lůžka a svěrné pouzdro



Obrázek 54 Speciální matice a její umístění

Na volné konce závitových tyčí je nad speciální matice nasazena plechová plocha určená pro bezkontaktní měření vzdálenosti pomocí senzoru HT-250. Stejně jako v ostatních případech je polepená textilní páskou, aby se zmenšila odrazivost povrchu, a má označen bod měření, jak je vidět na obrázku 55. Je důležité, aby laserový paprsek dopadal na rovnou plochu, a ne na hranu vzniklou překrytím dvou kousků textilní pásky.



Obrázek 55 Plocha pro měření posuvu

Na opačném konci závitových tyčí jsou upevněny dva plechové díly, které roznášejí sílu z jednoho šroubu M12 na čtyři závitové tyče M8, jak je vidět na obrázku 53. Díly jsou vypálené z plechu o tloušťce 4 mm a jejich rozměry jsou na výkrese DPTP01. Plechové díly jsou dva, neboť jeden by neměl dostatečnou tuhost.

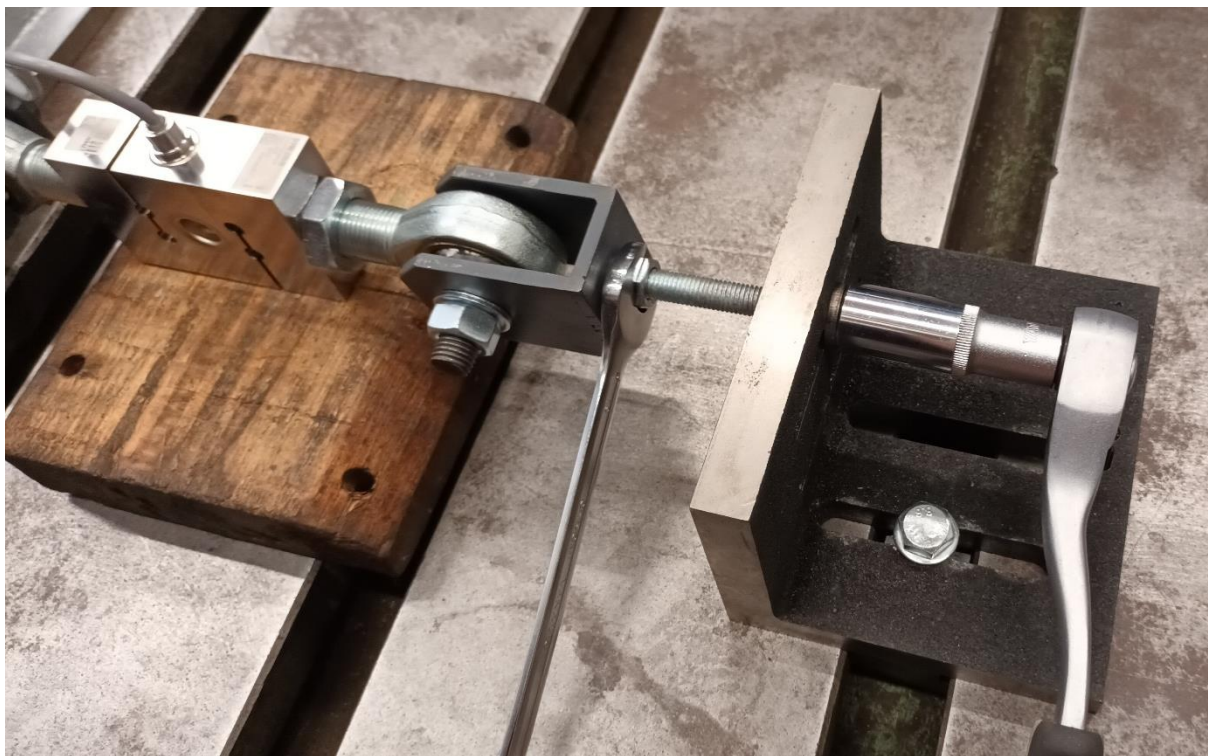
Při testovacím zatěžování byla při síle cca 10 kN pozorována elastická deformace plechových dílů. Proto pak během měření charakteristik nebyla pružná lůžka zatěžována větší silou, což by v kontextu zadní nápravy vozu VW Multivan ani nemělo význam. Pokud by to bylo potřeba, bez dalších úprav by bylo možné přidat třetí plechový díl a tuhost v tomto místě tak zvýšit.

Prostřední dírou v plechových dílech prochází šroub M12, který k nim připojuje U adaptér nasazený na oku převodníku síly. V případě menšího U adaptéru (pro převodník síly do 2 kN) je možné, aby dosednul přímo na plech. V případě většího to možné není, ale ničemu to nevádí. Připojení převodníku síly k vnějšímu pouzdra pružného lůžka by samozřejmě šlo vyřešit i jinak, ale prioritou bylo použití stejného svěrného pouzdra pro všechny varianty.

Stejně jako u ostatních variant zkušebního zařízení (kromě krutu kolem osy X) je i v tomto případě druhé oko převodníku síly přes U adaptér spojeno se šroubem, který prochází L deskou. Jeho utahováním je vyvozován posuv vnějšího pouzdra pružného lůžka. Přitom je opět potřeba klíčem zachytit rotaci sestavy tak, aby měřidlo nebylo namáháno krutem. Uspořádání je vidět na obrázku 56.

Těleso převodníku síly je vhodné podložit dřevěným hranolem (viz obrázek 56), aby měření nebylo ovlivněno tíhou měřidla. Hranol však musí mít vhodnou výšku. Tření mezi hranolem a tělesem měřidla lze zanedbat, obzvláště pokud se kontaktní plocha namaže olejem.





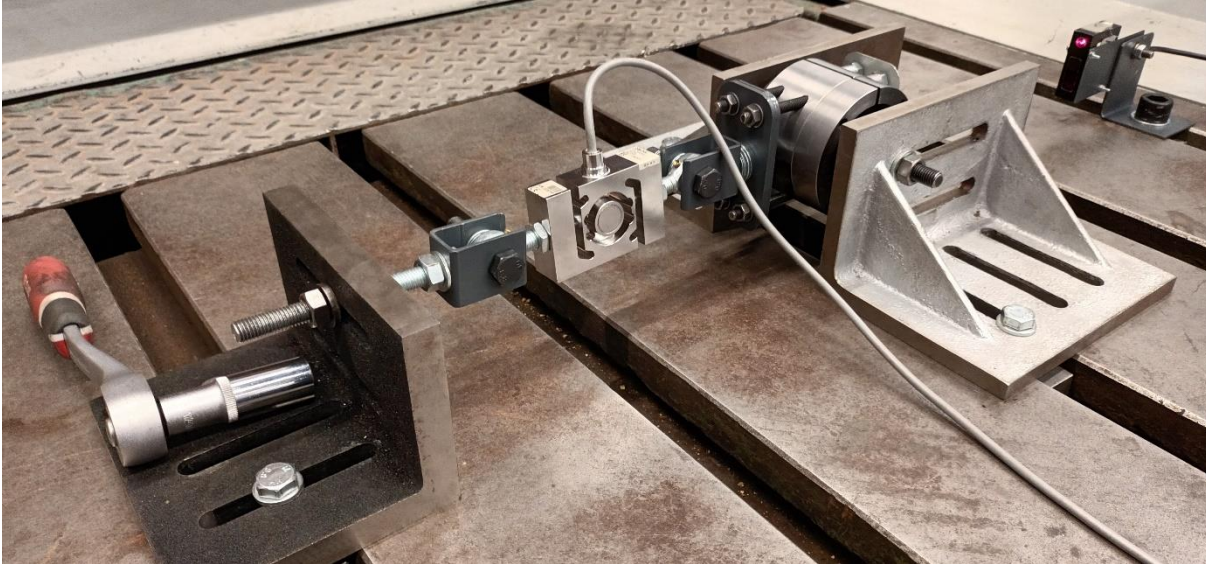
Obrázek 56 Vyvození posuvu a zachycení rotace

Podle toho, jakou silou má být pružné lůžko namáháno, je možné si zvolit velikost převodníku síly. Sestava je uzpůsobena tak, že umožňuje montáž jak většího převodníku do 20 kN (viz obrázek 57), tak menšího do 2 kN (viz obrázek 58). Stejně tak by byla možná i montáž jakékoliv jiné varianty převodníku síly S9M, pokud by byl vybaven vhodnými U adaptéry, které mají díru pro šroub M12.



Obrázek 57 Sestava s větším převodníkem síly do 20 kN

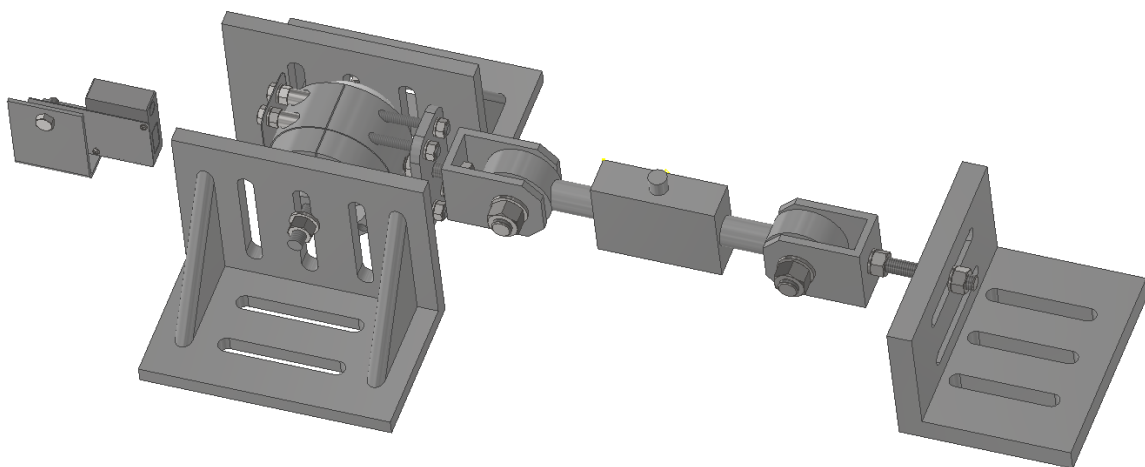
Pro měření charakteristik pružných lůžek zadní nápravy vozu VW Multivan byl použit převodník síly S9M do 20 kN. Stačilo by i provedení do 10 kN, ovšem tím ÚADI nedisponuje, a proto bylo použito dostupné provedení. Sestava byla pro ukázkou složena i s provedením do 2 kN, jak je vidět na obrázku 58.



Obrázek 58 Sestava s menším převodníkem síly do 2 kN

Senzor HT-250 měří posuv jako rozdíl vzdálenosti od zmiňované plechové plochy u svěrného pouzdra. Měřidlo je upevněno pomocí držáku stejně jako v ostatních sestavách. Poloha je dána polohou T drážky v základní desce, jak je vidět na obrázku 57 a 58, přičemž při výběru drážky je potřeba dbát na rozsah měřidla.

Orientace L desek může být i jiná, což je vidět na výkresu sestavy DPTP50 a na obrázku 59. Volba orientace závisí na možnostech daných deskou s T drážkami a na tom, zda je potřeba mít možnost nastavení výšky uchycení pružného lůžka (poloha závitové tyče).

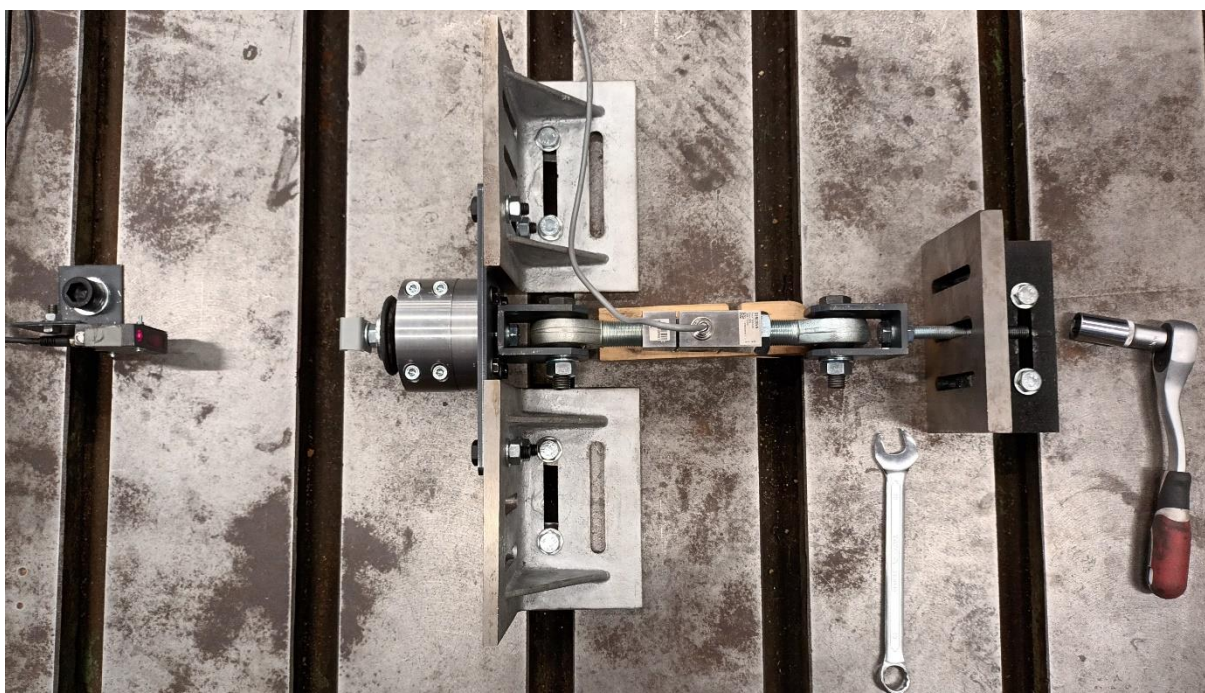


Obrázek 59 Sestava s jinak orientovanými L deskami

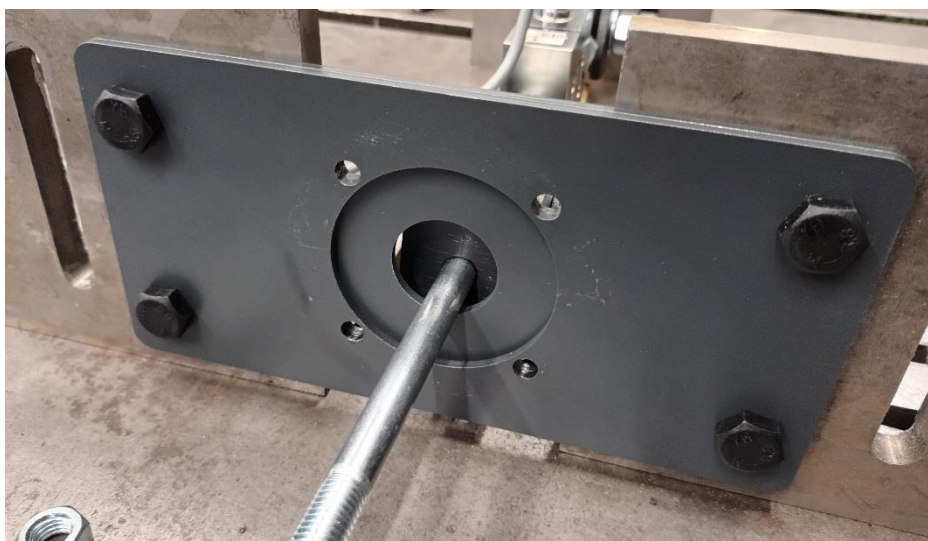


## 4.5 TAH V OSE X

Zkušební zařízení pro namáhání pružných lůžek tahem v ose X využívá mnoho součástí používaných i v sestavě pro tah v osách Y a Z. Celkový pohled je na obrázku 60. Testované pružné lůžko je však přes vnější pouzdro a svěrné pouzdro pevně uchyceno k L deskám, zatímco vnitřní pouzdro je tentokrát pohyblivé. K uchycení svěrného pouzdra k L deskám slouží dvě opěrné desky vyrobené jako výpalek z plechu tloušťky 4 mm. Tyto dvě opěrné desky nejsou stejné. Ta, která je přímo na čele svěrného pouzdra, má větší otvor (viz výkres DPTH02), aby umožnila větší pohyb vnitřního pouzdra pružného lůžka. Ta, která je za ní a dosedá na L desky, má otvor menší (viz výkres DPTH03), aby se zvýšila tuhost. Vzájemná poloha opěrných desek po demontáži svěrného pouzdra je vidět na obrázku 61.

