



**FAKULTA  
STROJNÍ  
ČVUT V PRAZE**

Ústav automobilů, spalovacích motorů  
a kolejových vozidel

Návrh řadicí vidličky pro experimentální  
převodovku

Design of the shifting fork for experimental  
gearbox

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
2022

Tomáš BLÁŽA

Studijní program: B2341 STROJÍRENSTVÍ  
Studijní obor: 3901R051 Konstruování podporované počítačem  
Vedoucí práce: Ing. Marek Bous



Zadání



## Anotační záznam

Jméno autora: Tomáš Bláža

Název práce: Návrh řadicí vidličky pro experimentální převodovku

Anglický název: Design of the Shifting Fork for Experimental Gearbox

Rozsah práce:

60 stran

57 obrázků

Akademický rok: 2021/2022

Ústav: 12 120 Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel

Studijní program: Strojírenství

Vedoucí práce: Ing. Marek Bous

Klíčová slova: Synchronizační spojka, řadicí vidlička, řadicí objímka, akční člen, měření polohy, experimentální převodovka

Key words: Synchronizer, shifting fork, sliding sleeve, actuator, position measurement, experimental gearbox



## Abstrakt

Cílem této bakalářské práce je navrhnout konstrukční řešení řadicí vidličky na již navrženém experimentálním stanovišti. Vidlička zajišťuje posuv přesuvné objímky testované synchronizační spojky. K tomu je potřeba zvolit vhodný akční člen a také navrhnout způsob odměřování aktuální polohy navržené řadicí vidličky.

## Abstract

The goal of this bachelor's thesis is to propose a design solution for a shifting fork at an already designed experimental test stand. The shifting fork ensures displacement of the sliding sleeve of the synchronizer. Because of this, it is necessary to choose a suitable actuator and also to design a method of measuring the current position of the designed shifting fork.



## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: “Návrh řadicí vidličky pro experimentální převodovku” vypracoval samostatně pod vedením Ing. Marka Bouse, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu zdrojů umístěném na konci mé bakalářské práce.

V Praze dne: 13.7.2022

Tomáš Bláža



## Poděkování

Hned z kraje bych velmi rád poděkoval svému vedoucímu mé bakalářské práce, Ing. Marku Bousovi, bez jehož připomínek, pádných rad a také trpělivosti by tato práce vznikala velmi obtížně. Velké dík patří také celé mé rodině, rodině pana Babky a mým kamarádům za jejich podporu v průběhu mého studia.



## Obsah

Úvod.....	9
1 Motivace pro vývoj synchronizačních spojek .....	10
2 Převodovka MQ 200 .....	11
2.1 Řadicí mechanismus .....	12
2.1.1 Vnější řadicí mechanismus .....	12
2.1.2 Vnitřní řadicí mechanismus .....	12
2.2 Synchronizační systémy a řazení rychlostních stupňů .....	13
2.2.1 Systém řazení posuvnými koly .....	13
2.2.1 Systém řazení zubovou spojkou .....	14
2.2.1.1 Řazení zubovou spojkou bez synchronizace .....	15
2.2.1.2 Řazení zubovou spojkou se synchronizací – Borg-Warner .....	16
3 Stanoviště experimentálních měření .....	18
3.1 Setrvačnickový zkušební stav pro zkoušky řazení převodovek.....	18
3.2 Zkušební stanoviště pro testování kuželových synchronizačních spojek.....	19
4 Akční člen.....	20
4.1 Požadavky kladené na akční člen .....	20
4.1.1 Požadavek na sílu.....	20
4.1.2 Požadavek na zdvih.....	22
4.1.3 Požadavek prostorového umístění a omezení .....	23
4.2 Hydraulický pohon.....	23
4.3 Pneumatický pohon.....	24
4.4 Elektrický pohon .....	26
4.5 Výsledek rešerše .....	26
5 Odměřování polohy .....	27
5.1 Požadavky kladené na snímač polohy .....	28
5.2 Rozdělení podle typu výstupního signálu .....	28
5.3 Rozdělení podle principu odměřování .....	29
5.4 Rozdělení podle konstrukce snímače .....	33
5.5 Výsledek rešerše .....	33
6 Konstrukční návrh řadicí vidličky .....	35
6.1 Požadavky na řadicí vidličku .....	35



6.2 Původní provedení řadicí vidličky .....	35
6.3 Prvotní návrh .....	36
6.4 Varianty s řadicími kameny .....	37
6.5 Propojení s akčním členem.....	39
7 Snímač polohy.....	40
7.1 Držák snímače.....	40
7.2 Kryt kabelů snímače.....	42
8 Tuhostní analýza řadicí vidličky .....	43
8.1 Nastavení pro simulaci .....	43
8.2 Varianta řadicí vidličky se dvěma řadicími kameny.....	47
8.3 Druhá varianta řadicí vidličky .....	48
8.4 Další úpravy řadicí vidličky.....	48
8.5 Konečná verze řadicí vidličky .....	50
9 Současný stav.....	51
Závěr .....	53
Seznam použité literatury .....	55
Seznam obrázků.....	58





## Úvod

Tato bakalářská práce se zaměřuje na zkušební stanoviště s experimentální převodovkou, kdy je však potřeba navrhnout některé její komponenty tak, aby bylo možné toto stanoviště uvést do provozuschopného stavu. Jak je z názvu patrné, v této bakalářské práci navrhuji především konstrukční provedení řadicí vidličky a vhodný akční člen jejího ovládání pro experimentální převodovku a to s ohledem na několik faktorů, ze kterých jsem vycházel.

Původní stanoviště pro zkoušení automobilových převodovek (konkrétně převodovky osobních automobilů MQ200) je stále funkční, nedostatkem je však fakt, že výstupní hodnoty získané během měření byly značně zkreslené vzhledem k tomu, že zde byly testovány celé převodovky. Měření probíhá pouze vně převodové skříně a tak sledování parametrů synchronizační spojky je sice možné, avšak je značně nepřesné. Způsobené je to pružnými členy a vůlemi v mechanismu řazení.

Kolega Ing. Jan Hoblík pod vedením Ing. Jiřího Pakosty, Ph.D. navrhl experimentální převodovku, na které se budou testovat pouze synchronizační spojky, které budou vyjmuty z převodových skříní automobilů.

Na navržené experimentální převodovce se budou zkoušet především synchronizační spojky a bude důležité sledovat polohu řadicí objímky v průběhu synchronizace, tedy vyrovnávání otáček hřídelí. Mým úkolem bude tedy také zvolit vhodný snímač polohy řadicí vidličky a zároveň vyřešit jeho umístění v převodovce.

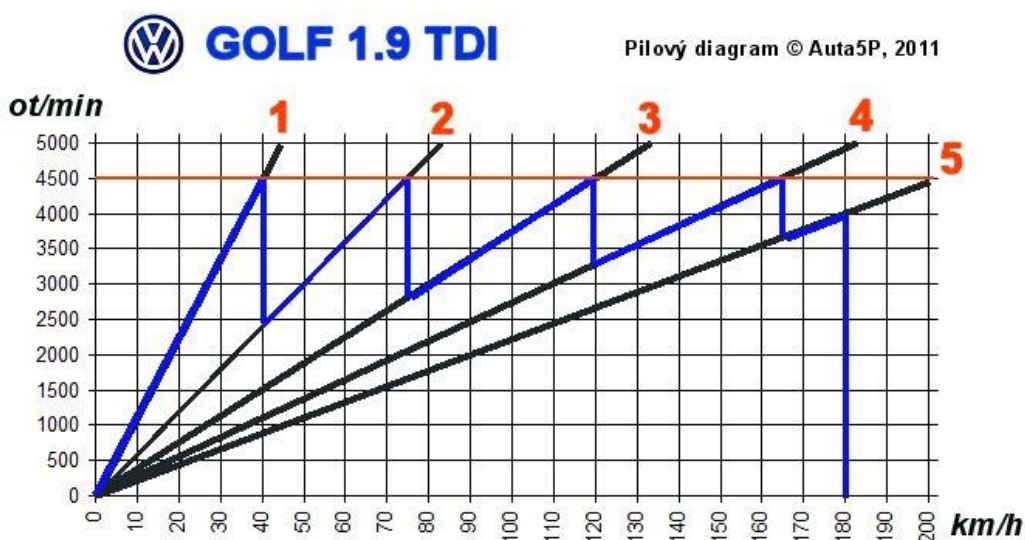
Na začátku popíšu podrobněji současné provedení zkušebního stanoviště a experimentální převodovky. Zároveň rozeberu základní systémy řazení převodových stupňů v automobilových převodovkách. Dále provedu rešerši akčních členů a vzhledem k okrajovým podmínkám, které mi byly dopředu dány, zvolím nejvhodnější. Dalším krokem bude rešerše snímačů polohy, které popíši a vyberu nejvhodnější s ohledem na okrajové podmínky. Poté se pustím do konstrukčního návrhu řadicí vidličky a jejího spojení s akčním členem. Na závěr provedu analýzu tuhosti metodou konečných prvků v programu Abaqus, díky níž ověřím, jestli je řadicí vidlička vyhovující.



## 1 Motivace pro vývoj synchronizačních spojek

Je obecně známo, že spalovací motor není schopný pracovat při jakýchkoliv otáčkách. Není tedy možné se s autem rozjet při nulových otáčkách a zároveň není možné dosáhnout vysoké maximální rychlosti, neboť pracovní spektrum otáček zážehových motorů bývá zhruba od 1 000 do 7 500 ot/min. [1]

Z tohoto důvodu se v automobilech nachází převodovky, které disponují několika rychlostními stupni. Díky těmto rychlostním stupňům je automobil schopen využít efektivněji již zmíněné spektrum otáček motoru, které splňuje jisté nároky. Jedná se například o nižší spotřebu paliva, dosažení co možná nejvyšší maximální rychlosti, požadavek na zrychlení, rozjezd na rovině nebo rozjezd na nakloněné rovině.



Obrázek 1 Pilový diagram automobilu VW GOLF IV s motorem 1.9 TDI 66 kW [2]

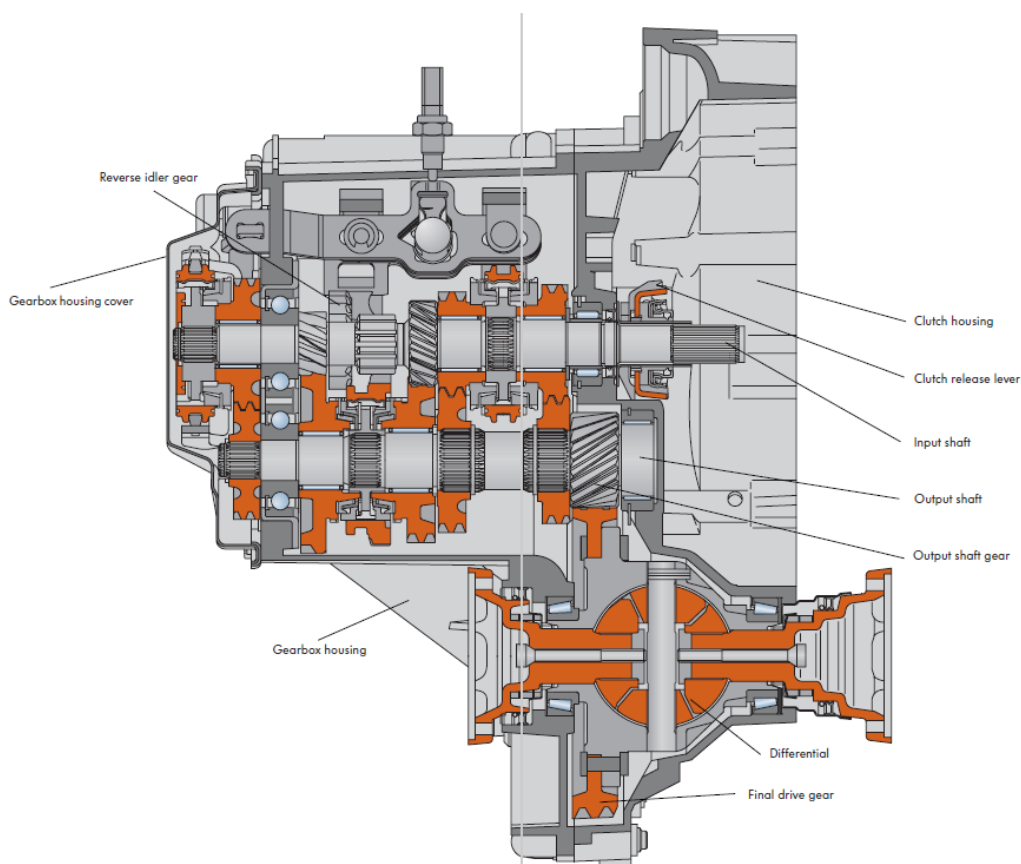
Přiložený pilový diagram prozrazuje efektivní využití spektra otáček vznětového motoru. Ten má zvolené menší maximální otáčky pro přeřazení než zážehový motor, konkrétně 4 500 ot/min. Dle diagramu je zřejmé, že první rychlostní stupeň je kratší – má větší převodový poměr než ostatní. Díky tomu je vůz schopný se rozjet, neboť veškeré odpory překoná vyšší kroutící moment způsobený právě větším převodovým poměrem. Na jedničku ale dosáhne maximální rychlosti 40 km/h při 4 500 ot/min. Pokud dojde následně k přeřazení na druhý rychlostní stupeň, dojde ke skokové změně otáček motoru, konkrétně z 4 500 ot/min na 2 500 ot/min. Poté je vozidlo schopné dosáhnout rychlosti téměř 75 km/h. Dále je vidět, že na pátý rychlostní stupeň je vůz schopný jet jak 50 km/h, tak i 180 km/h. To je způsobené tím, že každý zařazený rychlostní stupeň má rozdílný převodový poměr než jiný rychlostní stupeň. Dnes jsou stále nejvíce používané klasické stupňové převodovky, ve kterých dochází k řazení bez zatížení. Znamená to, že pomocí rozjezdové spojky, po sešlápnutí spojkového pedálu řidičem, dojde k rozpojení toku výkonu z klikové hřídele motoru na vstupní hřídel převodovky. Řazení bez přerušování toku výkonu uplatňují především automobily s automatickými převodovkami.