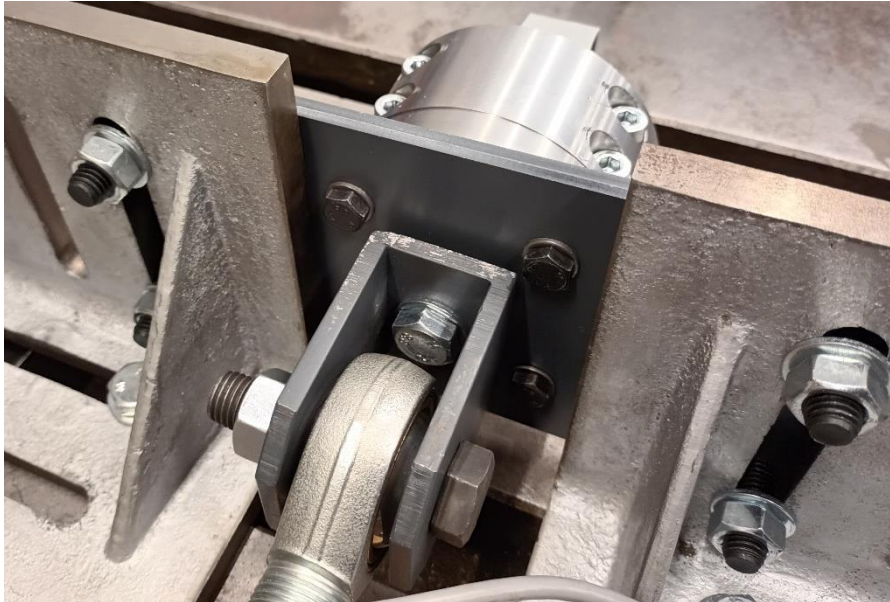


Obrázek 60 Celkový pohled na sestavu pro tah v ose X



Obrázek 61 Opěrné desky

L desky jsou posunuté k sobě co nejvíce, aby opěrné desky byly co nejméně namáhané. Omezením jsou hlavy čtyř šroubů M8, kterými jsou opěrné desky přišroubované k čelu svěrného pouzdra, jak je vidět na obrázku 62. Podobně jako u všech ostatních součástí, které se v jiných sestavách montují na čelo svěrného pouzdra, i tyto opěrné desky musí být přizpůsobené pro měnící se rozteč děr při jinak utaženém svěrném pouzdru. V tomto případě je to řešeno větším průměrem děr, jak je patrné z výkresů DPTH02 a DPTH03



Obrázek 62 Opěrné desky se svěrným pouzdrém

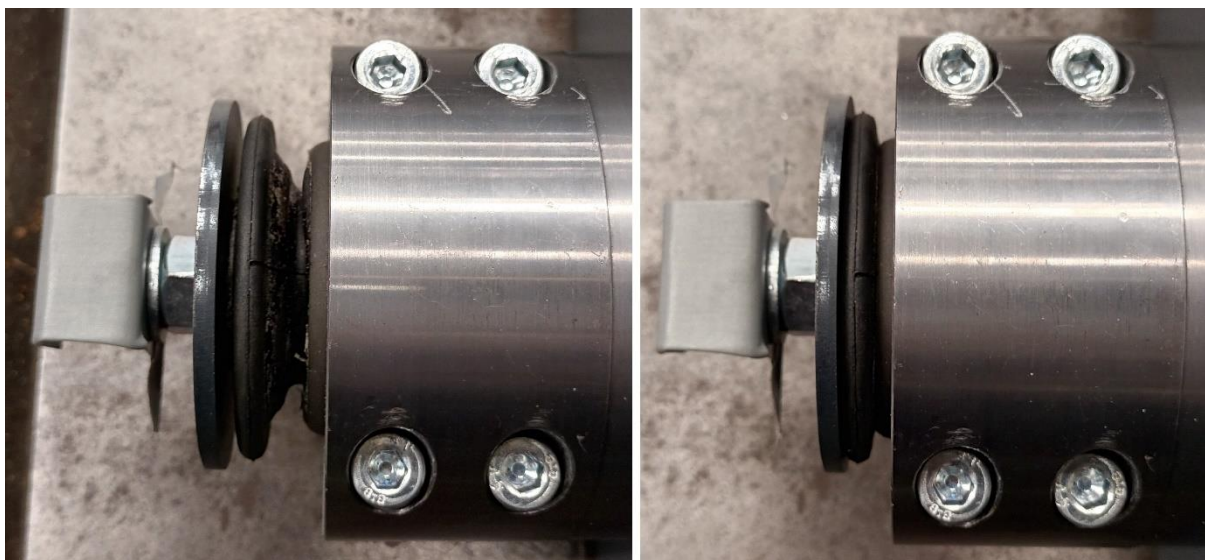
Vnitřním pouzdrém pružného lůžka prochází šroub, kterým se na pružné lůžko přenáší tah od převodníku síly. Na konci šroubu je matice s podložkou, případně se speciální kruhovou plochou, pomocí níž je deformováno pružné lůžko v celé ploše, a nejen přes vnitřní pouzdro. Její rozměry jsou na výkresu DPTH04. Pro správné použití této přídavné plochy je však potřeba znát správnou polohu všech ploch v axiálním směru. V případě tahu v záporném směru osy X, který je na obrázku 63, je poloha jednoznačně daná límcem vnějšího pouzdra a lze předpokládat smysluplné výsledky, což se potvrdilo při vyhodnocení v kapitole 6.6.



Obrázek 63 Tah v záporném směru osy X, s přídavnou plochou, před a po zatížení

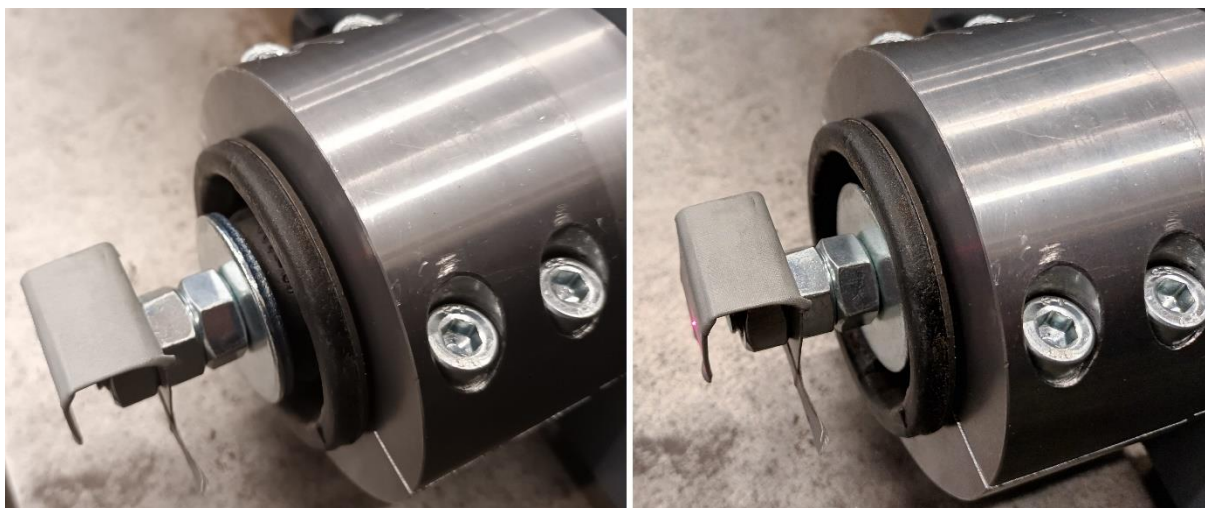


Problém nastává při tahu v kladném směru osy X, kdy není známo, kde by měla být opěrná plocha. Přímo na nápravě vozidla je to odlitek ramene nápravy, u zkušebního zařízení je to čelo svěrného pouzdra. Aby byly výsledky měření relevantní, bylo by potřeba jednoznačně stanovit správnou polohu opěrné plochy. Provedené měření lze tedy považovat jen za zkušební. Jak je vidět z obrázku 64, opěrná plocha tvořená čelem svěrného pouzdra se v této poloze vůbec nevyužije a guma při zatěžování dosedá na vnější pouzdro pružného lůžka, což neodpovídá reálnému stavu po montáži nápravy.



Obrázek 64 Tah v kladném směru osy X, s přídatnou plochou, před a po zatížení

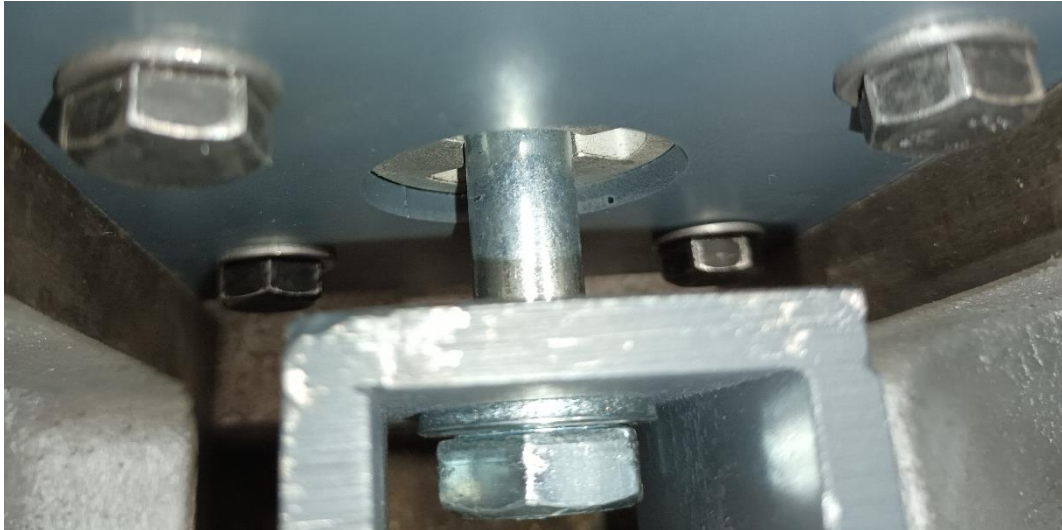
Kromě charakteristik s touto přídatnou plochou byly naměřeny také charakteristiky bez ní. V tom případě se jedná o charakteristiku osamocené pružné lůžka bez využití opěrných ploch, jak je to vidět na obrázku 65.



Obrázek 65 Tah v záporném směru osy X, bez přídatné plochy, před a po zatížení

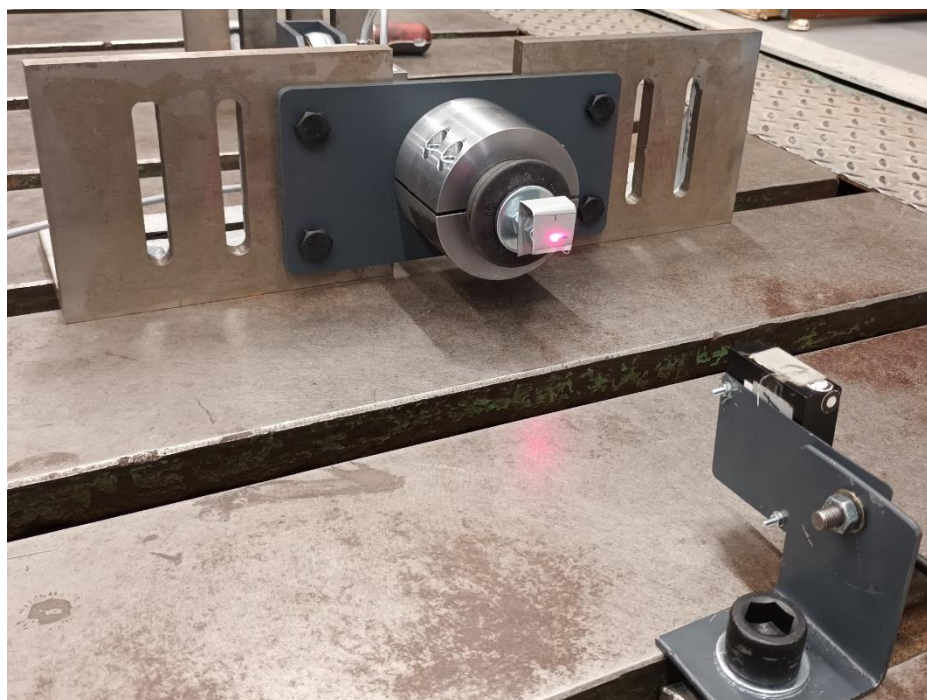


Maximální posuv vnitřního pouzdra pružného lůžka při měření charakteristiky je omezen prostorem mezi svěrným pouzdem a opěrnými deskami. V krajní poloze se vnitřní pouzdro přiblíží opěrné desce s menší dírou, jak je vidět na obrázku 66.



Obrázek 66 Krajní poloha, maximální posunutí vnitřního pouzdra

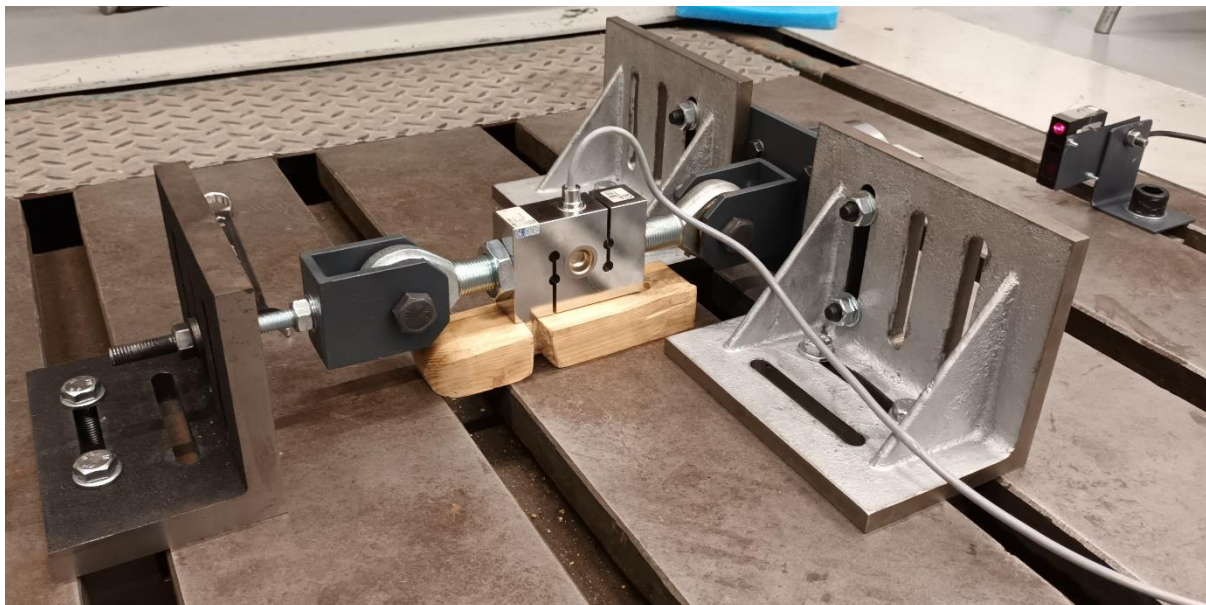
Na konci šroubu, který prochází vnitřním pouzdem pružného lůžka, je také mezi dvěma maticemi uchycena plechová ohýbaná měřicí plocha (viz výkres DPTH01). Na ni dopadá laserový paprsek z bezkontaktního měřidla vzdálenosti HT-250, jak je vidět na obrázku 67. Na měřicí ploše je označen bod, na kterém se má měřit, tak aby bylo možné snadno vizuálně ověřit, že měření probíhá skutečně na ose, a ne mimo ni. Posuv vnitřního pouzdra pružného lůžka je určen jako rozdíl naměřených vzdáleností.



Obrázek 67 Měření posuvu jako rozdílu vzdálenosti

I zkušební zařízení pro tah v ose X je, stejně jako ostatní zařízení, variabilní a umožňuje použití různě dimenzovaných převodníků síly. Při měření charakteristik pružných lůžek ze zadní nápravy vozu VW Multivan byl použit převodník síly do 20 kN.