Při přeřazení na jiný převodový stupeň v převodovce využívající řazení s přerušeným tokem výkonu dojde ke změně převodového poměru, což sebou nese změnu otáček hřídelí. Tyto změny jsou vyrovnávány pomocí synchronizačních spojek, což je hlavní motivací pro jejich vývoj a zkoušení na novém stanovišti. [1] [3]

## 2 Převodovka MQ 200

Jedná se o dvouhřídelovou, manuálně řazenou převodovku, která je jednou z nejpoužívanějších převodovek v automobilech vyráběných koncernem Volkswagen. Vyrábí se jak v klasické variantě s 5-ti rychlostními stupni (obrázek 2), nechybí však varianta se 6-ti rychlostními stupni. Název převodovky napovídá, při jakém maximálním kroutícím momentu ji lze dlouhodobě používat – až 200 Nm. Je používána v automobilech s příčnou zástavbou zážehových motorů s hnanou přední nápravou. Již od roku 2000 jsou tyto převodovky na trhu nabízeny a je tedy jasné, že během této doby byla stále vyvíjena a inovována. Především byl vývoj zaměřen na řadicí mechanismus, kde došlo ke změně použitých materiálů a technologií výroby. [4] [5] [6]

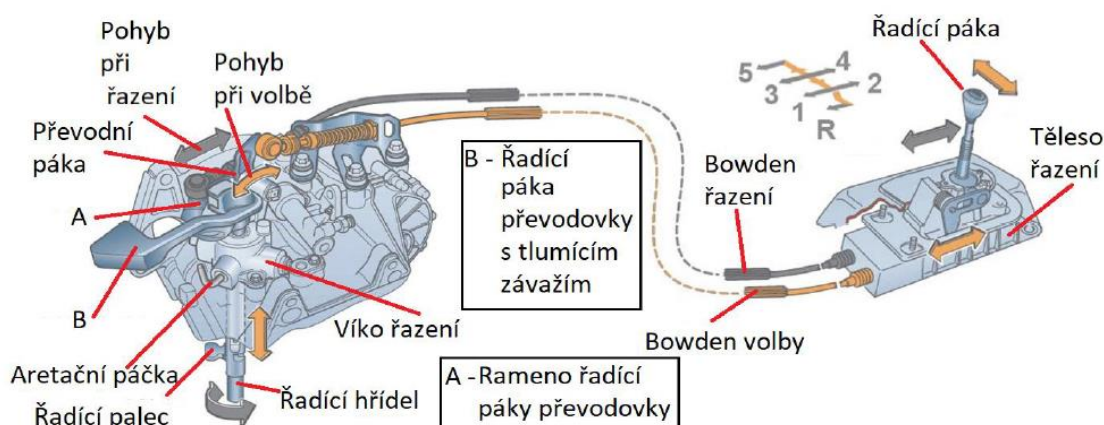


Obrázek 2 Řez převodovkou MQ 200 v pětirychlostním provedení [7]



## 2.1 Řadicí mechanismus

Rozhodnu-li se jakožto řidič zařadit libovolný rychlostní stupeň manuální převodovky, využiji k tomu právě řadicí mechanismus. Ten má za úkol převést řidičem vyvolaný pohyb a zároveň sílu řadicí páky v kabině vozu na pohyb posuvný uvnitř převodovky. Pohybem se rozumí posuv jednotlivých přesuvných objímek příslušných synchronizačních spojek a tedy zařazení patřičného rychlostního stupně. Celý tento mechanismus rozdělujeme na řadicí mechanismus vnější a vnitřní. [7] [8]



Obrázek 3 Vnější řadicí mechanismus převodovky MQ 200 v 5-ti rychlostmi [6]

### 2.1.1 Vnější řadicí mechanismus

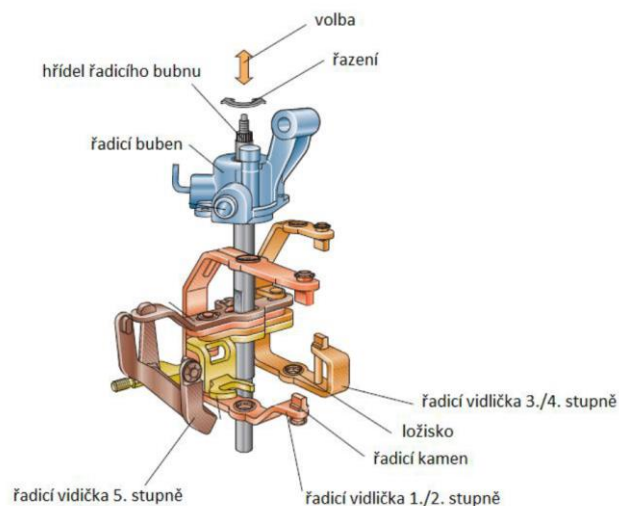
Řadicí mechanismus začínající řadicí pákou v kabině vozu a končící řadicí pákou na převodovce je vnějším mechanismem řazení. Konkrétně u převodovky MQ 200 jsou tyto páky propojeny pomocí dvou ocelových lan v bowdenech. První lano má za úkol provést tzv. volbu, která řadicí vidlička bude použita – řadicí páka uvnitř vozu se pohybuje do stran. Při pohybu řadicí páky uvnitř vozu dopředu nebo dozadu dochází k ovládnutí druhého lanovodu, což zajistí řazení jednotlivých rychlostních stupňů. Obě tato lana jsou připojená přes pryžová lůžka v plastových objímkách k přepákování na převodovce, resp. řadicím bubnu. Pomocí tohoto přepákování, složeného ze dvou převodních pák, se pohyb lanovodů převede na pohyb řadicí hřídele uvnitř převodové skříně. První páka je spojena s řadicí hřídelí pomocí drážkování a šroubového spoje, přičemž tato páka zajišťuje především řazení jednotlivých rychlostních stupňů. Druhá páka je spojena s první pákou pomocí kluzného členu, kdy tato páka zajišťuje pohyb řadicí hřídele v jejím axiálním směru – zajišťuje volbu. [7] [8]

### 2.1.2 Vnitřní řadicí mechanismus

Tento řadicí mechanismus je z velké části ukryt uvnitř převodovky. Jediné co z tohoto mechanismu je vidět vně převodové skříně je konec řadicí hřídele. Na tomto konci hřídele je drážkování, díky kterému se propojuje vnější a vnitřní mechanismus řazení. Řadicí hřídel pokračuje dovnitř do převodovky a zakončena je řadicím palcem. Když se volí konkrétní řadicí vidlička – řadicí hřídel se pohybuje nahoru a dolů, řadí-li se jednotlivý rychlostní stupeň – řadicí hřídel se pohybuje rotačně. Cílové pozice této řadicí hřídele zajišťují dvě



aretační kuličky. Ty jsou pomocí pružin přitlačeny k řadicí hřídeli právě tak, aby došlo k jejich zapadnutí do příslušných otvorů v hřídeli. Řadicí palec je pevně připojen k řadicí hřídeli a představuje krátkou páku, pomocí které dojde k přenosu síly na příslušnou řadicí vidličku, ty jsou ve skříni převodovky uloženy rotačně. Na koncích těchto řadicích vidliček jsou řadicí kameny, jež zabírají za drážku v příslušné přesuvné objímce. Ta svým posuvným pohybem způsobí zařazení. Na obrázku 4 je vidět starší provedení tohoto mechanismu. [7] [8]



Obrázek 4 Vnitřní řadicí mechanismus převodovky MQ 200 s 5-ti rychlostmi [6]

## 2.2 Synchronizační systémy a řazení rychlostních stupňů

Pomocí synchronizačního systému dochází k vyrovnání otáček ozubeného kola hnací hřídele s otáčkami ozubeného kola hnané hřídele a to těsně předtím než se spojí. K tomu tu slouží tření mezi kuželovými plochami na ozubeném kole se synchronizační spojkou. Vyrovnání otáček tímto způsobem umožní rychlé, bezhlučné zařazení rychlostních stupňů, přičemž je docíleno šetrného zacházení s ozubením na jednotlivých kolech.

Funkcí synchronizační spojky je buď zařadit požadovaný rychlostní stupeň a zároveň do neutrální polohy uvést ostatní rychlostní stupně, nebo při nastartovaném stojícím vozidle nastavit všechny tyto rychlostní stupně do příslušných neutrálních poloh. [1] [5] [7]

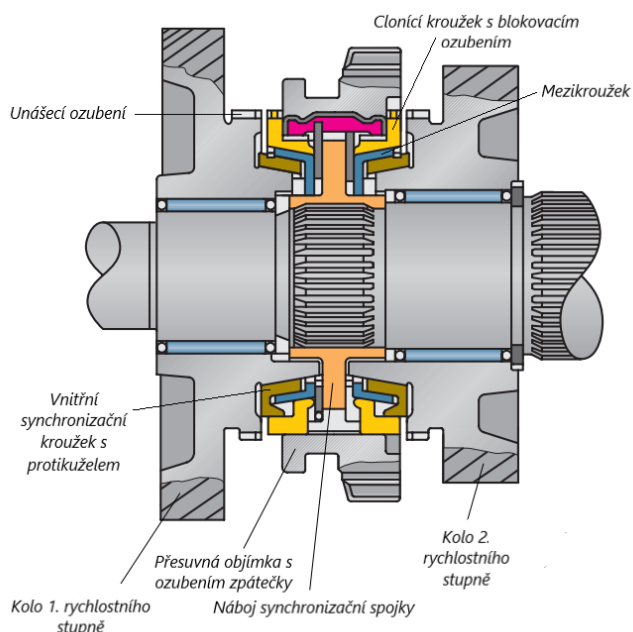
V této kapitole budou popsány systémy řazení užívané v převodovce MQ 200.

### 2.2.1 Systém řazení posuvnými koly

Vzhledem k tomu, že se zpáteční rychlostní stupeň, neboli zpátečka, řadí při zastaveném vozidle, je tu synchronizace zbytečná. Ozubená kola nejsou ve stálém záběru a jejich ozubení má přímé zuby, což má za následek hlučnější provoz. Využívá se systému řazení posuvným kolem, což je konstrukčně nejjednodušší systém řazení ze všech. Tento typ řazení byl využíván v minulosti pro řazení všech rychlostních stupňů, avšak díky absenci synchronizace bylo nutné používat buď meziplýn nebo dvakrát vyšlápnout spojku.



První ozubené kolo je součástí jedné hřídele, kdežto kolo druhé je axiálně posuvné po hřídeli druhé. Tento axiální posuv je realizován pomocí řadicí vidličky a nutnou podmínkou pro zasunutí kola do záběru jsou výrazné náběhové plošky na čelech zubů, neboť když se zuby obou ozubených kol setkají, nemusí být vždy ve vzájemné ideální poloze. Tím se myslí, že zub jednoho kola není proti zubové mezeře druhého ozubeného kola. [1] [7] [9]



Obrázek 5 Borg-Warner synchronizační spojka 1. a 2. rychlosti [7]

V případě převodovky MQ 200 je první ozubené kolo součástí vstupní hřídele, druhé ozubené kolo představuje vnější ozubení na přesuvné objímce synchronizační spojky, jež přísluší 1. a 2. rychlostnímu stupni a je nasazená na výstupní hřídeli přes drážkování (obrázek 5). Mezi tato dvě ozubení se při zařazení zpátečky zasune třetí, volně otočné ozubené kolo, které je umístěné samostatně na třetí hřídeli. Dojde tak ke změně smyslu otáčení na výstupní hřídeli. Toto třetí ozubené kolo tedy představuje výše popisované posuvné kolo. Aby se zabránilo vypadnutí tohoto kola ze záběru, ozubená kola mají přímé zuby se spojitou korekcí. Korekce vytváří mírně kuželové ozubení a díky tomu je ozubení při zátěži „vtahováno“ do záběru. [1] [7]

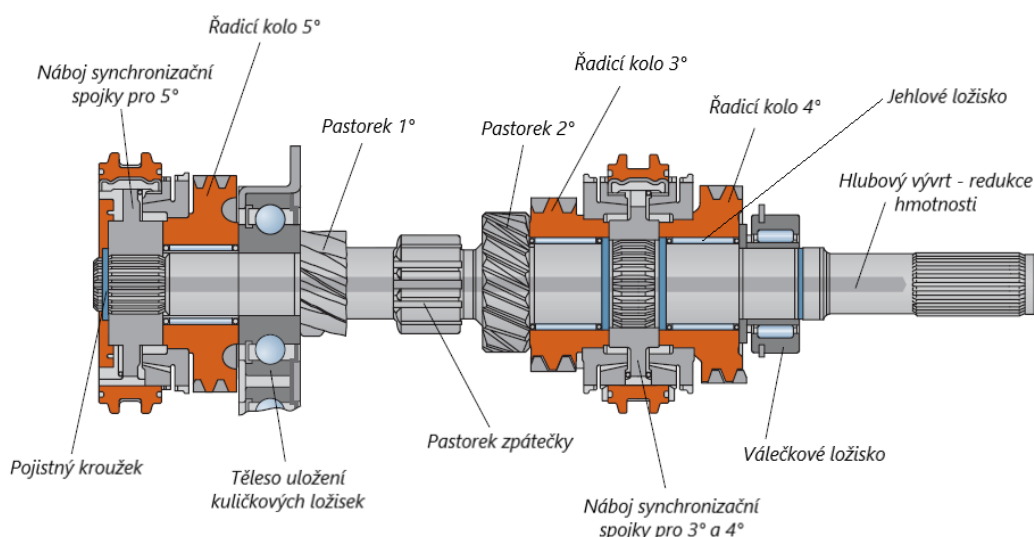
### 2.2.1 Systém řazení zubovou spojkou

Nejprve popíšu uspořádání ozubených kol uvnitř převodovky MQ 200. Z přiloženého obrázku 6 je evidentní, že na vstupní hřídeli se nachází pevná kola, neboli pastorky prvního, druhého a zpětného rychlostního stupně. Ozubená kola třetí, čtvrté a páté rychlosti jsou na hřídeli uložena na jehlových ložiskách, jsou tedy volně otočná.

Výstupní hřídel poté disponuje pevnými ozubenými koly třetího, čtvrtého a pátého rychlostního stupně, volně otočnými koly jsou zde ozubená kola pro první a druhý rychlostní stupeň.



Jak je to se zpátečkou, je vysvětleno v kapitole 2.2.1. Důležité je zmínit, že ozubená kola vstupní hřídele jsou ve stálém záběru s ozubenými koly na hřídeli výstupní, a že k synchronizaci dochází na volně otočném kole jedné z hřídelí – řadicí kolo. Naopak druhé ozubené kolo je pevně spojené s druhou hřídelí a spolu vytváří jednotlivá soukolí. Těmito spojkami se docílí snadnějšího řazení bez rázů. Konkrétní synchronizační systém používaný v převodovce MQ 200 se jmenuje Borg-Warner, ke kterému se postupně dostanu. [1] [5]



Obrázek 6 Vstupní hřídel převodovky MQ 200 [7]

### 2.2.1.1 Řazení zubovou spojkou bez synchronizace

Zubová spojka s radiálním ozubením se posouvá axiálně po drážkování směrem k řadicímu kolu pomocí řadicí vidličky. Tato řadicí vidlička posune přesuvnou objímku s vnitřním ozubením do záběru s vnějším ozubením řadicího kola. Vzniká tak propojení záběru vnějšího ozubení zubové spojky s vnitřním ozubením přesuvné objímky a zároveň s vnějším ozubením řadicího kola, tím se uskuteční přenos kroutícího momentu mezi hřídelemi. [1] [8]

Takovéto řazení je z hlediska konstrukce velmi prosté a skromné svou velikostí prostorové zástavby v porovnání např. s posuvnými koly. Díky tomu se tento typ řazení vyskytoval hojně v automobilech, avšak vyžadoval, stejně jako v případě řazení posuvnými koly, používání meziplynu či dvojité sešlápnutí spojky. Dnes se tento typ řazení vyskytuje spíše ve sportovních vozech, kde nižší životnost zubových spojek a nároky na řidičovy schopnosti jsou pokořeny právě výhodami tohoto řazení. Jedná se především o jeho malou velikost, nízkou hmotnost a menší momenty setrvačnosti.

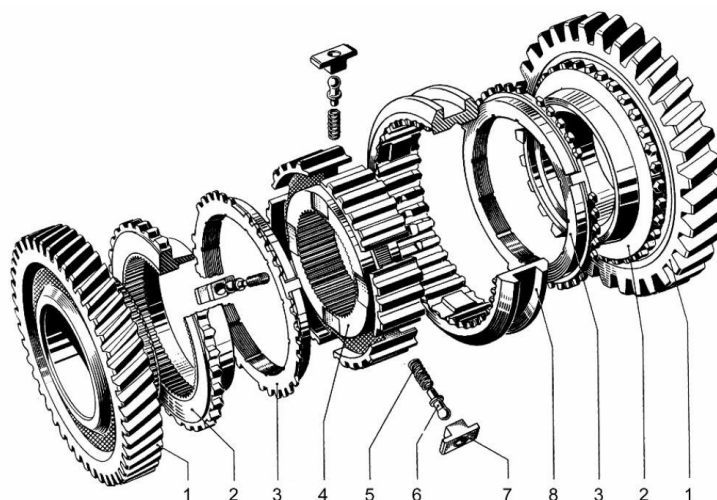


### 2.2.1.2 Řazení zubovou spojkou se synchronizací – Borg-Warner

Díky svému jednoduchému ovládní převodovky je dnes toto řazení nejčastěji používaným typem synchronizační spojky.

Nejprve se musí vyrovnat otáčky řadicího kola s hřídelí, na které je nasazeno. Toho je docíleno díky třecí kuželové spojce, jež se skládá ze synchronizačního kroužku a kuželové plochy na volně otočném ozubeném kole. Ideálně proces synchronizace probíhá asi takto: při řazení dojde k posuvu přesuvné objímky, která začne tlačit synchronizační kroužek směrem k volně otočnému kole, vzniká zde tření a dochází k vyrovnání otáček. Následně na řadu přichází právě zubová spojka, díky které dojde ke spojení řadicího kola s příslušnou hřídelí. Ideální spojení spočívá v tom, že ihned po synchronizaci otáček kola s hřídelí se přesuvná objímka dostává k ozubení zubové spojky na otočném kole a zapadne do něj. Vzniká tak spojení volně otočného kola s jeho hřídelí, pomocí kterého se zajistí přenos kroutícího momentu mezi těmito komponentami.

Vzhledem k nezastavitelnému pokroku a vývoji technologií máme dnes několik druhů synchronizačních systémů využívajících zubové spojky se synchronizací. Borg-Warner je v dnešní době tím nejrozšířenějším synchronizačním systémem s jistěnou synchronizací při řazení s přerušeným tokem výkonu a jak bylo zmíněno, nachází se i v převodovce MQ 200. Systém synchronizace Borg-Warner je zobrazen na obrázku 7. [1] [8]



Obrázek 7 Rozpad synchronizačního systému Borg-Warner [1]

**1** – volně otočné kolo uložené na jehlovém ložisku, **2** – spojkové těleso s řadicím ozubením a třecím kuželem, **3** – clonící (synchronizační) kroužek s protikuželem a blokovacím ozubením, **4** – synchronizační těleso s vnějším řadicím ozubením spojený přes drážkování s hřídelí, **5** – pružina, **6** – čep, **7** – tlačné tělíčko, **8** – řadicí objímka s vnitřním řadicím ozubením a prstencovou drážkou [1]

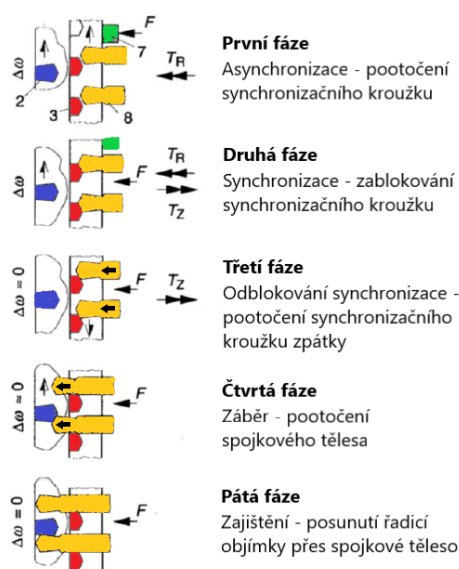




K vyrovnání otáček pomocí tohoto synchronizačního systému jsou používány třecí kuželové plochy. První z těchto kuželových ploch je na spojkovém tělese (2), jež tvoří s řadicím kolem (1) pevný celek. Další kuželová plocha se nachází na clonícím kroužku (3) – dále označovaný jako synchronizační kroužek. Ten disponuje ještě blokovacím ozubením, díky němuž se zabrání předčasnému přesunu řadicí objímky směrem ke spojkovému tělesu (2), tedy před vyrovnáním otáček – jištěná synchronizace.

Proces řazení synchronizačního systému Borg-Warner se rozděluje do 5 fází, znázorněné jsou na přiloženém obrázku 8. V první fázi řazení nejprve řadicí objímka (8) tlačí na tlačné tělísko (7), které začne tlačit na synchronizační kroužek (3), do kontaktu se dostává jeho kuželová plocha s kuželovou plochou na spojkovém tělese (2) a následuje pootočení synchronizačního kroužku (3) do tzv. blokovací polohy. Z této polohy se dále nedokáže otočit, neboť je v synchronizačním tělese (8) tvarově zajištěn. Ve druhé fázi se síla už nepřenáší přes tlačné tělísko (7), ale kontaktem řadicího ozubení synchronizačního kroužku (3) s řadicím ozubením řadicí objímky (8). Tato síla vytváří moment působící na spojkové těleso (2), tedy na řadicí kolo (1) a díky tomuto momentu dochází k jeho brždění. Na začátku třetí fáze se téměř vyrovnají otáčky hřídele a řadicího kola a dochází k odblokování synchronizačního kroužku (3), kdy pomocí sklonu čel zubů (na tomto kroužku a na řadicí objímce (8)) dojde k jejich posunutí. Tím tak vzniká cesta pro zuby řadicí objímky (8). Ve čtvrté fázi opět pomocí sklonu čel zubů (nyní na spojkovém tělese (2) a na řadicí objímce (8)) se po sobě posunou právě tyto zuby. V poslední, páté fázi, dochází úplnému zasunutí vnitřního řadicího ozubení řadicí objímky (8) mezi vnější řadicí ozubení spojkového tělesa (2) – fáze úplného vyrovnání otáček hřídele s řadicím kolem a tedy úspěšné zařazení.

[1] [9] [10]



Obrázek 8 Fáze procesu řazení Borg-Warner [9]

U převodovky MQ 200 dochází ke dvojité synchronizaci na prvním a druhém rychlostním stupni. Synchronizace tak probíhá na třech třecích kuželových plochách, tím pádem se může vyvinout větší normálová síla aniž by došlo k překročení dovoleného tlaku.



Větší normálová síla s sebou nese i větší synchronizační moment, čehož se využije především při rozjezdech do kopce. U třetího, čtvrtého a pátého rychlostního stupně dochází už pouze k jednoduché synchronizaci. [1] [11]

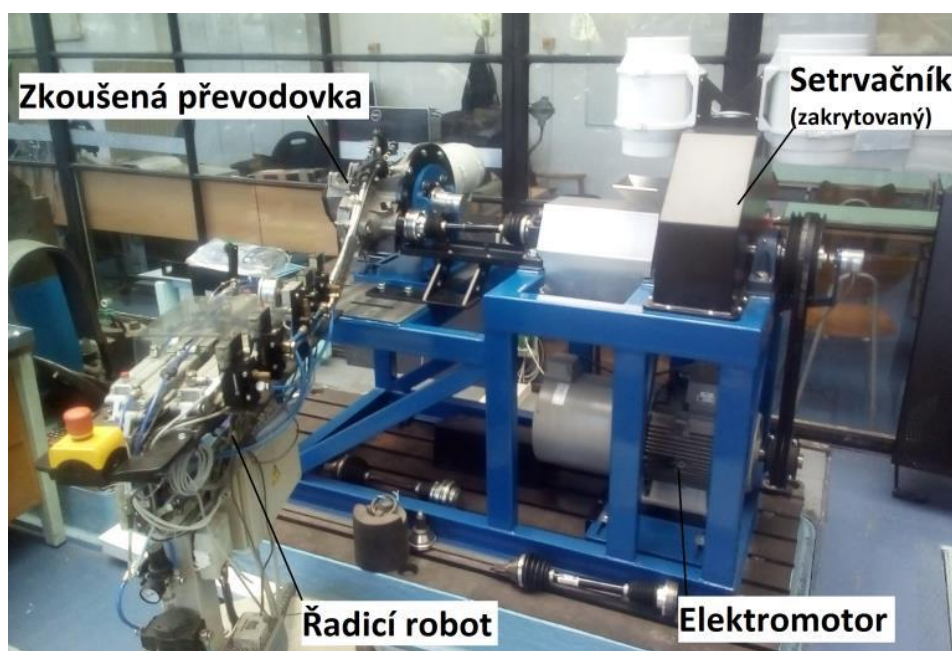
Vzhledem k tak komplikovanému procesu je na zkušebním stanovišti nutností měřit okamžitou polohu v průběhu celého řazení a tak mít data pro vývoj jednotlivých komponent řadicího mechanismu.

### 3 Stanoviště experimentálních měření

#### 3.1 Setrvačnickový zkušební stav pro zkoušky řazení převodovek

Původní zkušební stanoviště pro zkoušení převodových skříní se nachází v laboratořích ČVUT na Julisce, na kterém se zkouší především převodovka osobního automobilu MQ 200 od Škoda Auto a.s.

Funguje to tak, že na zkoušenou převodovku je připojen setrvačnick, který je poháněn elektromotorem. Tato převodovka je namontována na stanovišti v celku a její diferenciál je zablokován. Takto lze provést velké množství měřících cyklů a to v krátkém časovém intervalu, tím se skvěle ověří životnosti jednotlivých součástí celého řadicího mechanismu. Obrovskou nevýhodou je ale fakt, že nelze přesněji vyhodnotit parametry jednotlivých komponent systému řazení, v našem případě především synchronizační spojky. To je způsobené umístěním měřících snímačů mimo převodovou skříň. Na takovémto jednoúčelovém zkušebním stanovišti se provádí testy na systémové úrovni, což znamená řazení celé převodovky, jež je na stanoviště namontována. [12]



Obrázek 9 Původní zkušební stanoviště [13]



### 3.2 Zkušební stanoviště pro testování kuželových synchronizačních spojek

Výše zmíněný problém byl podnětem pro návrh nového experimentálního stanoviště, kterého se chopil Ing. Jan Hoblík v rámci své diplomové práce. Cílem bylo navrhnout stanoviště, kde bude možné podrobněji pozorovat chování řadicího mechanismu, především pak synchronizační spojky. Na tomto stanovišti je zkoumaná synchronizační spojka vyjmuta z původní převodovky a zakomponována samostatně do navržené experimentální převodovky. Zde může být namontována buď na jednu či druhou hřídel, přičemž obě hřídele jsou uloženy letmo, což značně usnadňuje montáž a demontáž synchronizační spojky. Jedná se tedy o jednoúčelový zkušební stav pro testování jednotlivých komponent, speciálně tedy synchronizačních spojek. Opakovaně zde mohou probíhat testy nově vyvinutých prototypů synchronizačních spojek, dále je vyvíjet a zkoušet jejich únosnost.

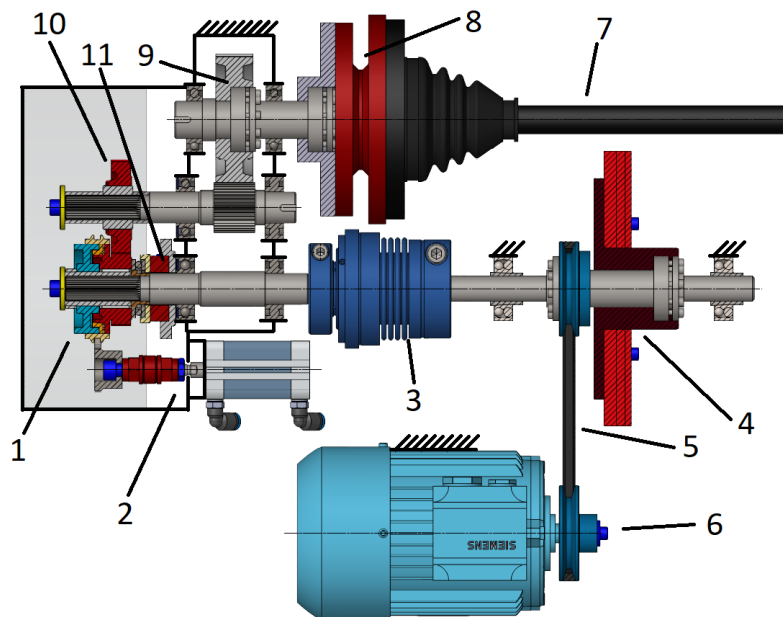
Navrženo bylo tříhřídelové uspořádání ve vodorovně dělené kompaktní převodové skříni z ocelových plátů, ve které se nachází ozubené soukolí realizující stálý převod. Ze skříně vylézají dvě totožné, letmo uložené hřídele (konec hřídele není uložen v ložisku). To zde umožňuje montáž soukolí se synchronizační spojkou na jednu či druhou hřídel, snímač axiální síly může být umístěn jak na jedné či druhé straně. Kolem tohoto prostoru je krytování z průhledného plastu, což umožňuje pozorování zkoumané synchronizační spojky. Pro snížení ohybového momentu na řadicí vidličce a obojaké použití synchronizační spojky je nad každou letmo uloženou hřídelí montážní otvor. Do tohoto otvoru se namontuje akční člen pro řadicí vidličku, který bude ovládaný programem softwaru NI LabView. Mazání je realizováno rozstříkem oleje, který následně stéká do externí nádrže. Z ní je čerpán zpátky do trysky.