Vzhledem k hmotnosti převodníku síly je lepší jej podložit dřevěným hranolem vhodné výšky, jak je to na obrázku 68. Síla, která se bude měřit, je ovšem tak velká, že tíha měřidla je oproti ní zanedbatelná. Podkládací hranol má význam především pro snazší montáž a srovnání na začátku měření.



Obrázek 68 Zkušební zařízení s převodníkem síly podloženým dřevěným hranolem

Stejně jako v ostatních sestavách je i v případě tahu v ose X potřeba zabránit namáhání převodníku síly krutem. To se zajistí druhým klíčem.

## 5 METODIKA MĚŘENÍ

V rámci této kapitoly bude popsán obecný postup měření a na co je přitom potřeba dbát. Postup je společný pro všechny varianty namáhání a odkazuje se také na individuální informace uvedené v příslušných kapitolách.

Před započítím měření je nutné sestavit zkušební zařízení ve variantě podle zvoleného způsobu namáhání. Sestavení je popsáno v kapitole 4 a je také patrné z příslušného výkresu sestavy. Pro krut kolem osy X je to výkres DPKH50, pro krut kolem osy Y nebo Z výkres DPKP50, pro tah v ose Y nebo Z výkres DPTP50 a pro tah v ose X je to výkres DPTH50.

Měřidla, u nichž je to možné, je potřeba zkalibrovat, jak bylo popsáno v kapitole 3. Po prvním zatěžovacím cyklu je pak vhodné sestavu zkontrolovat a také ověřit správnou polohu měřidel.

Všechny šrouby, jimiž se bude pohybovat během měření, je vhodné namazat, aby se snížilo tření. Stejně tak všechny kluzné plochy, jako například mezi tělesem převodníku síly a dřevěným podkládacím hranolem.

Ač byla během konstrukčního návrhu snaha o vytvoření co nejmenšího počtu míst, kde by mohla vzniknout vůle, je lepší před měřením charakteristik provést alespoň jeden zatěžovací cyklus. Během něj se vůle vymezí. Zkušební zatížení má význam také proto, aby se projevil případné chyby při sestavování zařízení a mohly být opraveny.

Pro provádění měření charakteristik je potřeba mít na paměti, že se jedná o statické zatěžování, a proto je vždy pootočeno maticí o vhodný úhel a pak je udělána pauza bez pohybu. Velikost kroku, tedy o kolik se maticí pootočí, ovlivňuje, jak budou body v naměřené charakteristice od sebe vzdálené.

Všechny pohyby by měly být prováděny co nejplynuleji. To proto, aby nedocházelo k rázu nebo k rozkmitání, které by ovlivnilo měření.

Pokud je posuv vyvozován šroubem, který je spojený přes U adaptér s okem převodníku síly (to je případ namáhání tahem ve všech osách a krutem kolem os Y a Z), je nutné zabránit rotačnímu pohybu U adaptéru. Důvodem je to, že převodník síly S9M nesmí být namáhán krutem.

Pro utahování matice na pohybovém šroubu je praktické použít prodloužený nástrčný klíč s ráčnou, jako je to na obrázku 56. Díky tomu probíhá měření rychleji. V případě většího posuvu, když už je přečnívající část šroubu (nebo v případě krutu kolem osy X je to závitová tyč) příliš dlouhá, než aby se vešla do prodlouženého nástrčného klíče, nezbyvá než použít očkový nebo plochý klíč.

## 6 ZMĚŘENÉ CHARAKTERISTIKY A JEJICH POROVNÁNÍ S MKP SIMULACÍ

Pomocí čtyř různých zkušebních zařízení popsaných v kapitole 4 byly změřeny charakteristiky obou pružných lůžek ve všech třech osách. Ty budou nyní vyhodnoceny a zároveň také porovnány s charakteristikami, které byly vytvořeny MKP simulací provedenou na ÚADI [19]. Přesnost simulace je ovlivněna především vstupními parametry popisujícími materiálové vlastnosti pryže. Ty byly zvoleny podle výsledků zkoušky tvrdosti pryže, ale lepší by bylo provést komplexní materiálové zkoušky. Z tohoto důvodu je předpokládáno, že MKP simulace bude dále od reality než výsledky reálných měření. Na základě výsledků měření by bylo možné simulaci zpřesnit.

Kromě porovnání se simulací budou výsledky měření porovnány také mezi jednotlivými pružnými lůžky (vnitřní a vnější pružné lůžko). Terminologií a souřadným systémem se zabývá kapitola 2. Při daném posuvu/úhlu pootočení je na zatěžovací křivce vždy větší síla/moment než na křivce odlehčovací.

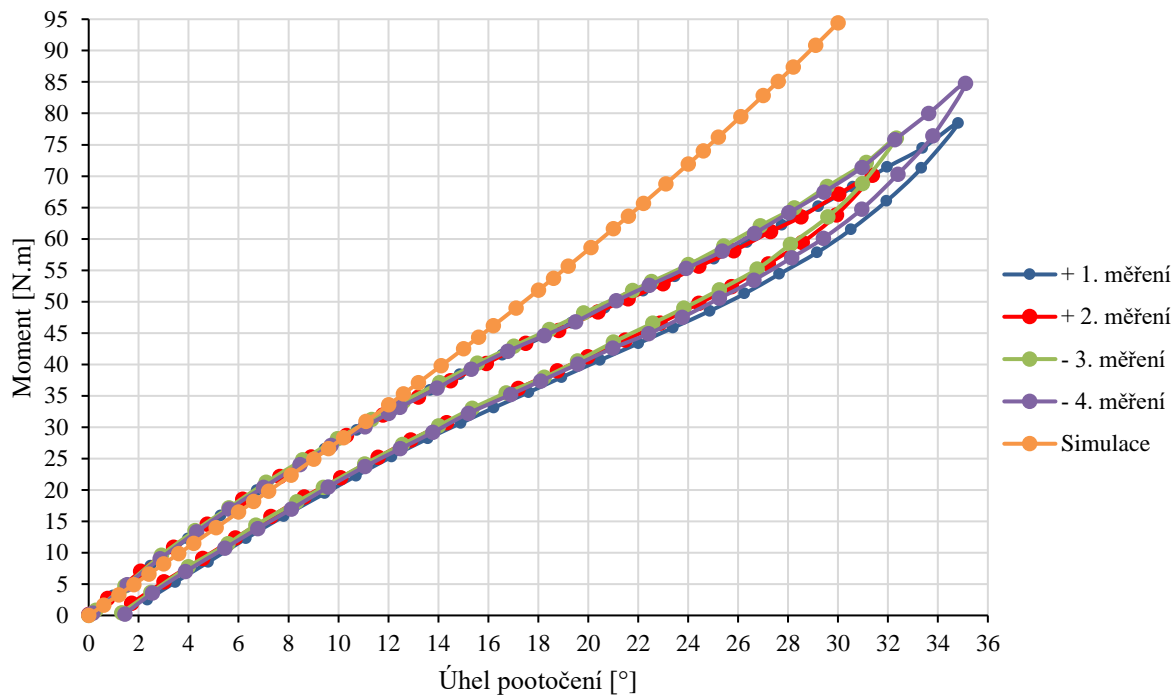
### 6.1 KRUT KOLEM OSY X

Měření charakteristiky pro namáhání krutem kolem osy X vyžaduje ze všech variant nejvíce měřidel a jde o nejsložitější sestavu, jak bylo popsáno v kapitole 4.2. Kvůli zmiňovanému problému s kloubem a umístěním převodníku síly bylo pomocí ramene a dvou bezkontaktních měřidel vzdálenosti zjišťováno také pootočení vnějšího pouzdra pružného lůžka. Lankový potenciometr dává údaj o pootočení celé sestavy. Po odečtení úhlu pootočení vnějšího pouzdra, které by ideálně mělo být statické, dostaneme úhel pootočení samotného pružného lůžka. Teprve to je úhel, který patří do charakteristiky pružného lůžka a který je na vodorovné ose vykresleného grafu. Toto bylo obzvláště důležité v případě vnitřního pružného lůžka, které je nesouosé. V případě vnějšího pružného lůžka, které je souosé, nebyl kloub namontován a pootočení svěrného pouzdra tedy nebylo zdaleka tak velké.

Moment byl vypočítán jednoduše ze změřené velikosti síly a známé délky páky. Při měření bylo pomocí úhelníku kontrolováno, zda se úhel mezi pákou a převodníkem síly mění. Z podstaty funkce převodníku síly se těleso musí natahovat a úhel se tedy musí měnit, ovšem tato změna nebyla měřitelná a je ji tedy možné zanedbat. Pokud by byl využit celý rozsah měřidla, změna by byla větší.

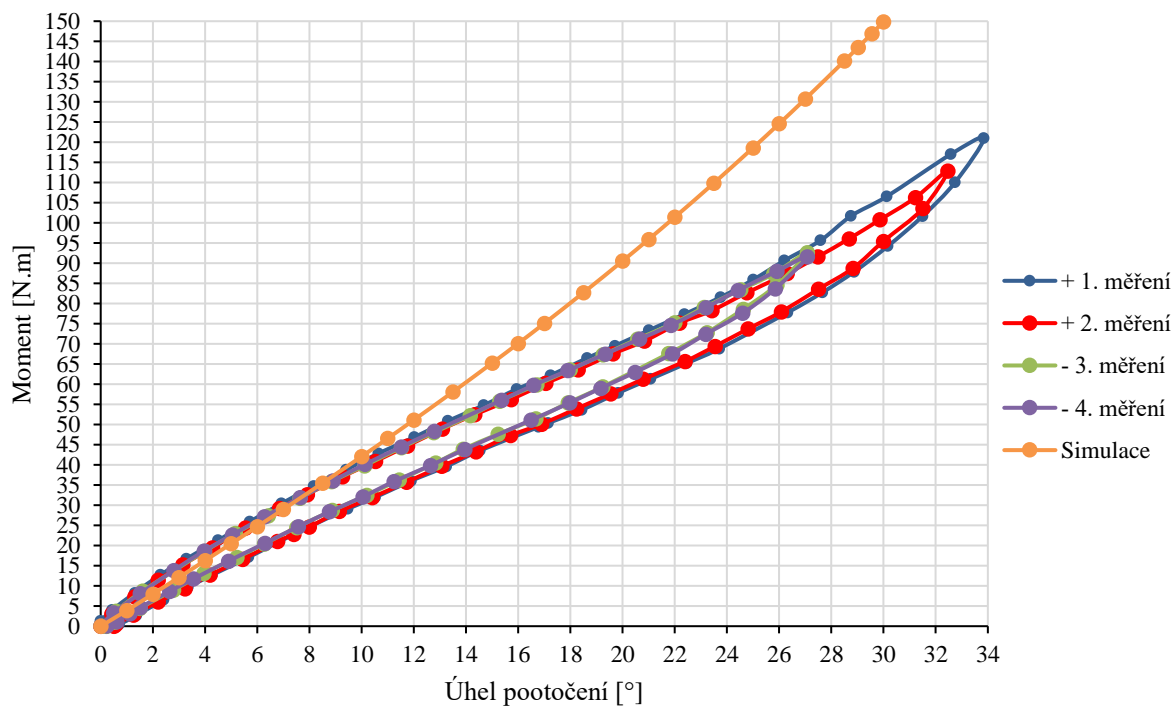
Výsledky měření potvrdily předpoklad, že průběh bude stejný pro kladný i záporný směr. Všechny změřené charakteristiky byly vyneseny do stejného kvadrantu grafu, aby bylo možné jejich porovnání. Toto vykreslení je vhodné pro zhodnocení výsledků, ale pro proložení charakteristiky polynomem bylo použito vykreslení jiné, jak bude ukázáno v kapitole 7. Ve stejném grafu je vykreslena také simulovaná charakteristika. Ve všech případech se projevila značná hystereze pryže, která nebyla v simulaci uvažována.

V případě vnějšího pružného lůžka byla naměřena charakteristika dvakrát pro otáčení jedním směrem a dvakrát druhým směrem. Jak je vidět na obrázku 69, výsledky všech čtyř měření jsou velmi podobné. Nárůst momentu je pomalejší než u simulované charakteristiky, ale obzvláště pro úhly do 10° jsou hodnoty podobné. Poté se začíná projevovat jiný tvar křivky. Pružné lůžko je tedy méně tuhé, než bylo předpokládáno v simulaci.



Obrázek 69 Charakteristika vnějšího pružného lůžka pro krut kolem osy X

V případě vnitřního pružného lůžka je situace obdobná, jak je vidět na obrázku 70. Tvar křivky je velmi podobný charakteristice vnějšího pružného lůžka. Vnitřní pružné lůžko je ale tužší než vnější – nejspíše proto, že vnitřní pružné lůžko má menší otvory v pryžové části.



Obrázek 70 Charakteristika vnitřního pružného lůžka pro krut kolem osy X

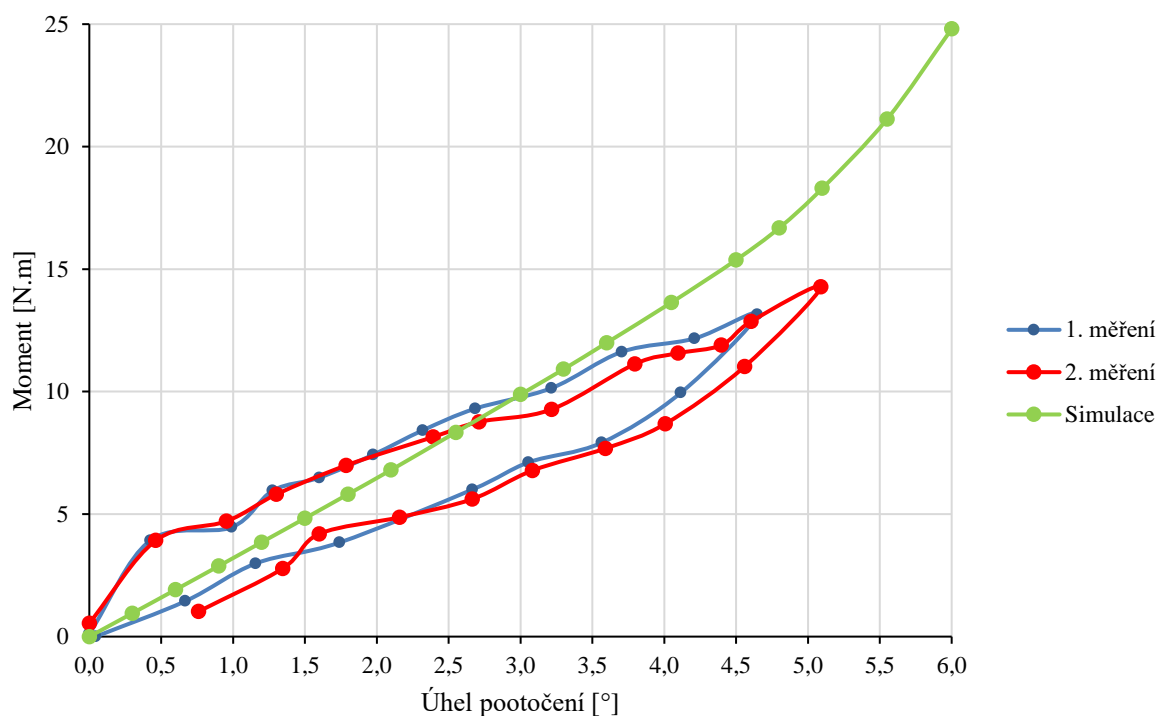


## 6.2 KRUT KOLEM OSY Y

Měření charakteristiky pro krut kolem osy Y probíhalo jen pro malé úhly. Pro větší úhly není zařízení vhodné a nemá to ani význam, jelikož na zadní nápravě vozu VW Multivan je předpokládáno pootočení pružného lůžka až o  $1,79^\circ$  a teoretickým maximem je úhel  $3,58^\circ$ .

V případě obou pružných lůžek je tuhost velmi malá. To je způsobeno tím, že při kroucení kolem osy Y dochází k deformaci menšího množství pryže a zmenšují se dvě vzduchové mezery.

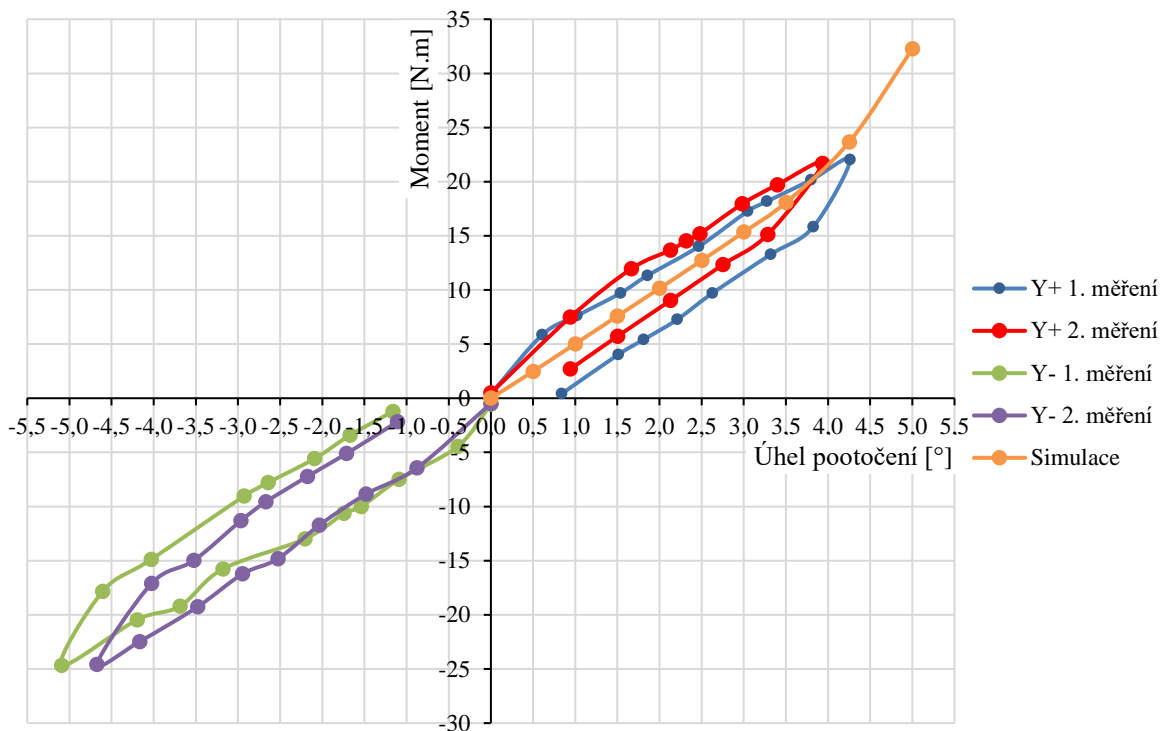
Jak je patrné z obrázku 71, charakteristiku vnějšího pružného lůžka lze při těchto hodnotách úhlu považovat za lineární. Na první pohled se tak liší od simulace. Nelze však vyloučit, že při měření pro větší úhly by charakteristika lineární nebyla a byla by jen méně strmá než v simulaci. V kontextu zadní nápravy vozu VW Multivan je však zkoumání této oblasti bezpředmětné.



Obrázek 71 Charakteristika vnějšího pružného lůžka pro krut kolem osy Y

Jelikož je vnitřní pružné lůžko nesouosé a vzduchové mezery i vrstva pryže nejsou stejně velké, nebyla při kroucení kolem osy Y předpokládána symetrická charakteristika v kladném a záporném směru. Proto byly naměřeny charakteristiky v obou směrech a jsou vykresleny zvlášť na obrázku 72. Ukazuje se však, že charakteristiky jsou velmi podobné.

Pro malé úhly je charakteristika blízká simulaci, při větších úhlech už nikoliv. Stejně jako v případě vnějšího pružného lůžka to ale není podstatné.



Obrázek 72 Charakteristika vnitřního pružného lůžka pro krut kolem osy Y

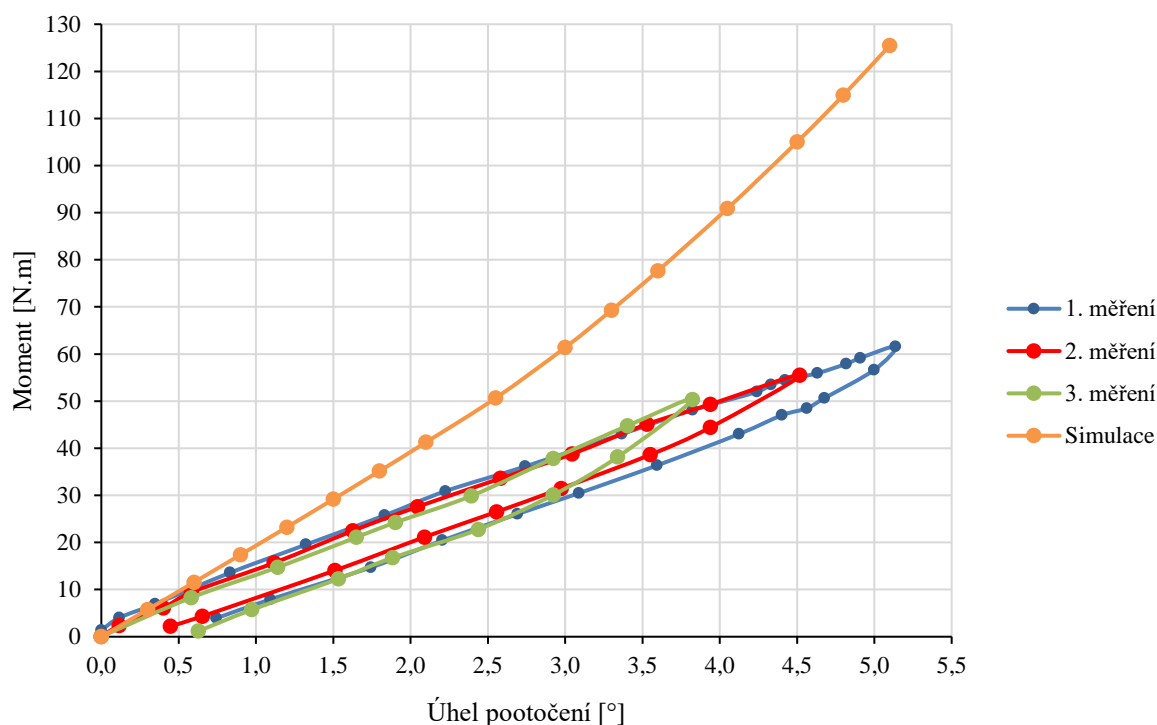
### 6.3 KRUT KOLEM OSY Z

Při kroucení kolem osy Z je situace obdobná jako u osy Y. Hlavním rozdílem je to, že tuhost obou pružných lůžek je výrazně větší, protože se stlačuje oblast, která je zcela vyplněná pryží.

Stejně jako u osy Y probíhalo měření charakteristiky pro krut kolem osy Z jen pro malé úhly. Měření bylo prováděno na stejném zařízení, které není vhodné pro kroucení o velký úhel. Větší úhel by však neměl význam, jelikož na zadní nápravě vozu VW Multivan je předpokládáno pootočení pružného lůžka až o  $1,79^\circ$  a teoretickým maximem je úhel  $3,58^\circ$ .

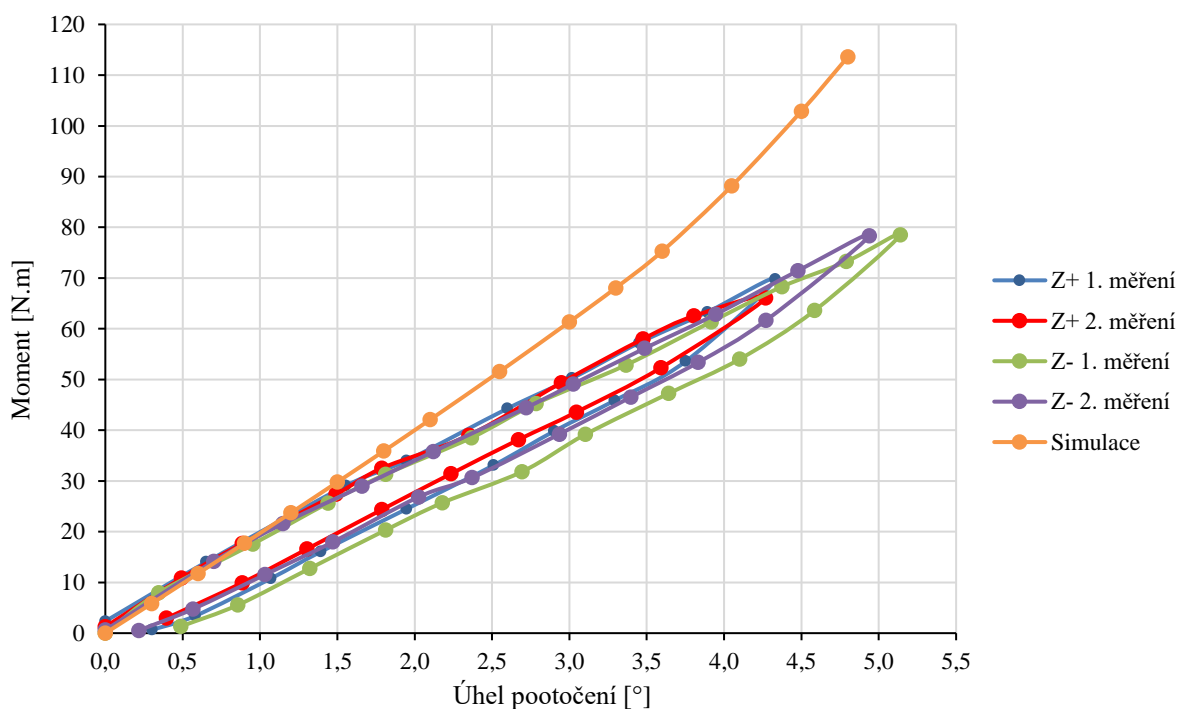
Obě pružná lůžka se opět ukázala jako méně tuhá, než bylo předpokládáno v simulaci. U vnějšího pružného lůžka je tento rozdíl výraznější než u vnitřního.

Naměřenou charakteristiku vnějšího pružného lůžka, která je na obrázku 73, je možné považovat za lineární. Všechna tři provedená měření mají obdobný průběh.



Obrázek 73 Charakteristika vnějšího pružného lůžka pro krut kolem osy Z

V případě vnitřního pružného lůžka lze i přes jeho nesouosost předpokládat symetrickou charakteristiku v kladném i záporném směru. Pro ověření tohoto předpokladu, který nebyl tak jistý jako u vnějšího pružného lůžka, bylo provedeno měření charakteristik oběma směry. Ukázalo se, že jsou stejné, a proto byly pro snadné porovnání vykresleny všechny do jednoho kvadrantu grafu, jak je vidět na obrázku 74.

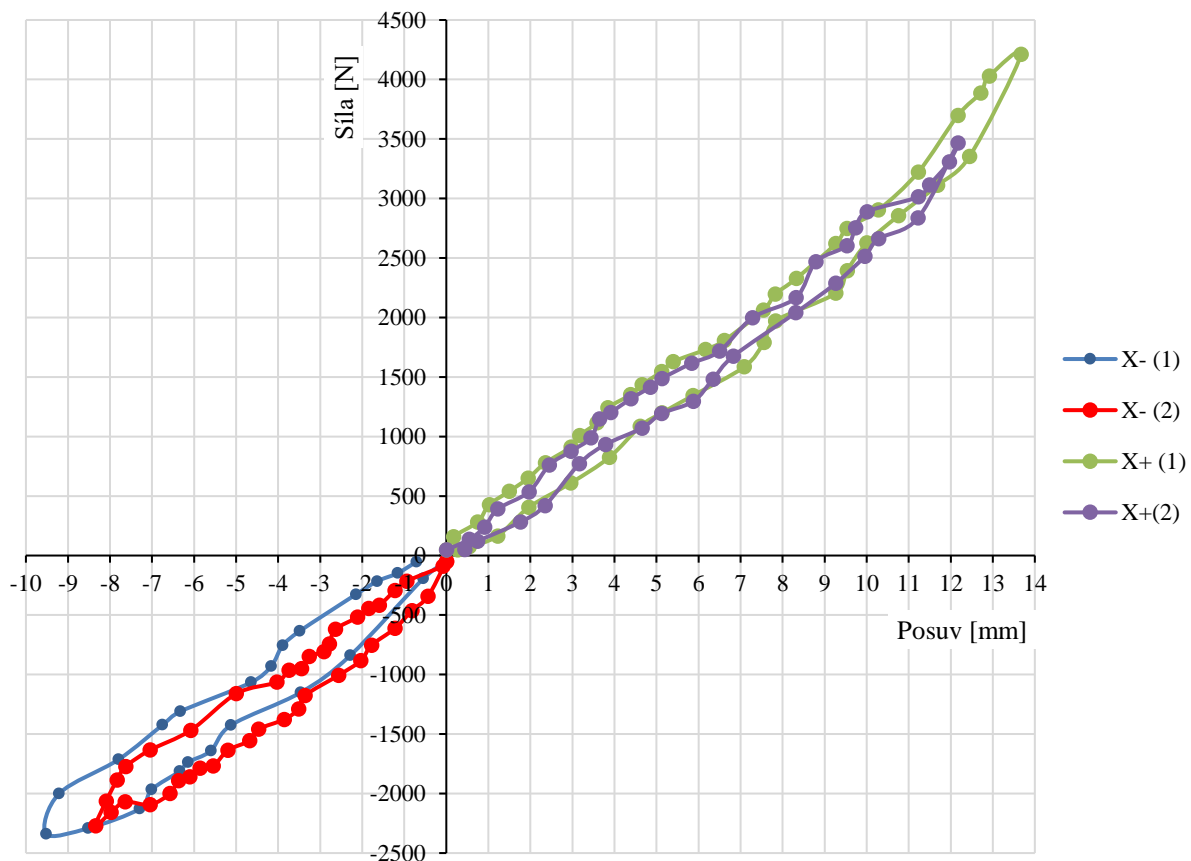


Obrázek 74 Charakteristika vnitřního pružného lůžka pro krut kolem osy Z

## 6.4 TAH V OSE X

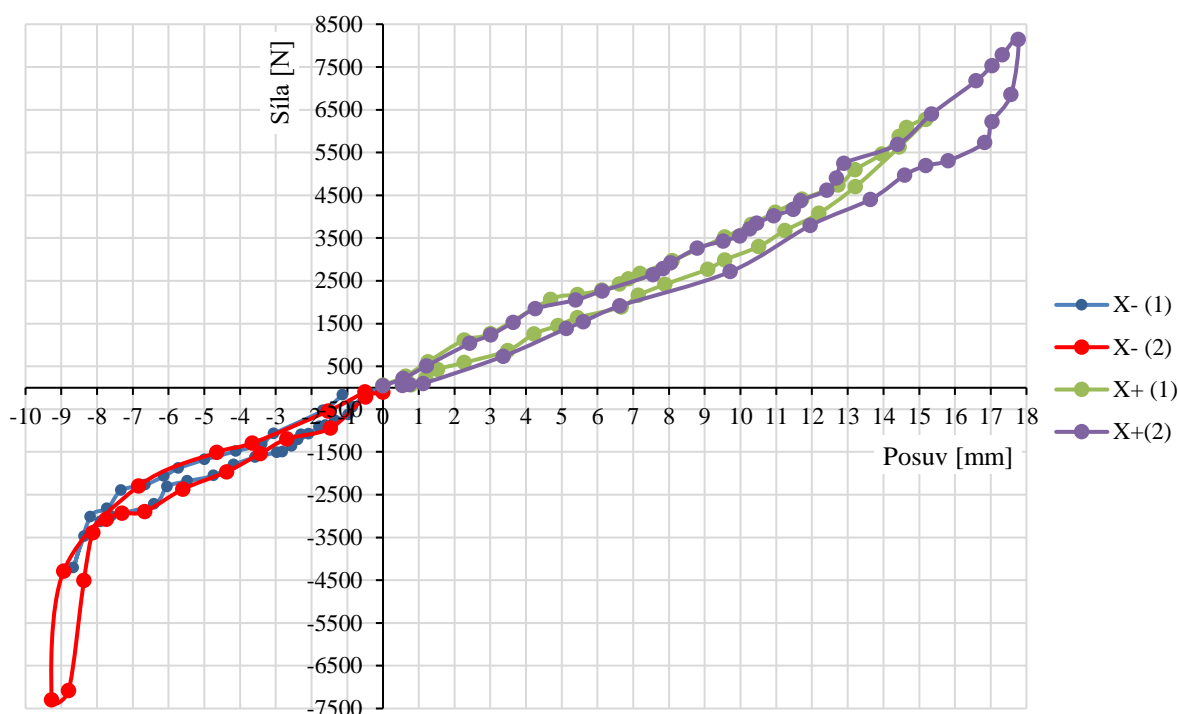
Pro tah v ose X byly naměřeny vždy dvě varianty charakteristik. Jednak bez opěrné plochy, tedy pouze samotného pružného lůžka. A jednak s přídatnou opěrnou plochou, což je varianta, která by měla být bližší reálnému umístění pružného lůžka na nápravě. Problém je ovšem se stanovením správné polohy opěrných ploch, jak bylo zmíněno v kapitole 4.5.