Vstupní hřídel je vně převodové skříně připojená pružnou spojkou k další hřídeli uložené v ložiskových jednotkách, na které je malý setrvačnick. Poháněná je elektromotorem přes řemenový převod. Setrvačnick simuluje moment setrvačnosti od motoru, kdy automobil jede s vyšlápnutou spojkou před zařazením. Tato vstupní hřídel tak představuje vstupní hřídel v reálné převodovce.

Předloková hřídel je osazena pastorkem stálého převodu a nevystupuje svým druhým koncem vně převodovky jako je tomu u vstupní hřídele. Na tuto hřídel je možná montáž soukolí se synchronizační spojkou.

Výstupní hřídel je osazena ozubeným kolem stálého převodu a převádí nám kroutící moment ven z převodovky. Připojen je na ní přírubový snímač kroutícího momentu a pomocí kloubového hřídele je tato výstupní hřídel připojena k velkému setrvačnicku – zastupuje setrvačnost jedoucího vozidla. Je natolik velký, aby si udržel konstantní otáčky, jako když si v reálném provozu automobil udrží téměř konstantní rychlost během průběhu řazení. Tento velký setrvačnick se nachází na setrvačnickém stanovišti pro zkoušení celých převodových skříní. [3]

Schéma finálního návrhu stanoviště s experimentální převodovkou ukazuje obrázek 10.



Obrázek 10 Schéma finálního návrhu zkušebního stavu Ing. Jana Hoblíka [3]

1 – synchronizační spojka, 2 – řadící vidlička s pneumatickým válcem, 3 – pojistná vlnovcová spojka, 4 – malý setrvačnick, 5 – řemenový převod, 6 – motor malého setrvačnicku, 7 – kloubový hřídel velkého setrvačnicku, 8 – tenzometrická příruba pro měření točivého momentu, 9 – ozubené soukolí stálého převodu, 10 – zkoušené ozubené soukolí, 11 – snímač pro měření axiální síly [3]

## 4 Akční člen

Jak funguje synchronizační spojka je popsáno v předchozích kapitolách. Vychází z toho fakt, že pro samotné řazení je nezbytné uskutečnit posuv řadící objímky. Musí se proto zvolit vhodný akční člen, který bude zdrojem axiální síly a zároveň ho bude možné zakomponovat do experimentální převodovky – tedy bude splňovat určité požadavky.

### 4.1 Požadavky kladené na akční člen

#### 4.1.1 Požadavek na sílu

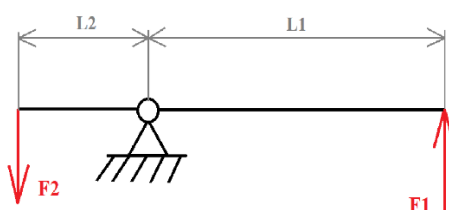
Ze starého uspořádání zkušebního stanoviště je naměřena síla vyvolaná řadicím robotem pro spolehlivé zařazení i vyřazení, kdy tuto hodnotu je nutné přepočítat. Důvodem je cesta, kterou absolvuje silový účinek od řadící páky v kabině automobilu až k samotné řadící objímce – prochází přes 2 přepákování, kde se mění hodnota původní síly. Veškeré délkové rozměry jsem si změřil na řadicím mechanismu převodovky MQ 200 v laboratoři na Julisce. Maximální hodnota řadící síly používaná řadicím robotem:  $F_1 = 200 \text{ N}$ .



Lanovod je připojen k převodní páce na víku řazení přes plastové objímky s pryžovým uložením. Vzdálenost místa tohoto spojení od osy řadicí hřídele:  $L_1 = 70$  mm. Síla dále prochází řadicí hřídelí a v místě řadicího palce dochází ke zmíněnému přepákování. Vzdálenost osy hřídele od konce řadicího palce:  $L_2 = 23,8$  mm. Vše je znázorněné na obrázku 11, přičemž obrázek 12 znázorňuje zjednodušené schéma.



Obrázek 11 Vyznačené vzdálenosti ramen prvního přepákování [zdroj: autor]

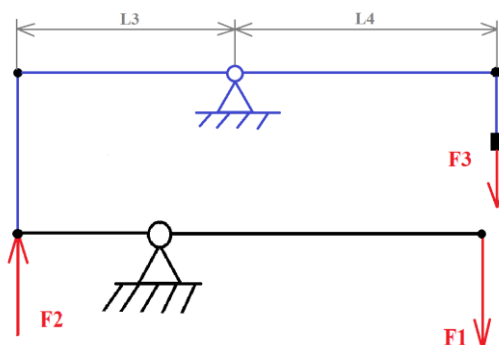


Obrázek 12 Zjednodušené kinematické schéma prvního přepákování [zdroj: autor]

Z obrázku 12 vyplývá následující vztah:

$$F_1 * L_1 = F_2 * L_2 \quad F_2 = \frac{F_1 * L_1}{L_2} = \frac{200 * 70}{23,8} = 588,235 \text{ N} \quad (1)$$

Nyní mám sílu ( $F_2$ ), kterou řadicí palec působí na řadicí desku propojený s řadicí vidličkou. Na ní se nachází další přepákování. Vzdálenost řadicího palce k místu připojení řadicí vidličky:  $L_3 = 29,8$  mm. Vzdálenost tohoto místa až k řadicímu kamenu:  $L_4 = 33,8$  mm.



Obrázek 13 Zjednodušené kinematické schéma celkového převákování [zdroj: autor]

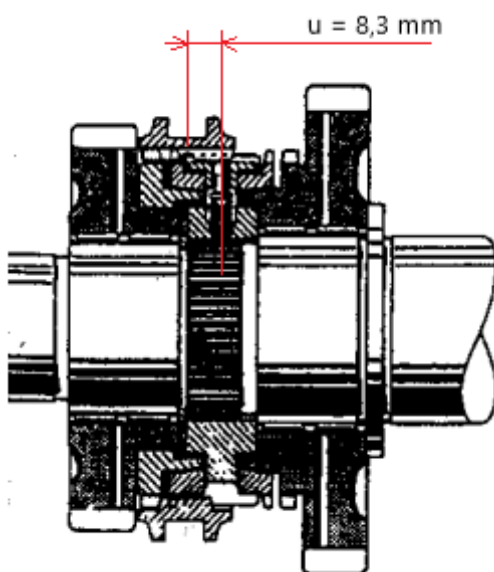
Z obrázku 13 vyplývá následující vztah:

$$F2 * L3 = F3 * L4 \quad F3 = \frac{F2 * L3}{L4} = \frac{588,235 * 29,9}{33,8} = 518,622 \text{ N} \quad (2)$$

Síla  $F3$  je síla, kterou působí řadicí kámen na řadicí objímku při řazení. Akční člen musí být schopen tuto sílu vygenerovat. Použité délkové rozměry  $L3$ ,  $L4$  platí pro 3. a 4. rychlostní stupeň. Akční člen je tedy nutné dimenzovat pro tuto sílu  $F3$ .

#### 4.1.2 Požadavek na zdvih

Zvolený akční člen musí mít dostatečně velký chod umožňující úplné zařazení a naopak vyřazení. V neutrální poloze je osa řadicí objímky ve své nulové poloze, ze které se vychýlí při zařazení o 8,3 mm – znázorněné na obrázku 14. Tento délkový rozměr jsem si změřil v laboratoři na Julisce. K tomu rozměru je nutné připočítat tloušťku stěny víka převodové skříně – 11 mm. Na obrázku je synchronizační spojka pro 2 rychlostní stupně. V experimentální převodovce se bude jednat o synchronizační spojku pouze pro jeden rychlostní stupeň, ovšem pro znázornění posuvu je takovýto obrázek postačující.

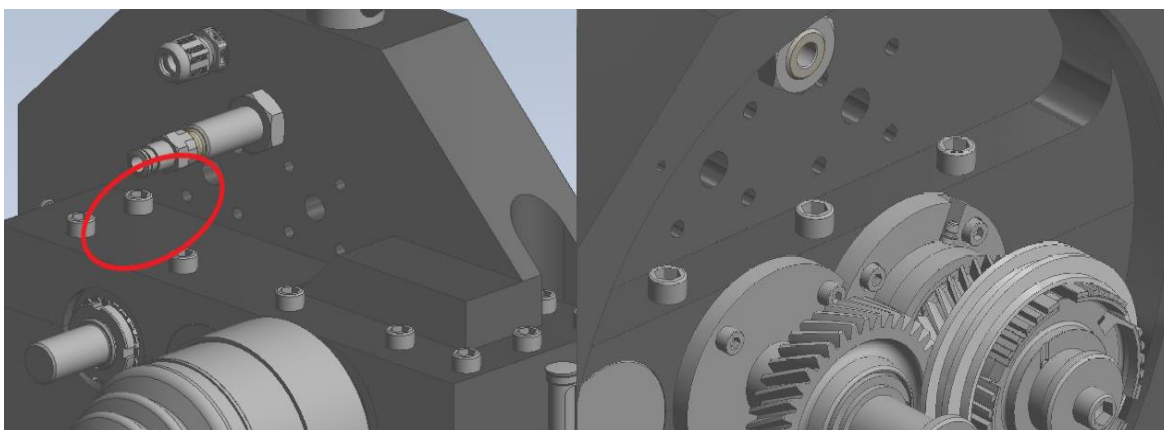


Obrázek 14 Posuv řadicí objímky ze své polohy neutrálu [1]



#### 4.1.3 Požadavek prostorového umístění a omezení

Při volbě akčního členu je také nutné brát v potaz již vyrobenou převodovou skříň, která má své rozměry a využít připravených montážních otvorů. Na obrázku jsou tyto otvory zobrazené – vlevo pohled na situaci zvenku, vpravo pak pohled na situaci uvnitř převodovky. Z pohledu vlevo je patrné, že se zde nachází prostor umožňující umístění akčního členu díky rozšiřujícímu se víku převodovky, avšak zvolený akční člen nesmí přecházet více jak 17 mm, jinak hrozí kolize se setrvačником. Na obrázku 15 je vidět, že se akční člen může umístit na obou stranách – možnost umístění řadicí vidličky na obou hřídelích viz. kapitola 3.2.



Obrázek 15 Připravené montážní otvory pro akční člen (pohled z venku a zevnitř) [zdroj: autor]

#### 4.2 Hydraulický pohon

Tento tekutinový mechanismus je jedním z nejpoužívanějších pohonů, především kvůli své pestré využitelnosti i v těžkých podmínkách, malé poruchovosti a v případě potřeby schopnost dosáhnout velkých zdvihů. Své využití nalézá při ovládnání a řízení strojů, dále jako upínací prostředky či manipulační pohony. V případě hydraulického pohonu můžeme stupňovitě či spojitě řídit parametry přenášené energie (průtok a tlak, který ovlivňuje rychlost). Hydraulický olej je zde pracovním médiem, který zajišťuje odvod tepla ze soustavy. Hydraulický pohon zprostředkovává plynulý chod s možností malých pohybových rychlostí při vysoké tuhosti a účinnosti. Bohužel má i své nevýhody, mezi které patří: nutnost mít samostatný zdroj tlakové kapaliny, není možné dosáhnout vysokých pohybových rychlostí, viskozita hydraulického oleje je ovlivněna teplotou, nezbytně důležitá podmínka zajistit zpětné vedení kapaliny, tlakovou kapalinu od svého zdroje až po samotný spotřebič doprovází tlakové a objemové ztráty. Problematika hořlavosti a ekologie u těchto pohonů nesmí být opomenuta, stejně tak jako citlivost tlakové kapaliny na nečistoty či její samotná stlačitelnost. Při přetížení často nastávají závažné havárie a poruchy.

Na začátku obvodu je vstupní převodník – hydrogenerátor, který převádí mechanickou energii např. elektromotoru na tlakovou energii pracovního média. Výstupem je hydraulický olej pod tlakem – tlaková kapalina, která jde dál do obvodu. Obvod se skládá z různého uskupení prvků – výkonové prvky (hydrogenerátory, hydromotory), řídicí prvky

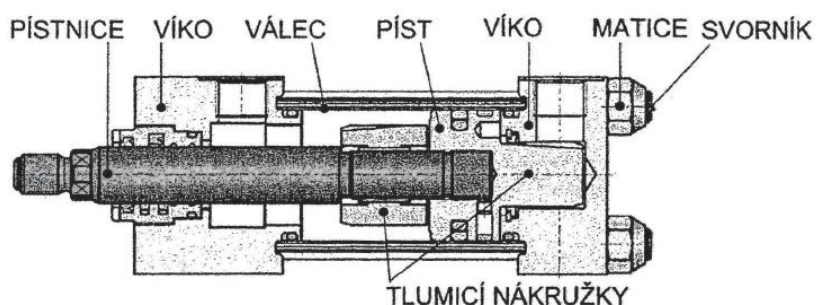


(tlakové ventily, redukční ventily, připojovací/odpojovací ventily, trysky, clony, škrťací ventily, rozvaděče, jednosměrné ventily) a prvky pomocné (trubky, hadice, spojovací části, těsnění, filtry, atd.) Tlaková kapalina se dostává až do přímočarého hydromotoru, kde působí na píst a způsobí tak zasunutí či vysunutí jeho pístnice.