Charakteristiky samotných pružných lůžek lze považovat za lineární a v kladném i záporném směru velice podobné. Dochází totiž k poměrně jednoduché deformaci pryže bez vlivu složitějších tvarů. Průběh je na obrázku 75 a 76.



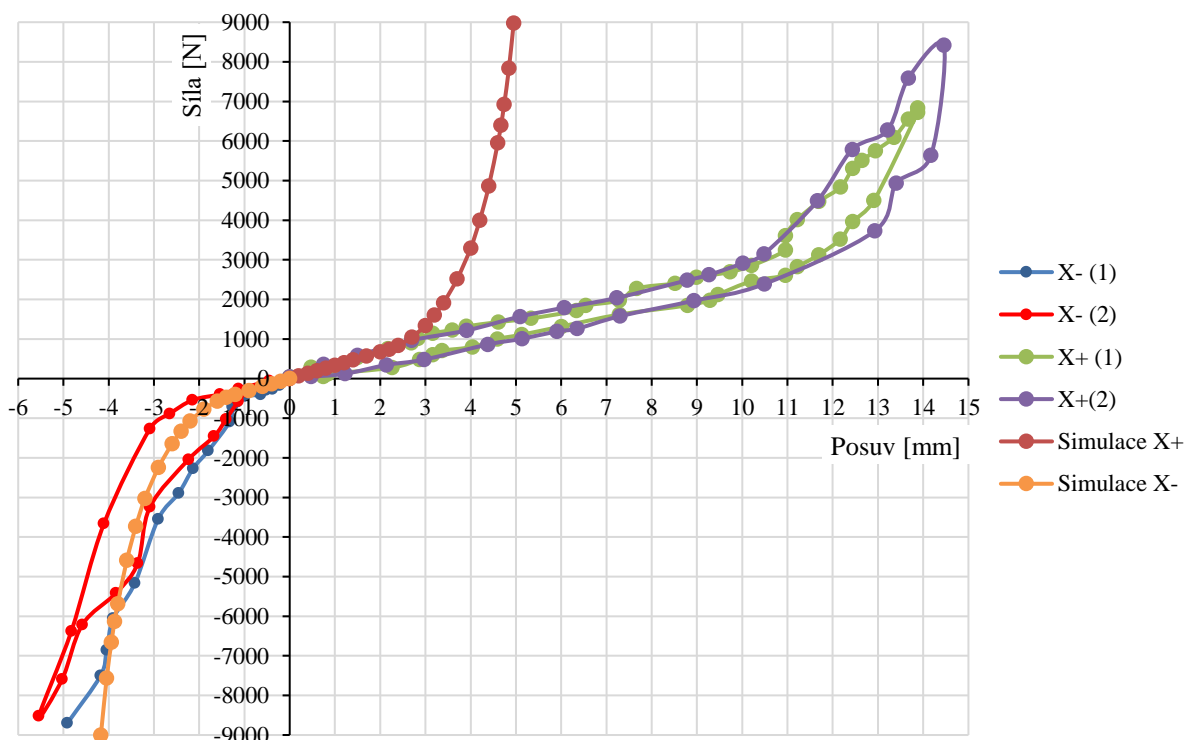
Obrázek 75 Charakteristika vnějšího pružného lůžka pro tah v ose X, bez přídatné opěrné plochy

V případě vnitřního pružného lůžka došlo v záporném směru k dosednutí podložky na protikus, a proto má charakteristika v závěru tak strmý průběh viditelný na obrázku 76. Taková situace však v reálných podmínkách na nápravě vozidla nemůže nastat, jelikož by dříve došlo ke kolizi ramene nápravy s vnějším pouzdem pružného lůžka. Proto tato část charakteristiky nebude zohledněna při prokládání křivkou pro účely zadání charakteristik do modelu pro multibody simulace v Adams, jak je popsáno v kapitole 7.



Obrázek 76 Charakteristika vnitřního pružného lůžka pro tah v ose X, bez přídavné opěrné plochy

Simulace byla provedena pouze pro variantu s přídavnými opěrnými plochami. V záporném směru osy X je poloha opěrných ploch jasně daná límcem vnějšího pouzdra pružného lůžka. Toto měření lze tedy považovat za relevantní. Pro obě pružná lůžka charakteristiky přibližně odpovídají simulaci, jak je vidět na obrázku 77 a 78.

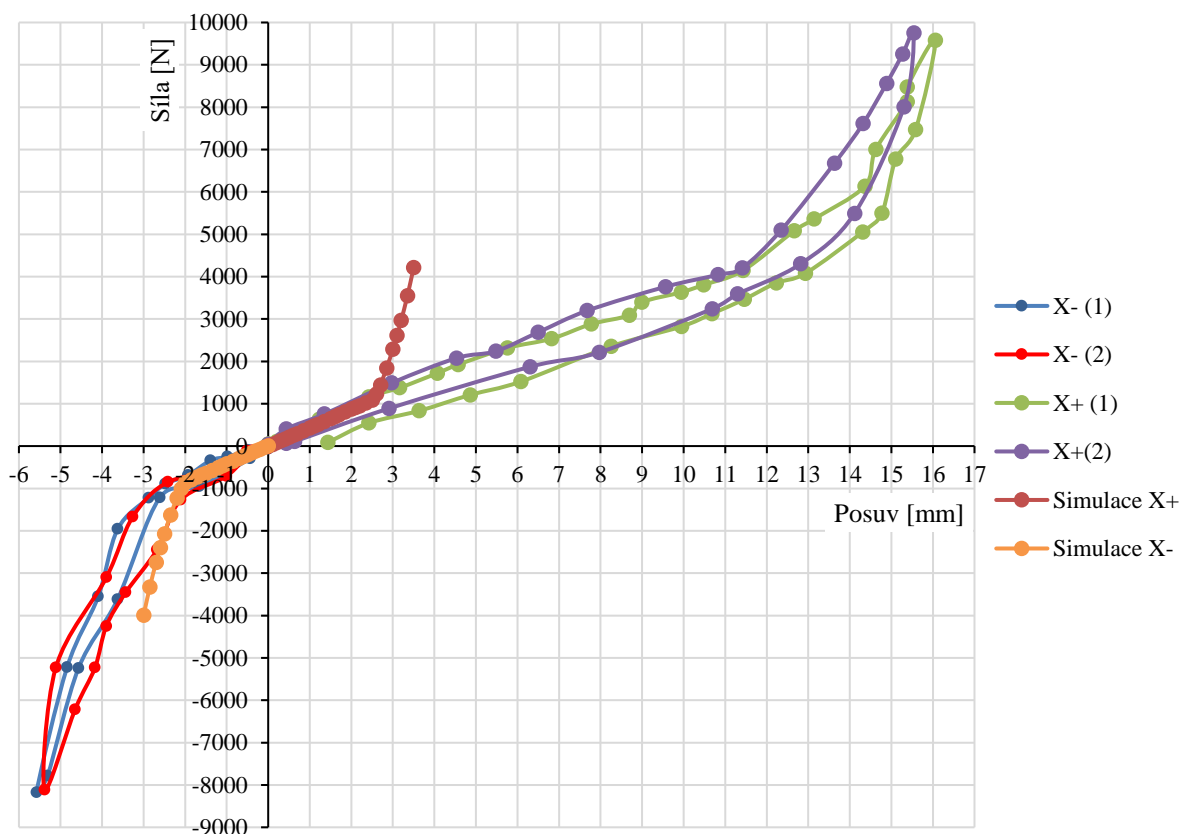


Obrázek 77 Charakteristika vnějšího pružného lůžka pro tah v ose X, s přídavnou opěrnou plochou



První měření vnějšího pružného lůžka v záporném směru osy X bylo provedeno příliš velkým zatížením a došlo k deformaci přídavné opěrné plochy. Proto byla tato část charakteristiky vyňata z vyhodnocování, a to včetně odlehčování, které tím bylo rovněž poznamenáno. Začátek zatěžování ale probíhal správně, a proto byl pro porovnání na obrázku 77 také vykreslen (modrou barvou).

V kladném směru osy X se projevuje zmiňovaný problém s určením správné polohy ploch. Proto je naměřená charakteristika obou pružných lůžek na obrázku 77 a 78 výrazně posunutá oproti simulaci. Průběh je ale podobný, což značí, že jev je v simulaci dobře vystižen. V simulaci je poloha plochy určena lépe, než to bylo provedeno při měření, ovšem pro jednoznačné posouzení by bylo potřeba určit polohu přesně přímo na nápravě na vozidle.

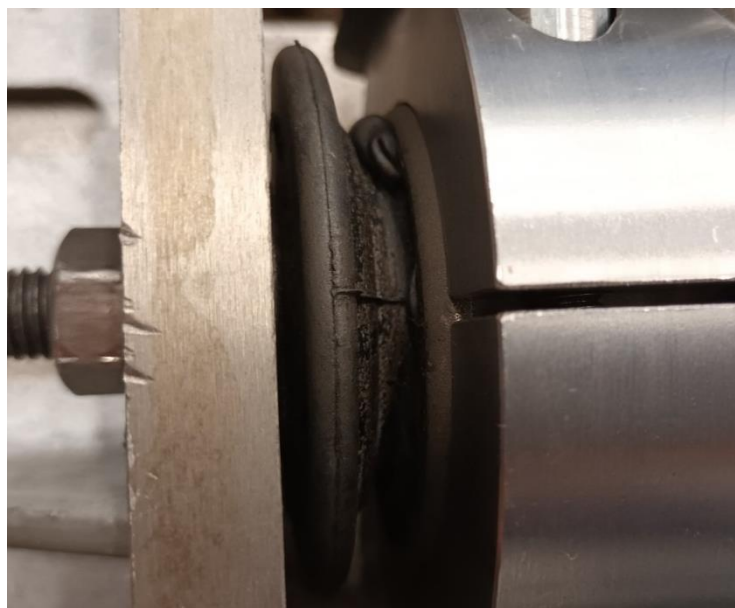


Obrázek 78 Charakteristika vnitřního pružného lůžka pro tah v ose X, s přídavnou opěrnou plochou

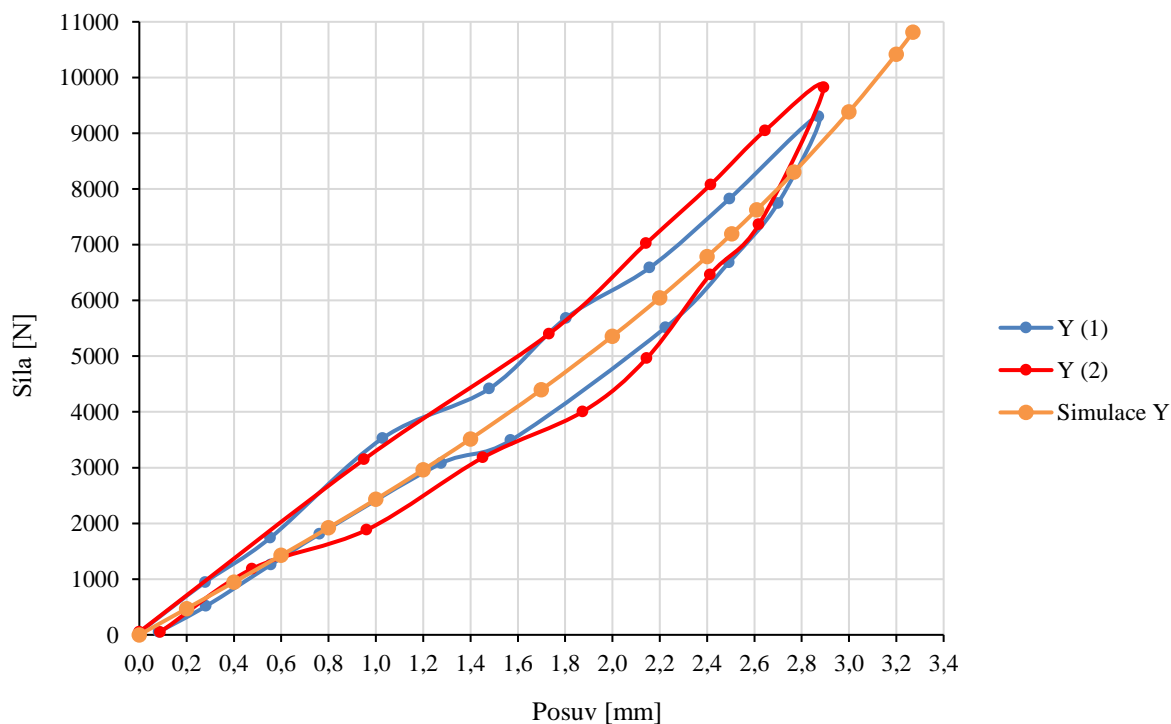
## 6.5 TAH V OSE Y

Charakteristika pro tah v ose Y je pro obě pružná lůžka téměř lineární. To je dáno tím, že dochází k deformaci části pružného lůžka zcela vyplněného pryží a není zde žádné vybrání, které se bude projevovat až u tahu v ose Z.

Při velké deformaci začíná pryž „vytékat“ z prostoru mezi vnitřním a vnějším pouzdrem. Na obrázku 79 je zaznamenán stav při působení síly téměř 10 kN.

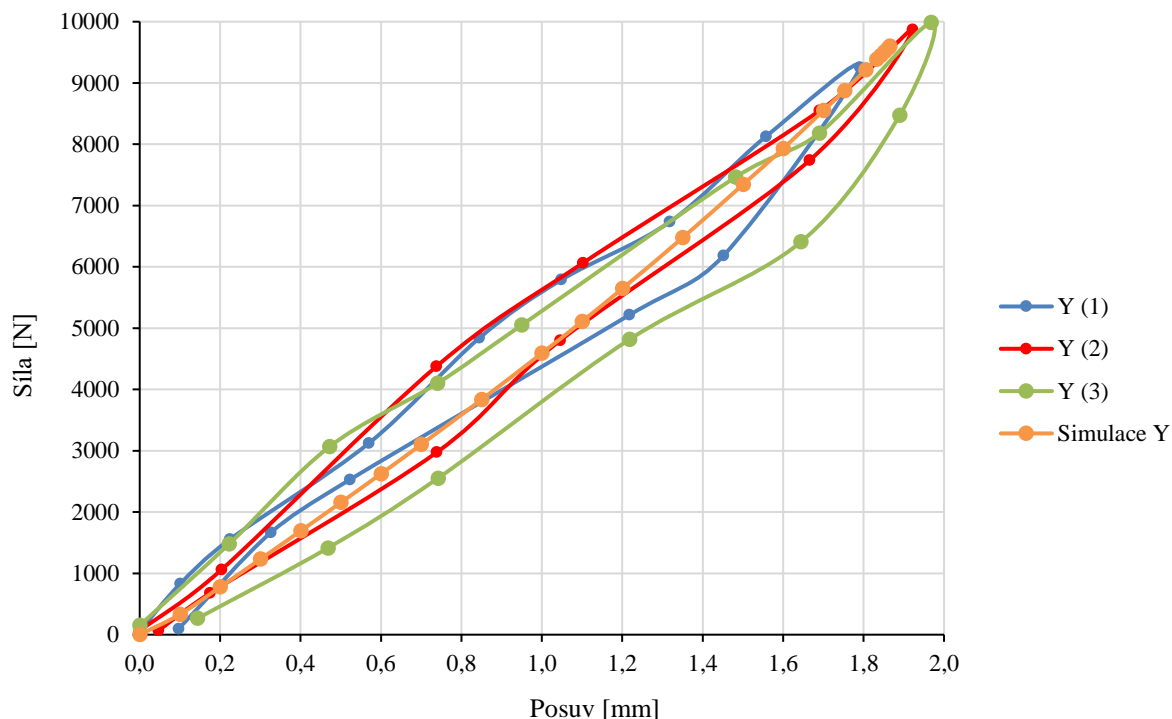


Obrázek 79 Vytlačená pryž z prostoru mezi vnitřním a vnějším pouzdrem pružného lůžka



Obrázek 80 Charakteristika vnějšího pružného lůžka pro tah v ose Y

U obou pružných lůžek naměřené charakteristiky kopírují simulovanou charakteristiku, jak je vidět na obrázku 80 a 81. Na rozdíl od simulace se zde opět projevuje výrazná hystereze, kterou nebyla v simulaci uvažována.

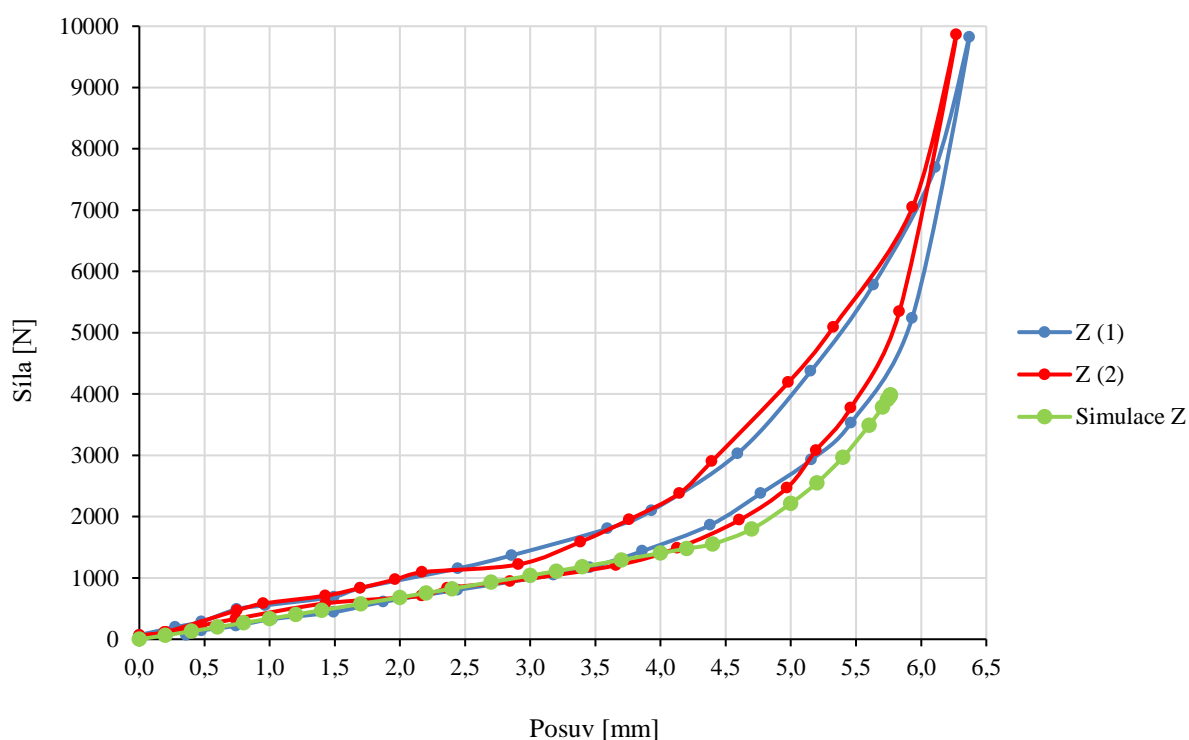


Obrázek 81 Charakteristika vnitřního pružného lůžka pro tah v ose Y

## 6.6 TAH V OSE Z

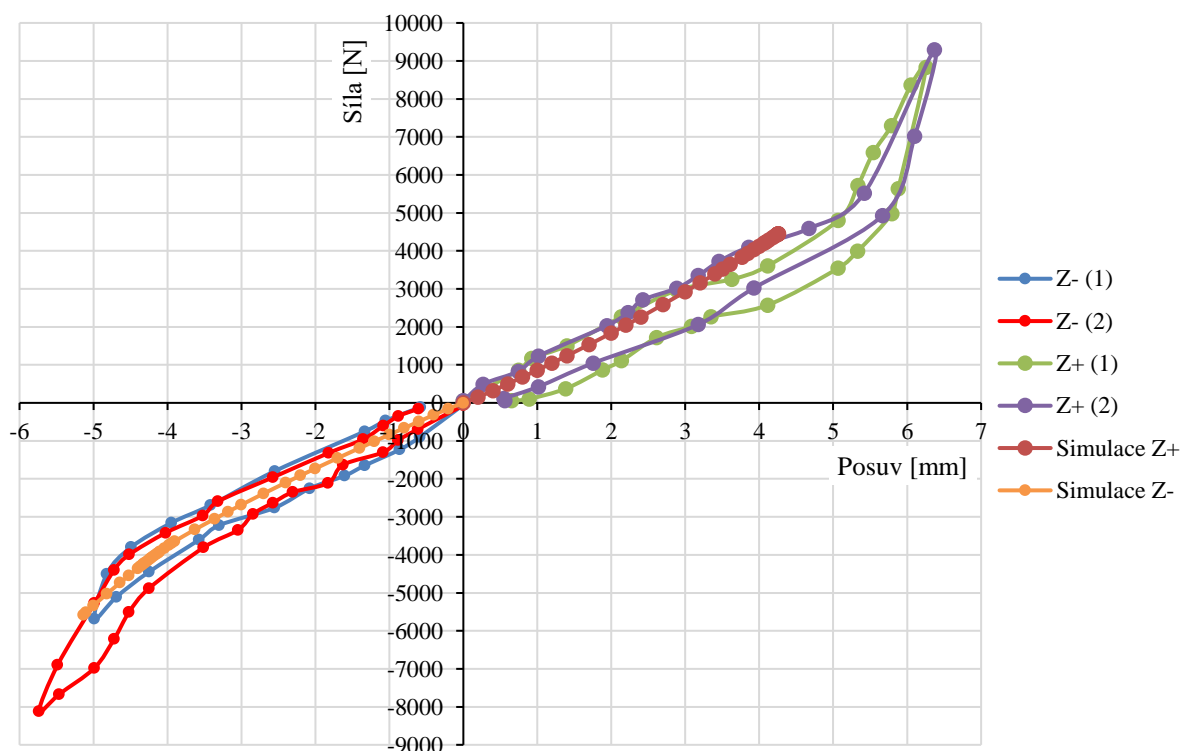
Charakteristika pro tah v ose Z se od osy Y odlišuje tím, že zde dochází nejprve k deformaci vzduchových mezer v pryžové části pružného lůžka a teprve po jejich zmenšení se začíná deformovat větší objem pryže. Proto charakteristika na počátku roste jen velmi pomalu a pak se průběh začne měnit ve strmější. To platí obecně pro obě pružná lůžka.

Pro vnější pružné lůžko, které je sousedé, je průběh v kladném i záporném směru stejný. Proto je na obrázku 82 vykreslen jen kladný směr. Je vidět, že naměřená charakteristika je velmi podobná simulované.



Obrázek 82 Charakteristika vnějšího pružného lůžka pro tah v ose Z

Vnitřní pružné lůžko je nesouosé, mezery v pryži nejsou stejně velké, a proto nelze předpokládat stejnou charakteristiku v kladném i záporném směru osy Z. V záporném směru dochází ke stlačování menší mezery, a proto je charakteristika strmější dříve. U kladného směru je to naopak, což je vidět i na obrázku 83. Simulace nebyla provedena pro tak velký posuv, a proto u ní není tato změna vidět.

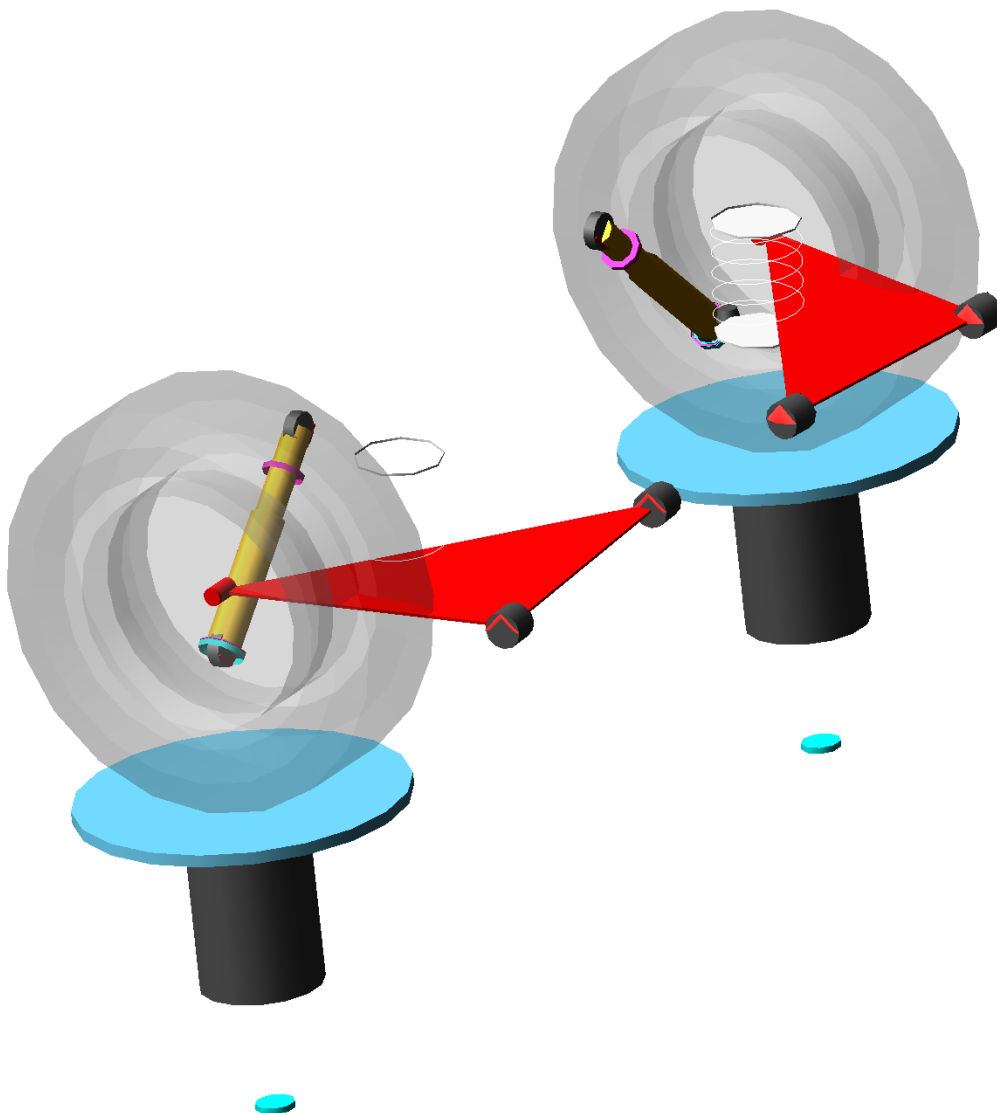


Obrázek 83 Charakteristika vnitřního pružného lůžka pro tah v ose



## 7 MODEL PRUŽNÉHO LŮŽKA PRO MULTIBODY SIMULACE

Jedním z cílů této diplomové práce bylo také vytvoření modelu pružného lůžka pro multibody simulace v softwaru Adams. To proto, aby model celé nápravy byl blíže realitě, než když jsou v něm používány dokonale tuhé klouby. Model zadní nápravy automobilu VW Multivan byl vytvořen pracovníky ÚADI a je na obrázku 84. Modré plochy při pohybu nahoru a dolů simulují pohyb kol ve svislém směru při jízdě po nerovnostech vozovky. Červeně jsou znázorněna trojúhelníková ramena, kterými je tato náprava typická. Tato ramena jsou uchycena přes pružná lůžka znázorněná tmavě šedými válečky. Pro pružné lůžko byl použit prvek s názvem „Bushing“, kterému je možné přiřadit různou charakteristiku.

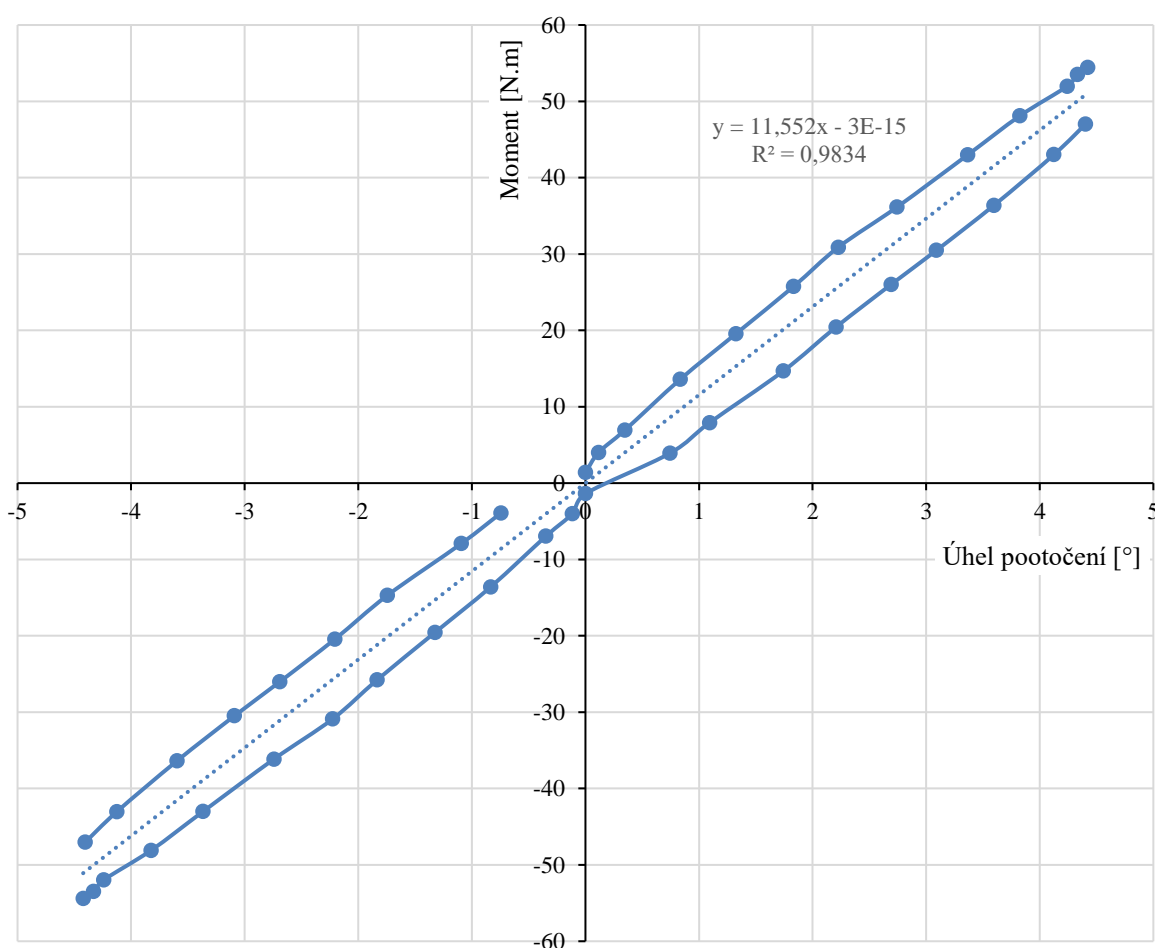


Obrázek 84 Model zadní nápravy pro multibody simulace v Adams [20]

K modelu nápravy pak byly autorem práce přidány charakteristiky pružných lůžek (do vlastností prvku Bushing), ale na to bylo nejprve potřeba proložit naměřené charakteristiky vhodnou křivkou. Jelikož v modelu nebylo počítáno s hysterezí, byla volena křivka nacházející se mezi křivkou zatěžování a křivkou odlehčování. To bylo provedeno v programu Microsoft Office Excel. Křivka, kterou je charakteristika proložená, je ve všech grafech vykreslena tečkovaně.