Vzhledem k požadavkům by se jednalo o dvojčinný hydraulický přímočarý motor s jednostrannou pístnicí. Provedení takového válce je vidět na obrázcích níže, kde je zástupce od společnosti Parker (obrázek 16) a uspořádání jednotlivých součástí uvnitř hydraulického válce (obrázek 17). Dvojčinný znamená, že tlaková kapalina ovládá jak vysouvání, tak zasouvání pístnice – zajistí pohyb řadicí vidličky pro řazení i vyřazení. V případě jednočinného hydromotoru by se jednalo o pouhé vysouvání pístnice, zasouvání bývá nejčastěji realizováno pomocí předepjaté pružiny uvnitř válce. Jednostranná pístnice, protože je třeba požadovaný posuvný pohyb mít pouze uvnitř převodovky, je tak zbytečné mít pístnici vysunutou i na druhou stranu. [14] [15]



Obrázek 16 Dvojčinný hydraulický přímočarý motor Parker s jednostrannou pístnicí [16]



Obrázek 17 Konstrukční řešení přímočarých motorů [14]

#### 4.3 Pneumatický pohon

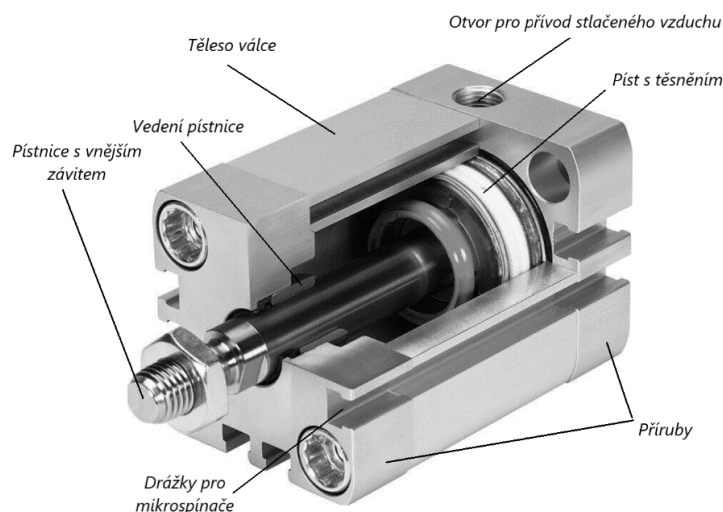
Jedná se opět o tekutinový mechanismus, kde se ale jako pracovní médium využívá vzduch. Je schopné přenášet velké síly s vysokou přesností a rychlostí, je nedílnou součástí automatizačních procesů a dá se použít v náročných podmínkách – především oproti hydraulickému pohonu při vysokých teplotách a ve výbušných prostředích. Obrovskou výhodou je čistota provozu a ekologičnost – přebytečný vzduch se může vypustit do ovzduší a není tak nutné navrhovat zpětné vedení jako tomu je u hydraulických pohonů. Není potřeba mít samostatný zdroj pro jednotlivé pohony, stačí mít jeden centrální rozvod vzduchu. Nastává ovšem problém při zajištění rovnoměrného chodu či malých pohybových





rychlostí. Mezi nevýhody patří také malá tuhost mechanismu a jeho provoz je nákladný – musí být pod neustálým přísunem stlačeného vzduchu, díky tomu je tak méně účinný než hydraulický pohon. V případě přetížení se mechanismus nanejvýš zastaví a přestane fungovat, vzduch unikne do ovzduší a nedojde tak k možné nebezpečné havárii jako je tomu u hydrauliky. Vlivem stlačování a expanze dochází ke změnám teploty stlačeného vzduchu.

Na začátku je vstupní převodník – kompresor, který převádí mechanickou energii např. elektromotoru na tlakovou energii pracovního média. Výstupem je stlačený vzduch, který jde dál do obvodu. V obvodě je možné mít téměř totožné prvky jako v případě hydraulických pohonů. Stlačený vzduch musí projít přes tzv. jednotku úpravy stlačeného vzduchu zajišťující čistotu a přijatelnou vlhkost stlačeného vzduchu. Nejčastěji obsahuje filtr s odlučovačem (zachycení nečistot a vlhkosti ze vzduchu), regulátor tlaku – redukční ventil (nastavení max. tlaku stlačeného vzduchu, který jde dál do obvodu) a maznici v případě náročnějších aplikací (dnešní prvky se už tímto způsobem nemažou, neboť obsahují trvalou tukovou náplň). Potom se stlačený vzduch dostává až do přímočarého pneumatického motoru, kde působí na píst a způsobí tak zasunutí či vysunutí jeho pístnice – obdobně jako u hydrauliky.



Obrázek 18 Řez dvojčinným pneumatickým válcem FESTO s jednostrannou pístnicí [17]

Vzhledem k požadavkům by se jednalo o dvojčinný pneumatický přímočarý motor s jednostrannou pístnicí. Dvojčinný znamená, že stlačený vzduch ovládá jak vysouvání, tak zasouvání pístnice – zajistí pohyb řadicí vidličky pro řazení i vyřazení. V případě jednočinného přímočarého motoru by se jednalo o pouhé vysouvání pístnice, zasouvání bývá nejčastěji realizováno pomocí předepjaté pružiny uvnitř válce. Jednostranná pístnice, protože je třeba požadovaný posuvný pohyb mít pouze uvnitř převodovky, je tak zbytečné mít pístnici vysunutou i na druhou stranu.

Vzduch je stlačitelný – mechanismus má menší tuhost, což má vliv na chod pístnice, který je díky tomu poměrně měkký. V případě hydraulických pohonů platí rovnice kontinuity (objem vytlačený pístem 1 se rovná objemu kapaliny vytlačené pístem 2) díky



teoretické nestlačitelnosti kapaliny. Jenže u pneumatických pohonů (stlačitelnost vzduchu) tato rovnice neplatí – v praxi to může způsobit, že jeden ze dvou pístů vykoná posuv, kterému se nebude rovnat posuv toho druhého. V průběhu synchronizace při pohybu řadicí objímkou dochází také ke skokovým posuvům, což znamená že by se této vlastnosti pneumatických pohonů dalo v mém případě využít. [3] [18]

#### 4.4 Elektrický pohon

Vstupní veličinou je zde elektrický signál a výstupní mechanická veličina – síla způsobující pohyb. Podle druhu vytvářeného pohybu se dělí na rotační a lineární. Rotační představují elektromotory, lineární představují elektro-magneticko-mechanické aktuátory – ty zde nyní rozepíšu. Jejich funkce vychází ze silového působení buď elektrického pole na nabitá tělesa či dielektrika, nebo magnetického pole na feromagnetika a vodiče, jimiž prochází proud. Dnes je častěji používané působení právě magnetického pole – aktuátory elektromagnetické. Způsobené je to vyššími hodnotami materiálových konstant – ty způsobí vyšší hustotu energie a díky ní vyšší silové působení magnetického pole.

Fungování těchto aktuátorů je spíše dvoupolohové a tak případná regulace je značně obtížná, přičemž jejich zdvih je relativně malý. Vzhledem k tomu, že síla na tyčce je závislá na poloze vůči magnetickému poli, se tento typ pohonu nehodí na požadovaný pohyb řadicí objímky, jež musí být řízený. [19] [20]

#### 4.5 Výsledek rešerše

Již v práci pana Ing. Jana Hoblíka došlo k návrhu akčního členu, konkrétně tedy byl zvolen pneumatický válec. Bylo ovšem nutné zanalyzovat situaci a veškeré požadavky kladené na akční člen vzít v potaz. Vzhledem k požadavku na sílu by se daly použít všechny zmíněné pohony, neboť jsou všechny schopny tuto sílu generovat. Co se požadavku na zdvih tyčce, opět by šly použít všechny typy. Při řešení požadavku na prostorové umístění a omezení zde rozhodně nelze použít elektrický pohon, protože by se nevešel do připraveného prostoru – docházelo by ke kolizi s ostatními prvky. Dalším důvodem proč není elektrický pohon vhodný je fakt, že posuvný pohyb je špatně regulovatelný a řízený, přičemž v případě řazení je vyžadováno právě opaku, navíc k použití elektrického pohonu by bylo nutné pořídit frekvenční měnič.

Hydraulický i pneumatický pohon by šel použít, ovšem při porovnání charakteristických rysů obou pohonů, vychází jako vítěz pneumatický pohon. Prvním důvodem je, že hydraulický pohon disponuje vysokou tuhostí. Během synchronizace při řazení dochází ke skokovým posuvům a zastavování řadicí objímky. Díky vysoké tuhosti by pohon nerespektoval tyto skokové posuvy a mohlo by docházet k předčasnému zařazení. V případě pneumatického pohonu je tomu naopak. Druhý důvod je prostý – v laboratoři je již stanice rozvodu stlačeného vzduchu s regulačním ventilem – max 9 bar. V případě hydraulického pohonu by se musel pořídit hydrogenerátor, řídicí a ostatní prvky pro vytvoření obvodu. Poslední důvod se týká rychlosti pohybu – hydraulický pohon by nemusel



být schopen zajistit potřebnou rychlost potřebnou pro zařazení. V tomto ohledu má pneumatický pohon znova navrhnout. Únik pracovního média do okolí v případě poruchy či nehody je v případě pneumatického pohonu neškodný.

Původní navržený pneumatický válec byl ADN-32-40-PPS-A (FESTO), jehož celková délka je 84 mm – přečníval by přes hranu podstavy směrem k malému setrvačníku až o 15 mm. Vyrábí se i kratší typ – ADN-32-30-A-P-A, který má celkovou délku 74 mm a bude tak vhodnější, neboť vznikne bezpečnější vůle mezi válcem a setrvačníkem. Navíc tento kratší zdvih je dostačující a to včetně uvažované rezervy v chodu válce – necelých 11 mm. Jedná se o dvojčinný pneumatický válec s jednostrannou pístnicí s pružnými tlumícími kroužky. Pístnice svým průměrem v pohodě projde připraveným otvorem ve víku, konec pístnice má vnější závit M10x1,25 pro připojení k řadicí vidličce. Na těle válce jsou drážky pro mikrospínače, díky kterým lze nastavit počáteční a koncovou polohu. Válec bude chycen k víku převodové skříně pomocí čtyř šroubů s vnitřním šestihranem, prostor mezi čelem válce a víkem převodovky bude utěsněn papírovým těsněním. K tomuto pneumatickému válce bude nutné přikoupit rozvaděč, hadice, fitinky pro připojení hadic a deska pod rozvaděč. Katalogový list pneumatického válce je v příloze číslo 1.



Obrázek 19 Pneumatický válec ADN-32-30-A-P-A [17]

## 5 Odměřování polohy

Vzhledem ke komplikovanému průběhu řazení je potřeba znát okamžitou polohu řadicí objímky, aby se mohla synchronizační spojka dále vyvíjet a upravovat její případné neduhy. K tomu je třeba zakomponovat na stanoviště snímač polohy, konkrétně snímač vzdálenosti.

Tyto snímače se dělí podle použité metody měření na přímé a nepřímé měření. Přímé měření vzdálenosti měří přímo hodnoty měřené vzdálenosti – např. pomocí posuvných měřidel. Zároveň může přímé měření probíhat metodou odečítání hodnot či kódu na stupnici, kdy se z těchto dat určí měřená veličina pomocí diagramu či tabulky. Hodnoty získané nepřímým měřením jsou poté výpočtem převedeny na finální požadovanou veličinu, která je zatížena nepřesností a nejistotou. Jejich velikost je definována na základě zvoleného matematicky vyjádřeného fyzikálního vztahu či jinými okolnostmi měření.

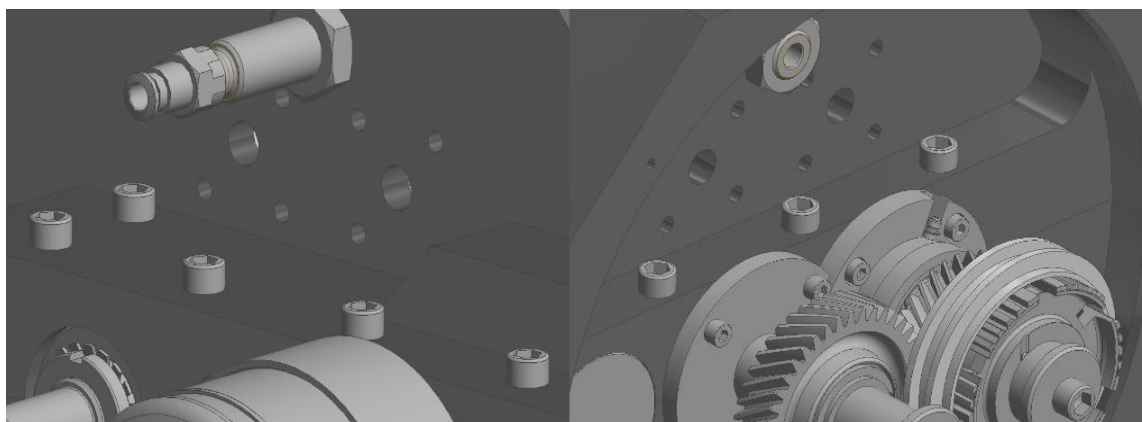


Vždy se při odměřování používá souřadný systém, který má svůj počátek – podle jeho polohy se snímače rozdělují na absolutní a inkrementální - přírůstkový. Pro absolutní způsob měření je hlavní souřadný systém pevně daný – pokud dojde k výpadku napájení, po obnovení napájení je tento systém stále ve své poloze a může probíhat odměřování. Absolutní poloha počátku se při odměřování mění vzhledem k hlavnímu souřadnému systému.

V případě relativního způsobu měření se nejprve musí definovat referenční souřadný systém, kdy po následné změně polohy měřené součásti dochází k měření vzdálenosti vůči zvolenému referenčnímu souřadnému systému, jehož poloha se volí libovolně v rámci možností. Po výpadku a následném obnovení napájení se nejprve musí zvolit referenční souřadný systém, teprve pak dojde k odměřování. [21] [22]

### 5.1 Požadavky kladené na snímač polohy

- Rozměrové – aby se vešel do již připraveného otvoru o průměru 13 mm ve víku převodovky, byl schopný svým chodem zajistit odměřování, ale zároveň aby nebyl zbytečně dlouhý (viz. obrázek 20)
- Na rozlišení – aby bylo možné znát polohu řadicí objímky co možná nejpřesněji
- Odolnosti vůči prostředí – aby byl snímač odolný vůči oleji, který je na soukolí rozstříkáván ve formě olejové mlhy



Obrázek 20 Montážní otvory pro snímač polohy (pohled z venku vlevo, pohled zevnitř vpravo)  
[zdroj: autor]

### 5.2 Rozdělení podle typu výstupního signálu

Snímače se dělí na analogové, číslicové a diskrétní. U analogových snímačů vzdálenosti na základě změny polohy měřené součásti dojde ke změně proudu, napětí, magnetického toku nebo jiné fyzikální veličiny. Výsledná měřená veličina je spojitého charakteru. Číslicové (digitální) snímače mají na výstupu digitální číslo. Diskrétní snímače mají pouze 2 polohy a proto se používají spíše jako koncové spínače. Jejich výstupem je logická hodnota 0 nebo 1. [21]



### 5.3 Rozdělení podle principu odměřování

Dnes je na trhu možné si vybrat různý typ snímače, nabízejí se v různých velikostech a provedeních. Každý takový snímač ale pracuje na určitém fyzikálním principu, podle kterého se od sebe odlišují.