Pro další zpracování bylo vždy vybráno vhodné měření, obvykle to bylo to měření, které šlo do většího posunutí nebo do většího úhlu pootočení. To proto, že z řady bodů bylo potřeba odstranit několik posledních bodů, kdy se k sobě křivky zatěžování a odlehčování přiblíží. Tyto body byly odstraněny proto, že by při ponechání všech naměřených bodů a proložení křivkou došlo k vychýlení proložené křivky v této koncové oblasti, což by nedopovídalo skutečné charakteristice pružného lůžka.

Celá charakteristika, tedy pro kladný i záporný směr, byla zadána do grafu jako jediná řada a této řadě byla poté přidána spojnice trendu. Pro některé osy však nebyla naměřena charakteristika v záporném směru, protože šlo o varianty, kdy je pružné lůžko symetrické a měřit charakteristiku v obou směrech by nic nepřineslo. V těchto případech byla vytvořena řada bodů totožných s kladným směrem zatěžování, jen s hodnotami vynásobenými -1. Jedná se například o krut kolem osy Z pro vnější pružné lůžko, jak je vidět na obrázku 85.



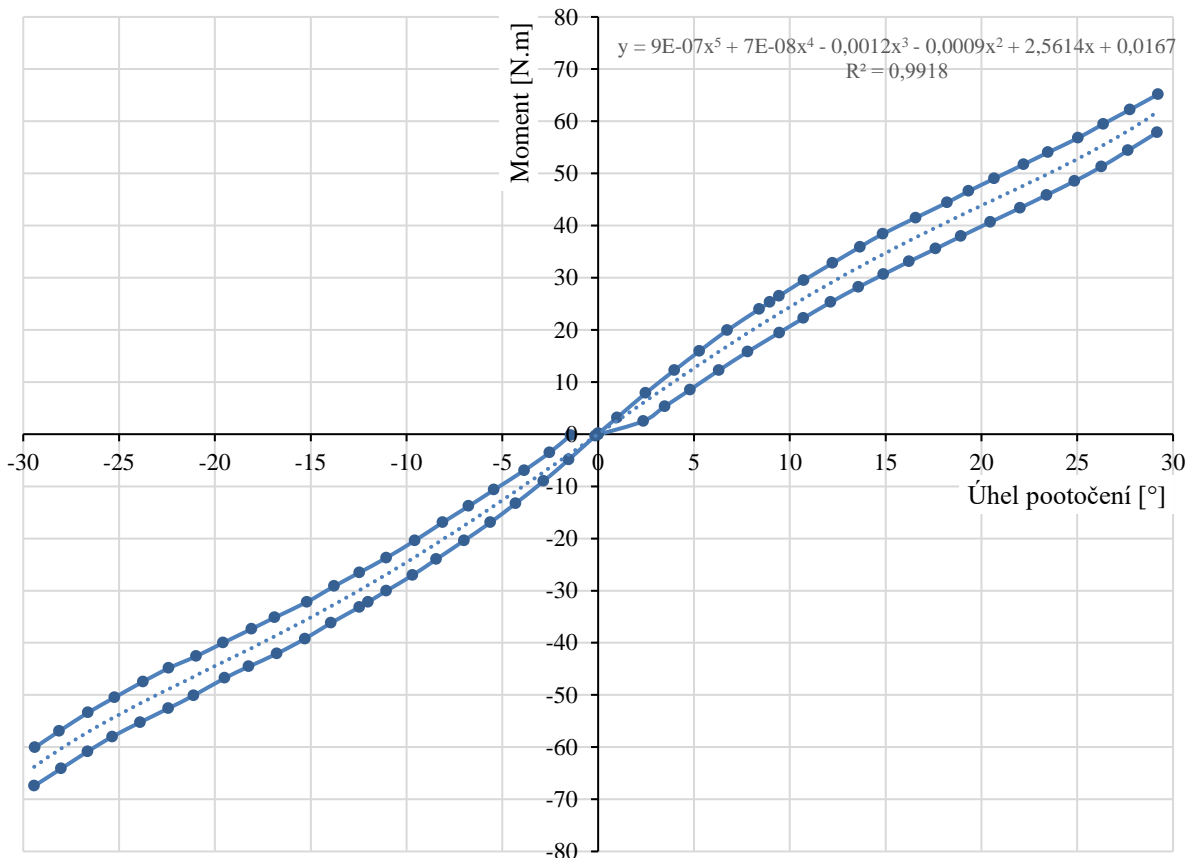
Obrázek 85 Křivka proložená pro charakteristiku vnějšího pružného lůžka, krut kolem osy Z

Používat charakteristiku v kladném i záporném směru i v případě, kdy jsou totožné, má smysl z toho důvodu, že proložená křivka pak prochází blíže nulového bodu, a také v této oblasti nevytváří zvlnění, které u reálné charakteristiky není předpokládáno.

Podle tvaru každé jednotlivé charakteristiky byl individuálně vybírán vhodný stupeň polynomu. Například pro vnější pružné lůžko a krut kolem osy X byl jako vhodný vybrán polynom až 5. stupně. Charakteristika je patrná z obrázku 86.

Při výběru vhodného polynomu byla zohledňována hodnota spolehlivosti  $R^2$ . Pokud byla s větším stupněm polynomu křivka smysluplná a hodnota spolehlivosti byla vyšší, byl zvolen větší stupeň polynomu. Pokud však s větším stupněm polynomu hodnota spolehlivosti nerostla, nemělo smysl mít složitější rovnici a byl ponechán nižší stupeň polynomu.

Konkrétně například u krutu kolem osy Z pro vnější pružné lůžko by  $x$  s exponentem 2 mělo koeficient  $-5 \cdot 10^{-14}$ . Jelikož je tento koeficient velmi blízký nule, nemá smysl dále zvyšovat stupeň polynomu.

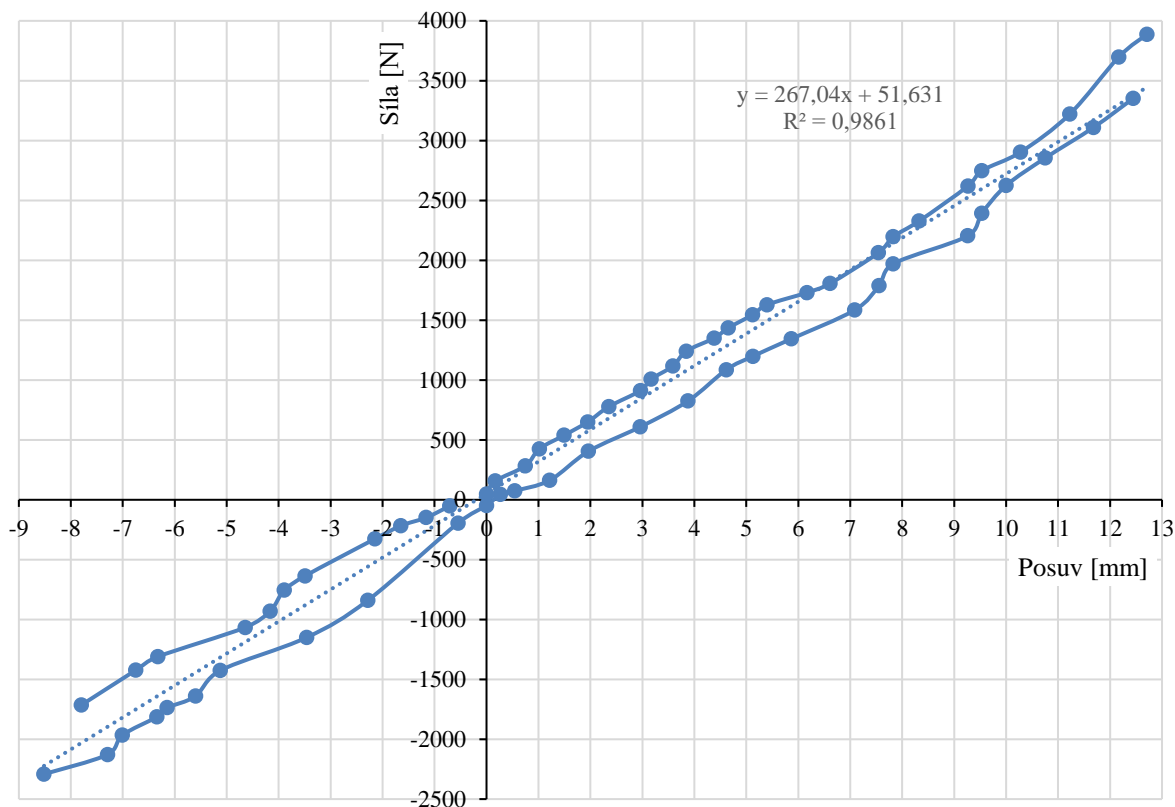


Obrázek 86 Křivka proložená pro charakteristiku vnějšího pružného lůžka, krut kolem osy X

V některých případech byla charakteristika lineární, tedy vlastně šlo o polynom 1. stupně. Konkrétně například v případě vnějšího pružného lůžka a tahu v ose X (viz obrázek 87) nebo krutu kolem osy Z (viz obrázek 85).

Co se týče tahu v ose X (jak pro vnější, tak pro vnitřní pružné lůžko), byly pro účely proložení křivkou a použití v modelu vybrány charakteristiky při zatěžování bez přídavné plochy. Přesná a správná poloha přídavné plochy není totiž přesně stanovena a než aby byla do modelu vnesena odhadovaná nebo nesmyslná charakteristika, bylo raději přistoupeno k tomu, že je použita charakteristika samotného volně umístěného pružného lůžka. Tato charakteristika je lineární, a proto je proložena polynomem 1. stupně, jak je například pro vnější pružné lůžko vidět na obrázku 87. Při měření s přídavnou plochou by to však bylo výrazně jinak. Jak se charakteristiky s plochou a bez ní liší a proč je popsáno v kapitole 6.4.

Pro účely další práce s modelem by bylo nejlepší polohu plochy přesně stanovit a poté naměřit charakteristiku i s ní. Tak totiž bude charakteristika blíže reálné situaci a tomu, jak je pružné lůžko umístěno na nápravě. Touto charakteristikou by pak bylo vhodné nahradit v modelu nyní použitou charakteristiku.



Obrázek 87 Křivka proložená pro charakteristiku vnějšího pružného lůžka, tah v ose X

Ve všech případech, tedy pro všech 12 proložených křivek, byla hodnota spolehlivosti  $R^2$  větší než 0,93. To je pro účely této práce považováno za dostatečné.

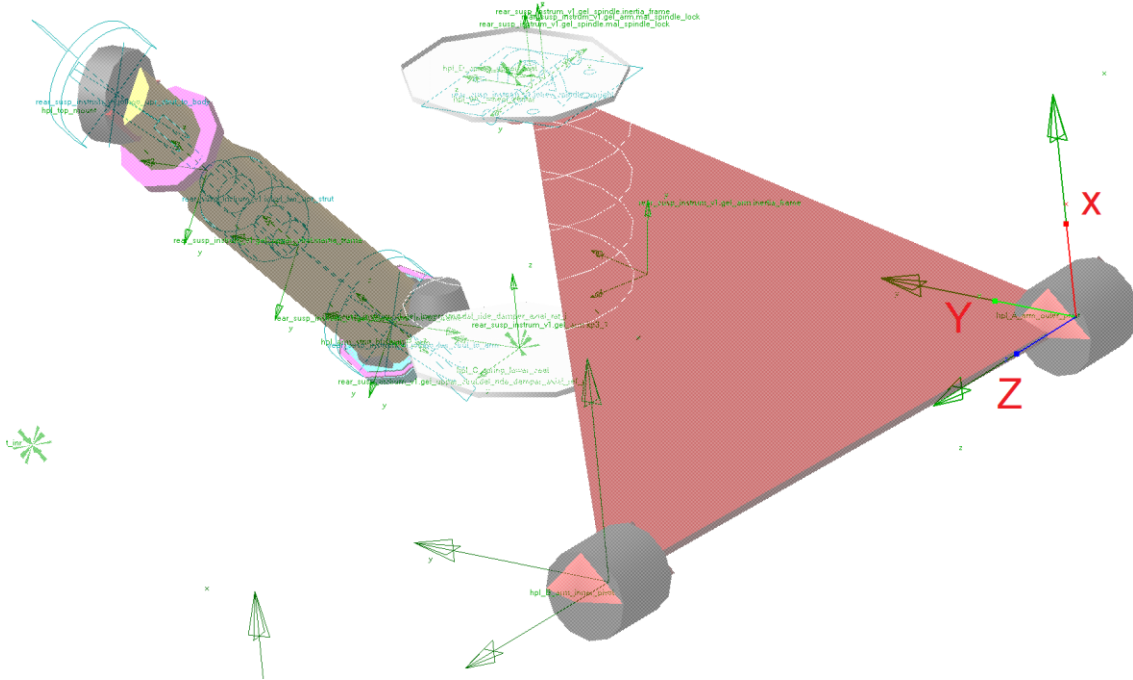
Podle každé rovnice křivky (případně přímky) byly vypočítány hodnoty síly (v případě tahu) nebo momentu (v případě krutu) pro řadu zvolených bodů (hodnot posunutí nebo pootočení). Tyto body byly voleny s vhodným konstantním rozestupem. Například krut vnějšího pružného lůžka kolem osy X byl naměřen od  $-30^\circ$  do  $+30^\circ$  (bez koncových hodnot, které nebyly z výše uvedených důvodů použity pro proložení křivky), a proto byly pro něj zvoleny body od  $-30^\circ$  do  $+30^\circ$  s krokem  $0,5^\circ$ . Tak vznikla řada bodů, která byla poté použita pro zadání charakteristiky přímo do softwaru Adams.

Pro prvek bushing byla zvolena metoda zadávání jeho charakteristiky jako tabulky bodů, která má dva sloupce. Zadává se charakteristika pro namáhání tahem ve třech osách (sloupce obsahují posunutí v mm a sílu v N) a charakteristika pro namáhání krutem kolem tří os (sloupce obsahují úhel pootočení ve stupních a moment v N.mm). Pro tuto metodu se hodí data, která byla uvedeným způsobem připravena v programu Microsoft Office Excel.

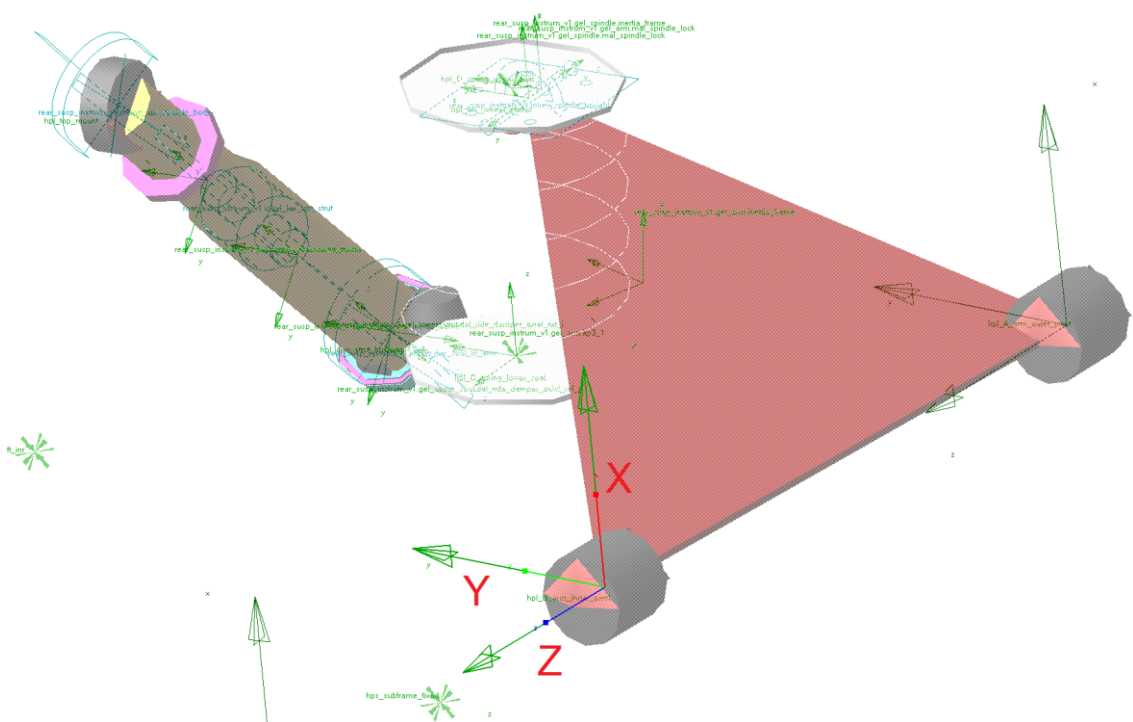
Při zadávání charakteristik do modelu je však důležité vzít v potaz to, že při měření charakteristik a při tvorbě modelu byl zvolen jiný souřadný systém, jak již bylo krátce zmíněno v kapitole 2.