- **Odporové (potenciometrické) snímače**

Principem je měření elektrického odporu pomocí čidla. Odpor na čidle se v závislosti na poloze mění, jedná se tedy v podstatě o potenciometr – skládá se z jezdce (čidla), který se pohybuje po cívce s odporovým (rezistivním) drátem a díky tomu dochází ke změnám elektrického odporu – proměnný odpor. Změna se může jevit jako lineární, kde je změna odporu přímo úměrná posunutí jezdce nebo nelineární. U nelineárních se nejedná o přímo úměrný průběh závislosti odporu na poloze, může tedy mít průběh např. exponenciální či logaritmické funkce.

Rozdělovat se mohou podle odporového materiálu na kovové a nekovové. Ty kovové mohou být drátové – navinutý drátek vytváří odpor nebo vrstevové (metalizované), které jsou tvořeny napařenými vrstvami kovového odporového materiálu. Nekovové jsou uhlíkové, vodivé plastické materiály či cermetové – kompozit tvořený kovem a keramikou. Dnes je nejpoužívanějším materiálem vodivý plast, který zajišťuje lepší rozlišení snímače (obvykle 0,01 mm) a měření při vyšších pohybových rychlostech. Jedno z mnoha provedení ukazuje obrázek 21.



*Obrázek 21 Potenciometrický snímač polohy s vratnou pružinou a hrotem [23]*

Výhodou těchto cenově přijatelnějších snímačů je jejich konstrukční provedení, jež je v porovnání s ostatními velmi prosté – jedná se o nejjednodušší analogové snímače. Vzhledem k využívanému fyzikálnímu principu je značně znevýhodňuje vliv teploty na naměřené hodnoty. Bohužel jednoduchá konstrukce sebou nese nízkou odolnost vůči vibracím – ty mohou způsobit odskok jezdce od odporové dráhy, což způsobí přerušování elektrického obvodu. [21] [24]

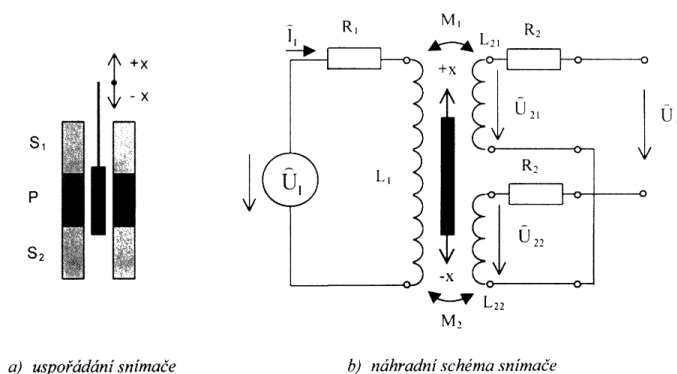


- **Indukčnostní snímače**

Principem je změna vlastní indukčnosti či vzájemné indukčnosti v závislosti na změně polohy měřené součásti. Snímač se skládá z jedné (primární) cívky – změna vlastní indukčnosti, z více (sekundárních) cívek – změna vzájemné indukčnosti. Nyní zde popíšu dnes nejpoužívanější konstrukční varianty těchto snímačů.

**Snímač LVDT** (Linear variable differential transformer) - pohybem feromagnetického jádra se mění vzájemná indukčnost mezi primární, střídavým napětím napájenou cívkou a dvěma v sérii zapojenými sekundárními cívkami; v závislosti na této indukčnosti se mění napětí na sekundárních cívkách umístěných symetricky ke středu měřitelného rozsahu (pokud se jádro nachází uprostřed, obě sekundární cívky indukují stejné velikosti napětí, pokud je od sebe odečteme, dostáváme nulovou hodnotu napětí); výhodou je odolnost vůči prostředí a velmi vysoká přesnost měření (v řádu mikrometrů). Na obrázku 22 je zobrazeno schéma principu odměřování tohoto typu snímače.

**Induktosyn** – také transformátorový snímač, kde jsou 2 primární cívky připojeny na jezdce a 1 sekundární cívka představující pravítko, cívky mají stejná vinutí a jsou vyrobeny technikou tištěného spoje, tento vodivý spoj je na nevodivé folii, která se lepí na ocelovou desku/pásku, plošný spoj má opakující se motiv (po 2 mm) – pravoúhlý meandr, ve vzdálenosti zhruba 0,1 mm je nad pravítkem umístěn jezdec obsahující 2 oddělené plošné spoje, může mít rozlišení až 0,5  $\mu\text{m}$ , avšak hrozí vniknutí nežádoucích částic mezi pravítko a jezdce. [21] [25] [26]



Obrázek 22 LVDT snímač [21]

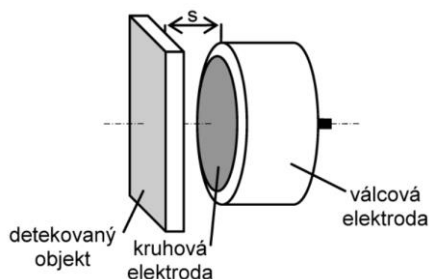
- **Kapacitní snímače**

Principem fungují stejně jako kondenzátory, takže změnou polohy měřené součásti se mění kapacita. Skládají se z deskového či válcového kondenzátoru obsahujícího 2 sousední válce.

Vyrábí se v různých variantách, které se od sebe nepatrně liší. Prvním typem je jednoduchý deskový s proměnnou mezerou – podobný kondenzátoru, ale má jednu desku pohyblivou. Dále může být deskový diferenciální – složený ze dvou kondenzátorů s jednou společnou deskou. Díky tomu dochází během pohybu ke změně kapacity obou kondenzátorů současně. Výhodou je charakteristika, sice ve tvaru hyperboly, ale kolem středu měřitelného rozsahu ji lze nahradit přímkou a průběh tak bude lineární. Rozšířeně



jsou deskové snímače s vrstvou dielektrika s proměnnou mezerou (pokud je tedy vrstva dielektrika konstantní tloušťky), které právě díky dielektriku mají více vyhovující tvar charakteristiky než jednoduchý deskový kapacitní snímač. Princip odměřování kapacitního snímače polohy znázorňuje následující obrázek.



Obrázek 23 Princip odměřování kapacitního snímače typu deskového diferenciálního s proměnnou mezerou dielektrika [27]

Všechny kapacitní snímače pracují bez mechanického tření, opotřebení či silového působení na měřený objekt. Na rozdíl od indukčních snímačů jsou schopny snímat i nekovové materiály. Mají vysokou přesnost a zároveň rychlost snímání, vykoupené je to bohužel velmi nízkým měřitelným rozsahem (0,1 mm a méně) a nutností odstínění od okolních kabelů a jakéhokoliv působení tepla. [21] [27]

- **Magnetické snímače**

Principem je pohyb snímací hlavy (Hallova sonda) přes pravítko s magnety, které jsou seřazené za sebou se střídající se polaritou – proměnné magnetické pole. Během pohybu této hlavy po měřítku se generují pulzy ve dvou kanálech, jako je tomu v případě přírůstkových snímačů polohy, kdy se často používají jako koncové snímače (obrázek 24).

Tento princip odměřování je výhodný především díky absenci mechanických opotřebení při snímání. Využívají se zejména jako náhrada indukčních snímačů, kdy jejich detekční vzdálenost už nestačí – magnetické snímače mohou detekovat měřenou součást na delší vzdálenost (až 50m), ovšem velikost snímače se příliš nezvětší. Další výhodou je vysoká odolnost proti vibracím a vlivu teploty, přičemž poskytují vysokou rychlost snímání. Jsou podstatně levnější než snímače optické, avšak mají téměř nekonečné rozlišení. Způsobené to je plynule se měnícím napětím v závislosti na poloze v magnetickém poli – Hallova sonda je schopná odměřovat i při téměř nulových rychlostech, čehož některé snímače nejsou schopné.



Obrázek 24 Koncový magnetický snímač polohy používaný u pneumatických válců od firmy FESTO [28]

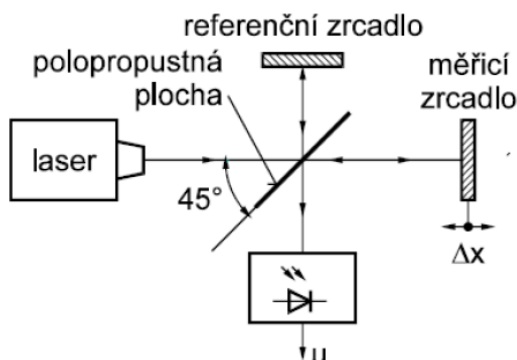


Další druh magnetického snímání využívá magnetorezistivní metodu, kde se využívá element zvaný magnetorezistor. Podle toho, jakou silou prochází magnetické pole tímto elementem, se mění jeho odpor. Jeden takový element má rozsah zhruba 25 mm, přičemž se tyto elementy vyřádkují vedle sebe. Podél vyskládaných elementů poté projíždí snímací hlava s magnetorezistivním prvkem. [21] [29] [30]

- **Optické snímače**

První typ pracuje na podobném principu jako magnetické snímače. Měřítka se neskládá z magnetů střídavé polarity, ale z částí propouštějící či nepropouštějící světlo – periodicky opakující se kroky. Jako zdroj světla je zde většinou LED dioda (vysílač), která vysílá paprsky světla přes měřítka, pod kterým se nachází fotocitlivý prvek (přijímač) – fotodioda či fototranzistor a při pohybu zaznamenává přerušovaný průchod světla. Nevýhodou je citlivost měřítka na nečistoty, které měření značně zkruslí.

Spojitý snímač polohy je interferometr, který se skládá ze zrcadel odrážející vstupní světlo z laseru (obrázek 25). Vyslané paprsky světla jdou dvěma trasami, kde jedna z nich směřuje k měřené součásti, od které se odráží a s první trasou se setkává až ve vyhodnocovacím zařízení. Vzhledem k rozdílným délkám těchto tras se v zařízení určí, zda spolu tato světla interferují či nikoliv a pokud ano, kolikrát. Pokud se měří poloha měřené součásti, musí být známá vlnová délka zdroje světla – laseru.



Obrázek 25 Princip interferometru [21]

Optický snímač s triangulačním principem měření je dalším typem takového snímače. Pracuje za předpokladu, že se vyslané světlo od měřené součásti odráží pod stejným úhlem. Odražené světlo se vrací zpátky ke snímači, kdy délka této trasy je přímo úměrná hledané vzdálenosti měřené součásti od snímače. Podmínkou tohoto snímače je zajištění stálého úhlu odrazu světla.

Podmínkou těchto snímačů je, aby okolí nezasahovalo do prostoru vysílaného paprsku světla – vstup jakýchkoliv částic do dráhy světla znemožňují měření. Jinak je ovšem takovýto typ měření velmi přesný, avšak poměrně drahý. [21] [31]





## 5.4 Rozdělení podle konstrukce snímače

Výše popsané druhy lineárních snímačů polohy se dnes vyrábí v různých konstrukčních provedeních a pokusím se je v této kapitole popsat. Dle tohoto provedení se dají rozdělit na snímače bezkontaktní (bezdotykové) a kontaktní (dotykové). Vzhledem ke svému tvaru těla se dělí na válcové a hranolovité.

- **Bezkontaktní (bezdotykové)**

Nemají mechanickou vazbu s měřenou součástí, patří sem určitě kapacitní snímače (měřená součást představuje jednu z elektrod), dále optické snímače (interferometr či optický snímač triangulačního typu), přičemž nejrozšířenější provedení těchto snímačů je buď s válcovým či kvádrovým tělem.

- **Kontaktní (dotykové)**

Mají mechanickou vazbu s měřenou součástí, dělí se na snímače s posuvným mechanismem a snímače se separovanou snímací hlavou a měřítkem (pravítkem) – zde patří především inkrementální optické či magnetické snímače.

Tělo snímací hlavy bývá zpravidla kvádrovitého tvaru a připevňuje se k měřené součásti pomocí šroubových spojů. Separovaná měřítka se většinou lepí na příslušný podklad pomocí samolepící pásky a jednoho bodu pro ukotvení – opatření proti nechtěnému posunutí měřítka vzhledem ke svému podkladu. Pokud bude měřítko takto uchyceno, působení teploty způsobí tepelnou dilataci tohoto měřítka nezávisle na jeho podkladu. Proto se měřítko může kotvit na obou koncích pomocí úchytů, kdy se v případě teplotní dilataci roztáhne měřítko společně s podkladem.

V případě snímačů s posuvným mechanismem dochází při měření k posuvu měřicí části vůči referenční nepohyblivé části. Tyto části jsou spolu pevně spojeny. Pohyb měřicí části je tedy umožněn pouze ve směru měřené změny vzdálenosti – hojně využívané pro lineární měření vzdálenosti. Z konstrukčního hlediska existují 2 nejčastější typy takových snímačů. První z nich má měřicí (pohyblivou) část umístěnou před nepohyblivou částí. Druhý případ má měřicí část umístěnou na těle (boku) snímače.

Podle způsobu zajištění mechanického kontaktu měřicí části s měřenou součástí se dají členit na: kontakt zajištěný šroubovým spojem nebo kontakt silový – pomocí pružinky.

## 5.5 Výsledek rešerše

V předchozích odstavcích byly popsány často používané typy snímačů vzdálenosti. S přihlédnutím k požadavkům jsem následně zvolil ten nejvhodnější následující úvahou. Soukolí se synchronizační spojkou je mazáno rozstříkáním oleje – možnost použití optického snímače se vylučuje, neboť by právě tato olejová mlha zkreslovala odměřování polohy řadičích objímek. Nabízí se zde tedy levnější varianta, což je magnetický snímač polohy. Ten není ovšem vyhovující vzhledem k jeho citlivosti na rušení a tak by bylo nutné řešit stínění, což by znamenalo komplikovanější realizaci umístění v rámci převodovky. Kapacitní snímač



nevyhovuje vzhledem k velikosti rozsahu, jež může nabídnout a současně s tímto problémem by se muselo řešit stínění jako v případě magnetického snímače. Odporový snímač by vyhovoval v případě, pokud by ho neznevýhodňovala jeho nízká odolnost vůči vibracím, které se při řazení v převodovce generují.