Lokální souřadný systém prvku bushing pro vnější pružné lůžko je zvýrazněn na obrázku 88 a pro vnitřní pružné lůžko na obrázku 89. Již na první pohled a bez znalosti orientace pružného lůžka v rameni by například bylo zřejmé, že osa Z v modelu byla při měření označena jako osa X.



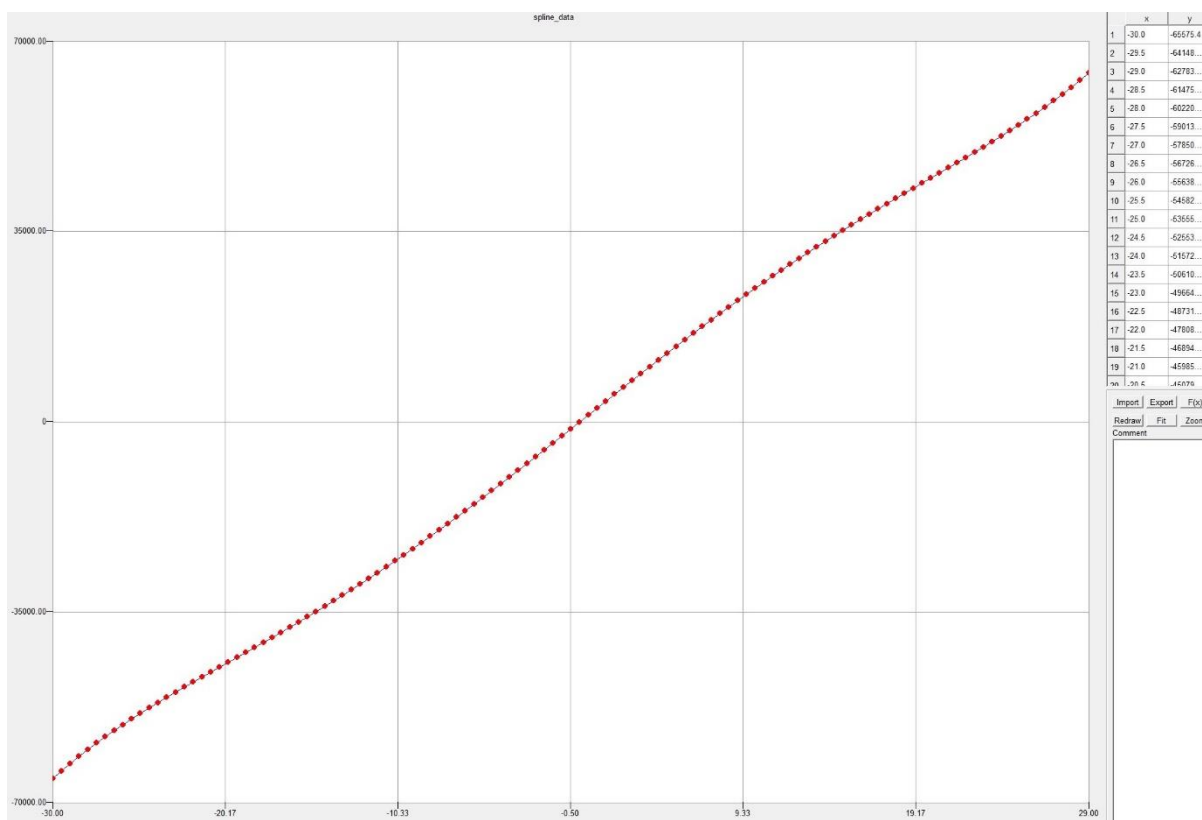
Obrázek 88 Lokální souřadný systém vnějšího pružného lůžka v modelu [20]



Obrázek 89 Lokální souřadný systém vnitřního pružného lůžka v modelu [20]

Podle porovnání souřadných systémů byly charakteristiky pro jednotlivé osy přiřazeny na správné místo tak, aby zadané vlastnosti prvku bushing odpovídaly směru i ve skutečnosti. Tento krok vytváří prostor pro lidskou chybu a ač se jedná o prostor nevelký, bylo by lépe se při měření charakteristik dalších pružných lůžek v budoucnu tohoto problému vyvarovat volbou stejného souřadného systému v modelu a při měření.

Po zadání množiny bodů Adams tyto body automaticky proloží křivkou, která je pak využívána jako charakteristiku prvku bushing při různých simulacích, které jsou s modelem prováděny. Body i křivka jsou vykresleny v grafu a je tedy možná okamžitá vizuální kontrola, že byly body správně zadány. Například charakteristika vnějšího pružného lůžka pro krut kolem osy X (v modelu kolem osy Z) je na obrázku 90. V pravé části obrázku 90 je možné vidět část tabulky se zadanými body. Na svislé ose je moment v N.mm a na vodorovné ose je potočení ve stupních. Toto zobrazení evidentně není příliš vhodné pro prezentování výsledků měření, což ani není jeho účelem. Výsledky měření byly již podrobněji rozebrány v kapitole 6 a nyní je potřeba ukázat způsob, jakým byly charakteristiky zadány do modelu v Adams.



Obrázek 90 Charakteristika vnějšího pružného lůžka pro krut kolem hlavní osy v Adams

Stejným způsobem bylo provedeno zadání zbylých charakteristik testovaných pružných lůžek do modelu. Model zadní nápravy automobilu VW Multivan je tedy nyní kompletně doplněný o naměřené charakteristiky pružných lůžek.

## ZÁVĚR

Měřicí zařízení, které bylo navrženo a sestrojeno, splnilo očekávání a umožnilo změření statických charakteristik pružných lůžek zavěšení kol zadní nápravy automobilu VW Multivan. Zároveň je s úpravami vhodné i pro jiná pružná lůžka. Byl popsán princip fungování zařízení i metodika měření. ÚADI má díky tomu možnost měřit charakteristiky pružných lůžek vlastním zařízením, ve vlastních prostorách a s použitím vlastních měřidel. To je dobré mimo jiné proto, že tak lze vytvářet přesnější modely pro multibody simulace. A díky tomu, že je diplomová práce veřejná, má tuto možnost i kdokoliv jiný, kdo by si chtěl toto měřicí zařízení sestrojít.

Při návrhu zařízení byl kladen důraz na využití měřidel, která již ÚADI vlastní a na použití běžně dostupných materiálů a polotovarů. S tím souvisí také velice příznivá cena zařízení, která bez zohlednění práce autora a ceny měřidel nepřesahuje 15 000 Kč. Pro občasné použití pro potřeby ÚADI a podobných institucí se tedy jedná o vhodné řešení.

Obsluha měřicího zařízení by mohla být usnadněna elektrickými aktuátory, které by nahradily ručně ovládané šrouby. Měření by tak bylo rychlejší a snazší. Při častém používání by taková úprava stála za zvážení i z hlediska návratnosti investice díky úspoře mzdových a provozních nákladů ústavu. Zároveň by bylo sníženo riziko lidské chyby během provádění měření.

Změřené statické charakteristiky pružných lůžek popisují závislost zatížení krutem/tahem (tedy momentu/síly) a deformace (tedy pootočení/posuvu) ve směru os X, Y a Z podle zvoleného souřadného systému. Srovnání změřených charakteristik s výsledky MKP simulace ukázalo, že simulace řádově odpovídala skutečnosti. Díky tomuto porovnání bude možné simulaci upravit a dále zpřesnit.

Nedostatkem provedeného měření je to, že není známa přesná poloha ploch, o které se opírá gumový límec pružného lůžka, jak bylo popsáno v kapitole 4.5. Pro odstranění problému je potřeba jejich vzájemnou polohu přesně určit a příslušné měření pak provést znovu s odpovídajícím nastavením. Zkušební zařízení je k tomu připraveno, ale chybí vstupní informace, kam přesně plochu posunout.

Jelikož bylo provedeno zadání všech charakteristik obou testovaných pružných lůžek do modelu v softwaru Adams, je nyní model zadní nápravy automobilu VW Multivan blíže skutečnosti. Díky tomu bude možné při další práci s tímto modelem a při provádění simulací dosahovat výsledků, které budou lépe reprezentovat reálné chování této zadní nápravy.

## POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] BARTON, David C. a John D. FIELDHOUSE, 2018. *Automotive Chassis Engineering*. Cham: Springer. ISBN 978-3-319-72437-9. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-319-72437-9
- [2] AWARI, G. K, V. S. KUMBHAR a R. B. TIRPUDE, 2021. *Automotive Systems: Principles and Practice*. Milton: CRC Press. ISBN 9780367498504. Dostupné z: doi:10.1201/9781003047636
- [3] REIMPELL, JörnSEN, Helmut STOLL a Jürgen W. BETZLER, 2001. *The Automotive Chassis: Engineering Principles*. 2nd ed. Oxford: Butterworth Heinemann, 444 s. ISBN 0 7506 5054 0.
- [4] VLK, František, 2006. *Podvozky motorových vozidel*. 3. aktualiz. vyd. Brno: František Vlk, 464 s. ISBN 80-239-6464-X.
- [5] RIVAS-TORRES, Jonathan, Juan C. TUDON-MARTINEZ, Jorge de-J. LOZOYA-SANTOS, Ricardo A. RAMIREZ-MENDOZA a Andrea SPAGGIARI, 2019. *Analytical Design and Optimization of an Automotive Rubber Bushing. Shock and vibration* [online]. London: Hindawi, 2019, 1-13 [cit. 2021-11-05]. ISSN 1070-9622. Dostupné z: doi:10.1155/2019/1873958
- [6] GILLESPIE, Thomas D, 1992. *Fundamentals of vehicle dynamics*. Warrendale: Society of Automotive Engineers, 495 s. ISBN 1-56091-199-9.
- [7] REIMPELL, JörnSEN, 1986. *Fahrwerktechnik: Federung, Fahrwerkmechanik*. 2. Auflage. Würzburg: Vogel, 296 s. ISBN 3-8023-0513-2.
- [8] REIMPELL, JörnSEN, 1978. *Fahrwerktechnik 1*. 4. völlig überarbeitete u. stark erweiterte Auflage. Würzburg: Vogel, 560 s. ISBN 3-8023-0505-1.
- [9] HEISSING, Bernd a Metin ERSOY, ed., 2016. *Chassis Handbook: Fundamentals, Driving Dynamics, Components, Mechatronics, Perspectives*. Wiesbaden: Vieweg+Teubner, XXIV, 591. ISBN 978-3-663-20519-7.
- [10] Silentblok 14x30/45(50) pouzdrový - 06.21 RUBENA, 2021. In: *Arkov* [online]. Slatiňany: Arkov [cit. 2022-03-28]. Dostupné z: [https://www.arkov.cz/p/silentblok-14x30-45\(50\)-pouzdrovy-06-21-silentblok-pouzdrovy-d-14mm-d-30mm-l-45mm-l-presah-50mm-rubena-149623](https://www.arkov.cz/p/silentblok-14x30-45(50)-pouzdrovy-06-21-silentblok-pouzdrovy-d-14mm-d-30mm-l-45mm-l-presah-50mm-rubena-149623)
- [11] CHRISTENSSON, Johannes a Johannes HALLDORF, 2017. *Library of Bushings and Ball Joints in CAD Environment*. Gothenburg. Bachelor thesis within mechanical engineering. Chalmers University of Technology, Department of Product and Production Development.
- [12] *MULTI-AX* [online], c2020. Opava: LabControl [cit. 2023-05-04]. Dostupné z: <http://www.labcontrol.cz/multi-ax/multi-ax.html>
- [13] *ETKA Parts information: Multivan T6.1*, 2022. Volkswagen.



- [14] *S9M Force Transducer Data sheet*. Darmstadt: Hottinger Baldwin Messtechnik. Dostupné také z: <https://www.sensor-hbm.com/upload/product-file/b3096.pdf>
- [15] *SP1 Compact String Pot*, 2013. 9. Toronto: InterTechnology. Dostupné také z: [http://www.celescotransducers.com/Celesco\\_Cable\\_Compact\\_String\\_Pot\\_Model\\_SP1.htm](http://www.celescotransducers.com/Celesco_Cable_Compact_String_Pot_Model_SP1.htm)
- [16] *HT-250 Sensor: Height Sensor for Non-Contact Distance Measurement*, 2005. Wetzlar: CORRSYS-DATRON Sensorsysteme.
- [17] Angle Plates, c1975–2022. Warco [online]. Chiddingfold: Warren Machine Tools [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: [https://www.warco.co.uk/vee-blocks-angle-plates/142-angle-plates.html#/134-size-178x115x140mm\\_lxwxh](https://www.warco.co.uk/vee-blocks-angle-plates/142-angle-plates.html#/134-size-178x115x140mm_lxwxh)
- [18] *Ložisková tělesa UCP: Patkové uchycení*. Brno: Matis. Dostupné také z: <https://www.matis.cz/cs/produkt/ucp-patkove-uchyceni>
- [19] TOBIÁŠ, Martin, 2021. *MKP simulace pružných lůžek zadní nápravy VW Multivan*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství.
- [20] FOJTÁŠEK, Jan. *Model zadní nápravy VW Multivan v softwaru Adams*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

CAD	Computer-aided design
MKP	Metoda konečných prvků
ÚADI	Ústav automobilního a dopravního inženýrství
VW	Volkswagen

**SEZNAM PŘÍLOH**

DPAD01	Výkres součásti	U adaptér 2 kN
DPAD02	Výkres součásti	U adaptér 20 kN
DPKH01	Výkres součásti	Čep s otvorem
DPKH02	Výkres součásti	Pouzdro svěrné
DPKH03	Výkres součásti	Hřídel A
DPKH04	Výkres součásti	Hřídel B se čtyřhranem
DPKH05	Výkres součásti	Kroužek polohovací
DPKH06	Výkres součásti	Vedení lanka
DPKH07	Výkres součásti	Kruhová výseč
DPKH08	Výkres součásti	Držák potenciometru spodní
DPKH09	Výkres součásti	Držák potenciometru horní
DPKH10	Výkres součásti	Držák HT
DPKH11	Výkres součásti	Páka A
DPKH12	Výkres součásti	Páka B
DPKH13	Výkres součásti	Příruba část A
DPKH14	Výkres svarku	Příruba
DPKH15	Výkres součásti	Váleček distanční
DPKH16A	Výkres součásti	Rám HT A
DPKH16B	Výkres součásti	Rám HT B
DPKH16C	Výkres součásti	Rám HT C
DPKH17	Výkres součásti	Rameno ukazatele
DPKH18	Výkres svarku	Hřídel s pákou A
DPKH19	Výkres svarku	Hřídel s pákou B
DPKH20	Výkres součásti	Plocha ukazatele
DPKH21	Výkres součásti	Podložka ložisek
DPKH22	Výkres svarku	Kruhová výseč s kroužkem
DPKH50	Výkres sestavy	Krut X
DPKP01	Výkres součásti	Kroužek rozpěrný
DPKP02	Výkres součásti	Páka příčná
DPKP03	Výkres součásti	Uchycení páky
DPKP04	Výkres součásti	Prodloužení ohýbané
DPKP50	Výkres sestavy	Krut Y a Z

---

DPTH01	Výkres součásti	Plocha měřicí
DPTH02	Výkres součásti	Deska opěrná A
DPTH03	Výkres součásti	Deska opěrná B
DPTH04	Výkres součásti	Plocha stlačovací
DPTH50	Výkres sestavy	Tah X
DPTP01	Výkres součásti	Deska spojovací
DPTP02	Výkres součásti	Matice M8 speciální
DPTP03	Výkres součásti	Plocha měřicí velká
DPTP50	Výkres sestavy	Tah Y a Z
DPM01	3D model sestavy	Krut X
DPM02	3D model sestavy	Krut Y a Z
DPM03	3D model sestavy	Tah X
DPM04	3D model sestavy	Tah Y a Z