Vybral jsem indukčností snímač, konkrétně typ LVDT. Důvodem je pestré spektrum nabízených konstrukčních a délkových variant, schopnost dosáhnout výborného rozlišení, dostatečně dlouhý chod. Tělo snímače je válcového tvaru a tak nebude problém s umístěním do již připraveného otvoru – bude se jednat o kontaktní snímač s posuvným mechanismem, protože varianta se snímací hlavou by nebyla v našem případě možná. Zároveň je tento snímač dostatečně odolný vůči vlivům okolního prostředí. Vybral jsem variantu s kuličkovým koncem na pohyblivé (měřicí) části, která na sobě bude mít pružinku – ta zajistí neustálý kontakt s měřenou součástí. Cenově se jedná o jednu z levnějších variant nabízených snímačů.

Přesněji jde o LVDT snímač OP12.5 řady Optimum series od společnosti Solartron Metrology, varianta jádra s pružinkou na jehož konci je kulička (obrázek 26). Jedná se o snímač s úzkým válcovitým tělem poskytující vysoce přesné odměřování. Jeho zdvih je  $\pm 12,5$  mm, což je dostačující, neboť se řadicí objímka při řazení přesune o 8,3 mm. Maximální možné odchýlení od lineárního průběhu charakteristiky snímače je menší než 0,25% s rozlišením menším než  $0,2 \mu\text{m}$ . V nulové poloze působí jádro snímače na odměřovanou součást silou  $0,93 \text{ N} \pm 20\%$ . Váží pouhých 20 g, z čehož jádro snímače má 3,5 g. Tělo snímače má průměr 9,52 mm a je z nerezové oceli, jádro snímače je z niklové oceli. Snímač pracuje v rozmezí teplot od  $-40^\circ\text{C}$  do  $+150^\circ\text{C}$  a má stupeň krytí IP65. Napájen je napětím o frekvenci 5kHz a proudem 7 mA/V, což zajistí speciální modul společně s transformací výstupního signálu. Katalogový list snímače lze nalézt v příloze číslo 2.



Obrázek 26 Snímač LVDT OP12.5 s tlačnou pružinkou a kuličkovým koncem [zdroj: autor]



## 6 Konstrukční návrh řadicí vidličky

Při řešení konstrukčního návrhu se téměř vždy konstruktér řídí nějakými okrajovými podmínkami – požadavky. V mém případě tomu není jinak. Veškeré 3D modely provádím v CAD softwaru Autodesk Inventor Professional 2020.

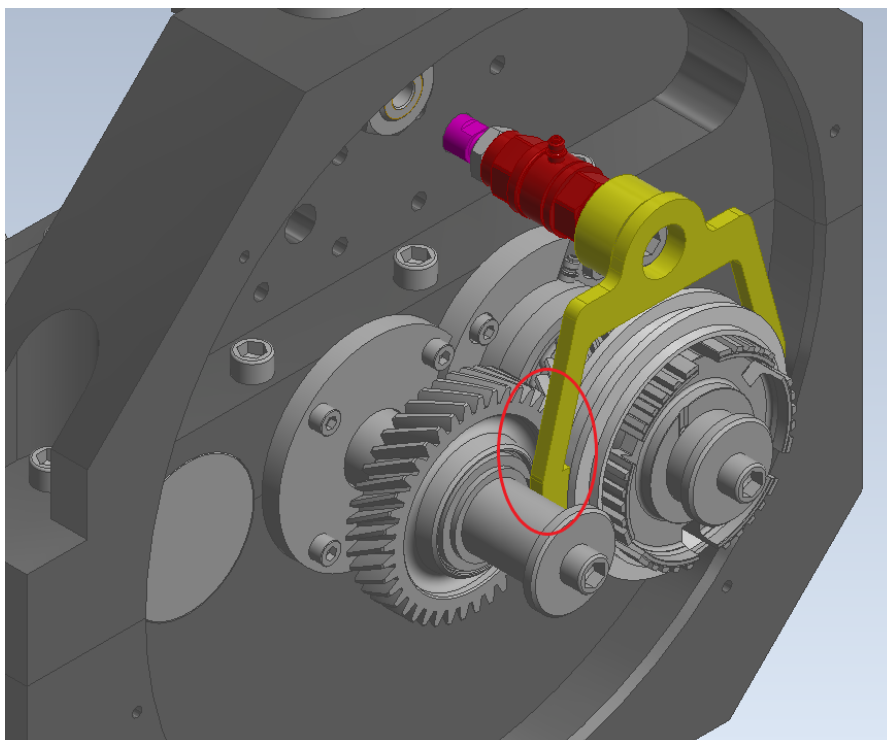
### 6.1 Požadavky na řadicí vidličku

- Prostorové umístění a omezení – nesmí být příliš velká, neboť se kolem řadicí vidličky nachází ostatní komponenty, se kterými nesmí dojít ke kolizi.
- Tuhost – musí být dostatečně tuhá, aby se při řazení ohýbala symetricky a ne příliš.
- Variabilita – řadicí vidličku navrhnout tak, aby se dala použít pro řazení na jedné či druhé hřídeli, ale nebyla složitá na výrobu
- Odměrování – vyřešit otázku propojení snímače s řadicí vidličkou.

### 6.2 Původní provedení řadicí vidličky

Původní provedení řadicí vidličky (žlutá) je zobrazené na následujícím obrázku, kdy propojení s pístnicí pneumatickým válcem (růžová) je realizováno pomocí šroubovacího snímače osově síly od firmy Kistler (červená). Tento šroubovací snímač je zde ale zbytečný, protože při jeho použití by se jednalo o dvojitě měření stejné síly a proto bude mým cílem navrhnout jiné provedení tohoto propojení. [3] Původní provedení řadicí vidličky je z ocelového výpalku o tloušťce 5 mm, ovšem není zde vyřešen problém odměrování polohy a zároveň by se musela povrchově upravit pro docílení třecích vlastností povrchu vidličky při kontaktu s řadicí objímkou.

Řadicí síla je přenášena na řadicí objímkou přímo kontaktem s řadicí vidličkou. Bez povrchové úpravy stykových ploch řadicí vidličky s objímkou se jedná o nepříliš vhodné řešení z hlediska životnosti a ovlivnění výsledků měření. Původní situace je zobrazená na obrázku 27, včetně vyznačeného kritického místa z hlediska prostorového omezení.



Obrázek 27 Původní provedení řadicí vidličky s vyznačeným prostorovým omezením [zdroj: autor]

### 6.3 Prvotní návrh

Na následujícím obrázku 28 je můj první návrh řadicí vidličky. Vycházel jsem z výše představené vidličky, kdy se snímač axiální síly nahradí součástí, která propojí pneumatický válec s řadicí objímkou. Vidlička se upevní pomocí šroubu, pro který je připraven otvor v její horní části. Jedná se o symetrické provedení řadicí vidličky, díky čemuž budou její deformace symetrické. Poloha stykových ploch je naproti sobě přes osu rotace hřídele, aby nedocházelo ke klopení řadicí objímky.

V době tohoto prvotního návrhu jsem ještě nestanovil, jakým způsobem bude probíhat odměřování. Vzhledem k již představenému snímači polohy (kapitola 5.5) se tedy jedná o špatné provedení, ačkoliv je tvarově poměrně jednoduché.

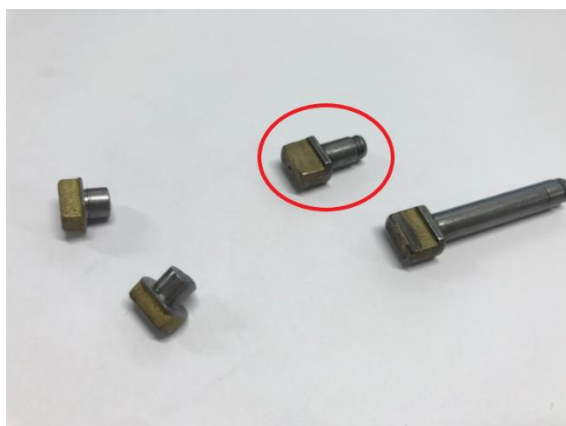


Obrázek 28 První konstrukční návrh řadicí vidličky [zdroj: autor]



## 6.4 Varianty s řadicími kameny

Chceme-li se co nejméně odklonit od chování synchronizační spojky uvnitř skutečné převodovky, je třeba řadicí vidličku co možná nejvíce uzpůsobit provedení, jež je použité uvnitř převodovky – tedy s otočnými řadicími kameny, které se nachází v převodovce MQ 200. Ty jsou buď celé z bronzu nebo mají jádro z oceli a na povrchu kluznou vrstvu z bronzu nebo mají jádro z oceli a na povrchu plastové návleky. Díky řadicím kamenům nedochází k takovému brždění řadicí objímky a zároveň je dosaženo delší životnosti řadicí vidličky. Použití řadicích kamenů je tedy rozhodně vhodnějším způsobem, jak předat posuvný pohyb z řadicí vidličky na řadicí objímku. Na obrázku 29 jsou řadicí kameny vymontované z převodovky MQ 200 na Julisce – vlevo jsou kameny pro 5. rychlostní stupeň, vpravo potom kameny pro 3. a 4. rychlostní stupeň. Jedná se o řadicí kameny s kluznou vrstvou bronzu na ocelovém jádře. Ty jsem si změřil a následně vymodeloval v Inventoru, jelikož jsem se rozhodl navrhnout řadicí vidličku tak, aby do ní šly zakomponovat dva řadicí kameny o velikosti znázorněné na obrázku.



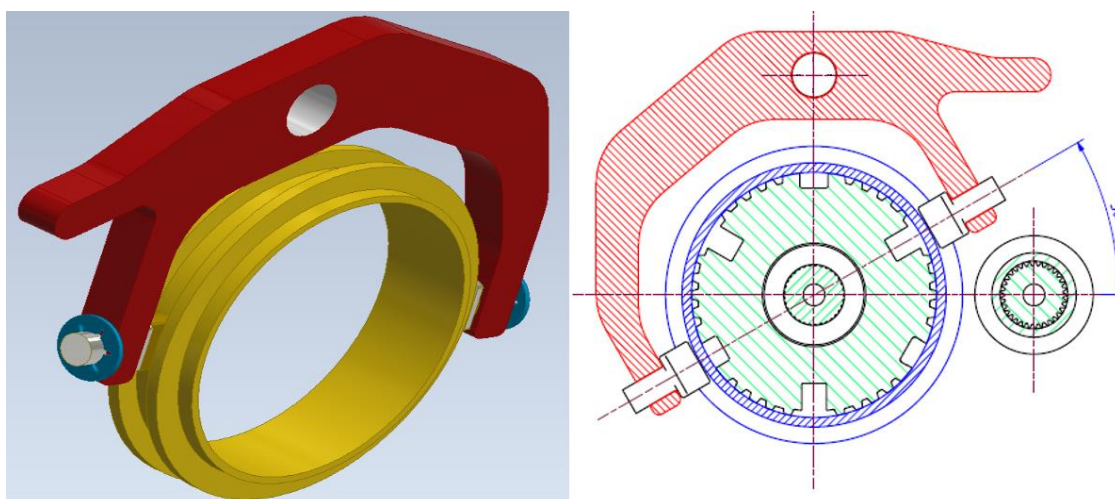
Obrázek 29 Starší verze řadicích kamenů z převodovky MQ 200 [zdroj: autor]

Při vývoji převodovky MQ 200 prošlo provedení řadicích vidliček řadou změn. Jde především o zavedení třibodového styku řadicích kamenů s řadicí objímkou pro 3. a 4. rychlostní stupeň – nejprve díky mosaznému půlměsíci propojující oba řadicí kameny, později takovéto propojení bylo nahrazeno profilovaným plechem viz. obrázek 30. Díky tomu se zajistí, že řadicí kameny jsou kolmo natočeny na dosedací plochu řadicí objímky. Zároveň se upustilo od používání řadicích kamenů s ocelovým jádrem s kluznou vrstvou z bronzu a zavedly se řadicí kameny s ocelovým jádrem s plastovými návleky. [6]



Obrázek 30 Tříbodový styk pomocí mosazného půlměšice vlevo, pomocí profilovaného plechu vpravo [6]

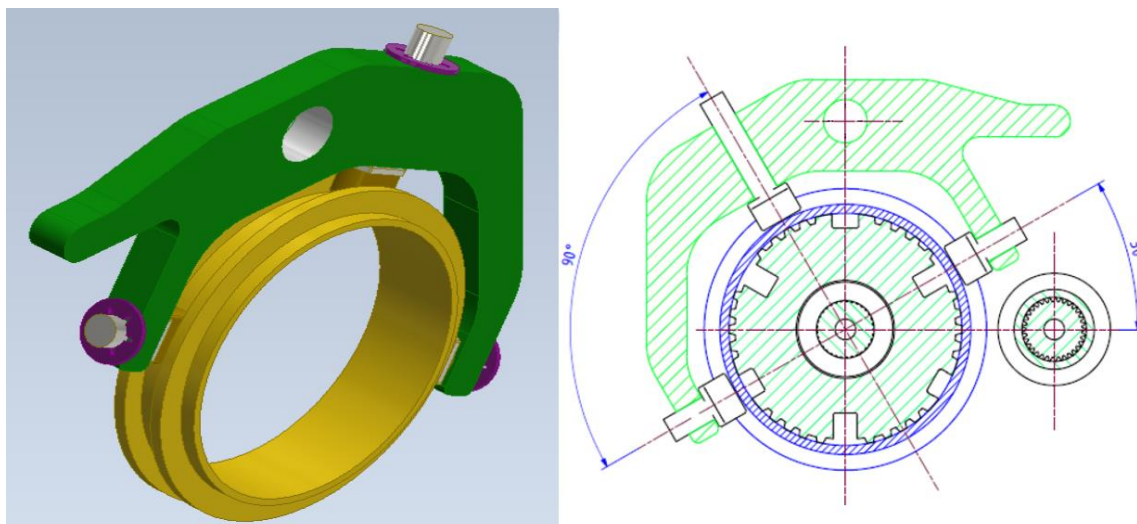
Já jsem se rozhodl použít provedení s volně otočnými řadicími kameny z ocelového jádra s kluznou bronzovou vrstvou.



Obrázek 31 Druhý návrh řadicí vidličky – varianta se dvěma řadicími kameny [zdroj: autor]

Na obrázku 31 je vidět druhý návrh řadicí vidličky – vlevo znázornění s řadicími kameny a objímkou, vpravo příčný řez této sestavy společně s hřídelemi. Tentokrát jsem zakomponoval dva řadicí kameny, které jsou zajištěné pojistnými podložkami STARLOCK. Jak jsem již zmínil, kameny je třeba mít naproti sobě přes osu hřídele, přičemž v mém případě jsem musel osu kamenů natočit vůči horizontální rovině o  $30^\circ$ . Důvodem je předlohová hřídel, se kterou by řadicí vidlička jinak kolidovala. Zároveň má řadicí vidlička v horní části (nad osou vstupní hřídele) otvor pro upevnění k propojení (rozeberu v jiné kapitole) vedoucí až k akčnímu členu – pneumatickému válci. Nechybí zde také jazýček pro zajištění kontaktního snímání polohy řadicí vidličky. Jak je z obrázku vpravo patrné, jazýček se nachází přímo nad osou předlohové hřídele – umožní použití vidličky jak na jedné, či druhé hřídeli. Vidlička se bude vypálit z plechu o tloušťce 10 mm.

Následně jsem navrhnul vlastní provedení tříbodového dotyku řadicích kamenů a to přidáním ještě jednoho kamene (obrázek 32), který je delší v porovnání se dvěma již použitými. Zobrazuje to následující obrázek. Je vidět, že osa třetího kamene je kolmá na osu dvou řadicích kamenů.

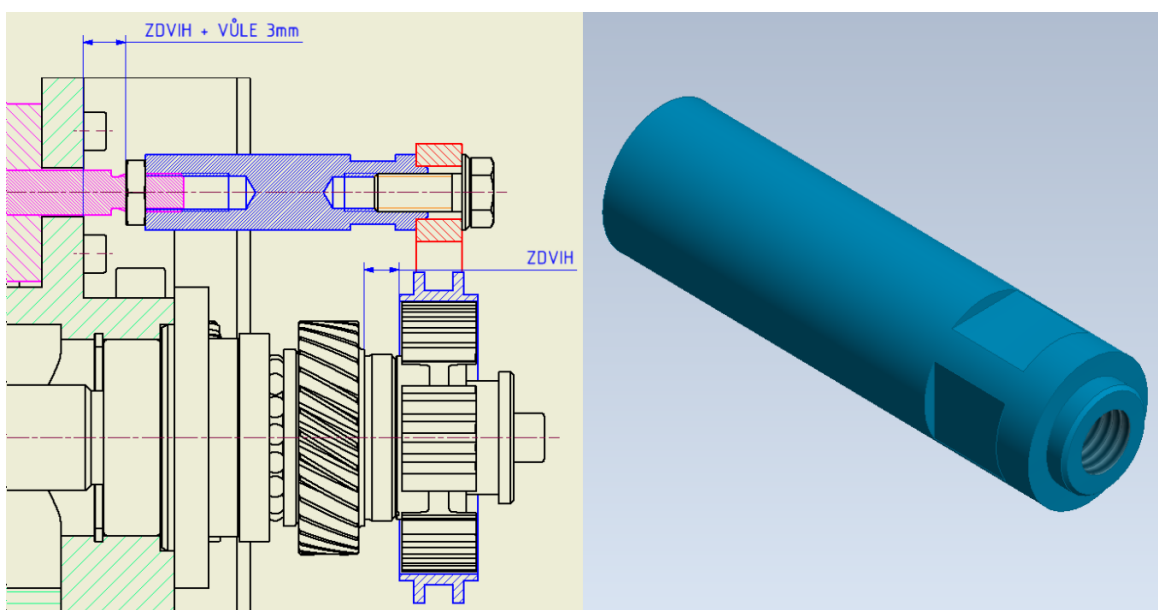


Obrázek 32 Třetí návrh řadicí vidličky – varianta se třemi řadicími kameny [zdroj: autor]

### 6.5 Propojení s akčním členem

Jak jsem už psal v kapitole 6.2, je třeba navrhnout součástku, která zajistí propojení pístnice pneumatického válce s řadicí vidličkou. Pneumatický válec je chycený čtyřmi šrouby s vnitřním šestihranem M6x20. Pístní tyč bude vysunutá tak, aby při zařazeném stupni (tj. nejkratší vzdálenost mezi víkem převodovky a řadicí vidličkou) byla vůle mezi víkem převodovky a maticí na pístnici zhruba 3 mm. Vzhledem k tomu je třeba přizpůsobit délku propojovací součásti.

Navrhnul jsem válcovou součást s vnitřním závitem pro upevnění na pístní tyč na jedné straně, na straně druhé je také vnitřní závit pro připojení řadicí vidličky. To bude realizováno pomocí šroubu s podložkou. Pro dotažení tohoto válečku k pístnici pneumatického válce slouží čtvercové plochy na povrchu válcové součásti pro použití stranového klíče o velikosti 17. Spojovací součást bude zajištěna na pístnici maticí. Vše je znázorněné na následujícím obrázku 33, společně s okrajovými podmínkami při nezařazeném rychlostním stupni.

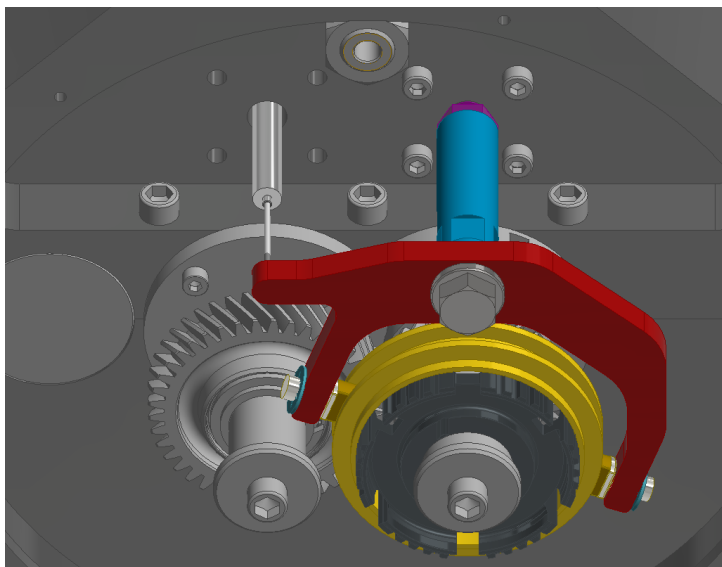


Obrázek 33 Spojovací váleček a zjednodušené schéma jeho okrajových podmínek [zdroj: autor]



## 7 Snímač polohy

Nyní budu řešit odměřování, konkrétně umístění snímače s jeho držákem, který je nutné navrhnout. Vybraný snímač polohy jsem již popsal v kapitole 5.5. Ve víku skříně převodovky jsou připravené nad oběma hřídeli průchozí díry o průměru 13 mm, kolem kterých jsou čtyři průchozí díry o průměru 6,4 mm – pro šrouby M6. Pokud bude pneumatický válec umístěn v otvoru nad vstupní hřídelí, snímač polohy řadicí vidličky bude umístěn v druhém otvoru (nad předlohou hřídelí) a nebo naopak. Tato situace je znázorněná na následujícím obrázku 34.



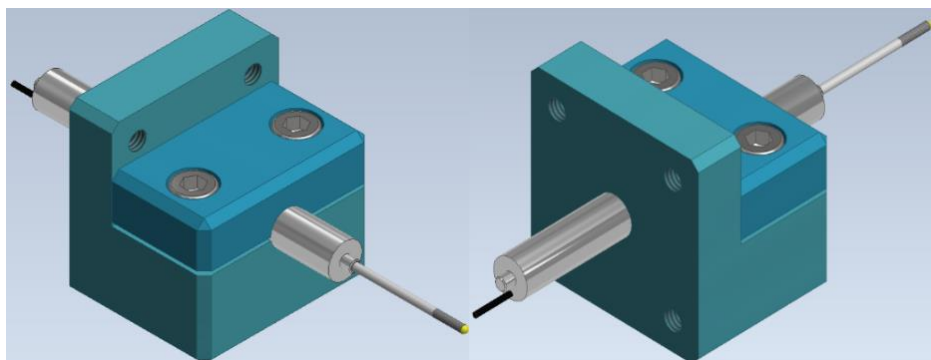
Obrázek 34 Varianta umístění akčního členu a snímače polohy [zdroj: autor]

### 7.1 Držák snímače

Pro uložení snímače ve stálé poloze je třeba navrhnout vhodné provedení držáku. Zároveň je však důležité ho navrhnout tak, aby se do stísněného prostoru uvnitř experimentální převodovky vešel a při řazení s ním žádná komponenta nekolidovala.

Mnou navržený držák snímače je zobrazen na obrázku 35. Spodní díl se pomocí čtyř šroubů s vnitřním šestihranem M6x20 přichytí k víku převodovky, přičemž mezi tyto dvě plochy se vloží papírové těsnění. Dovnitř převodovky se prostrčí otvorem snímač polohy, který bude ke spodnímu dílu držáku přitisknut vrchním dílem držáku a to pomocí dvou šroubů s vnitřním šestihranem M6x20. Oba tyto díly jsou navrženy tak, aby při dosednutí válcovitého vybrání vrchního dílu na válcovité tělo snímače, vznikla vůle mezi horizontálními plochami obou dílů držáku. Snímač bude tak chycen svěrným spojem.

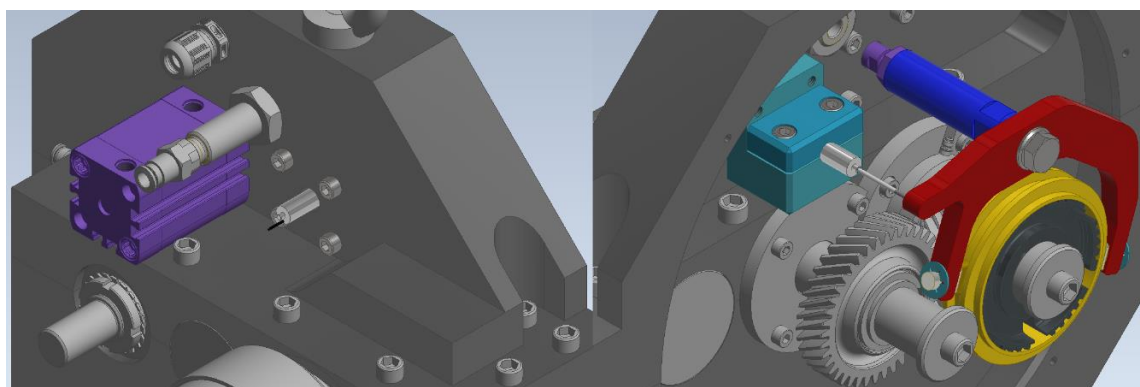




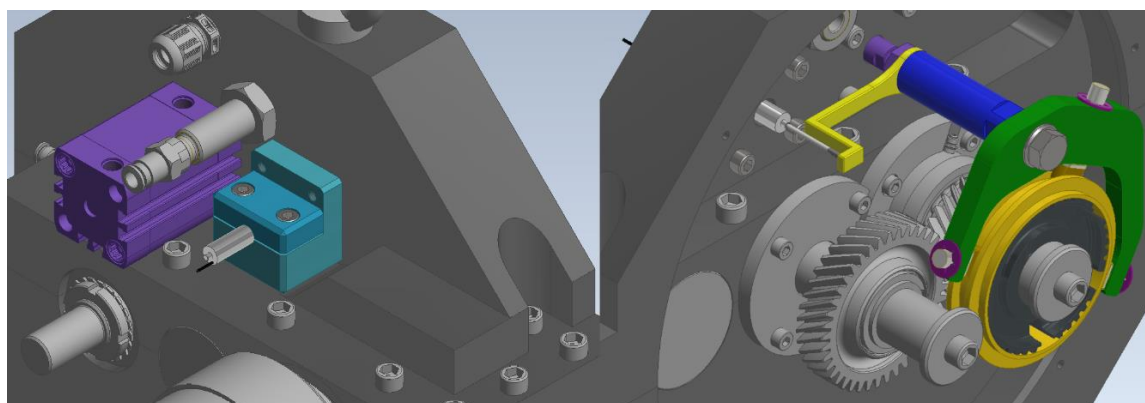
Obrázek 35 Provedení držáku snímače polohy [zdroj: autor]

Samozřejmě se nabízí varianta umístit tento držák vně převodovky vedle pneumatického válce. Snímač nemá ale tak velký chod, aby se zajistil kontakt s odměřovanou řadicí vidličkou. Tím pádem by se musela navrhnout součást, která by se umístila např. mezi pístnici pneumatického válce a spojovací váleček a svým tvarovým provedením zajistila kontakt řadicího mechanismu se snímačem. Na druhou stranu by na řadicí vidličce nemusel být již zmíněný jazýček pro odměřování. Bohužel takovéto řešení by mohlo způsobit nepřesné měření, neboť měření nebude probíhat přímo na řadicí vidličce, ale právě na této součásti.

Obě varianty umístění držáku snímače polohy a tedy i varianty zajištění kontaktu snímače s odměřovanou součástí jsou znázorněné na obrázku 36 a obrázku 37.



Obrázek 36 Varianta umístění držáku snímače uvnitř převodovky, odměřování přímo na řadicí vidličce [zdroj: autor]

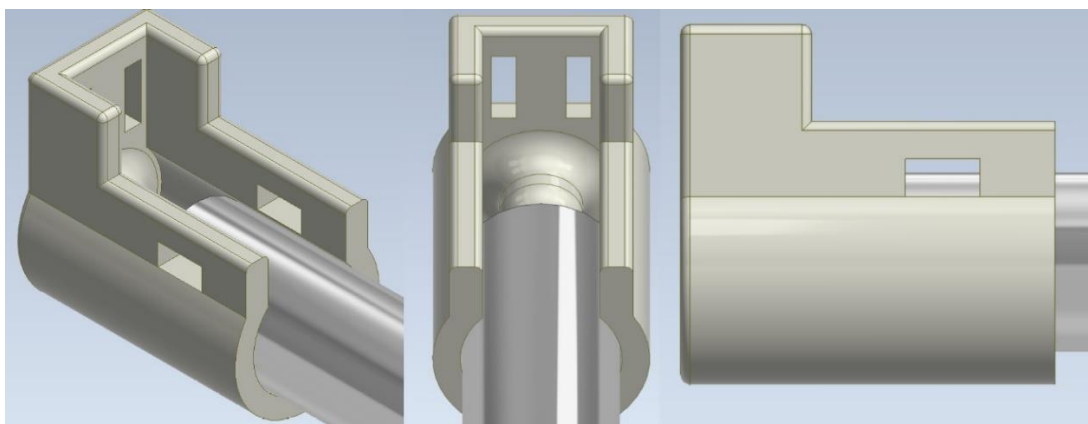


Obrázek 37 Varianta umístění držáku snímače vně převodovky, odměřování na speciální součásti (žlutá barva) [zdroj: autor]



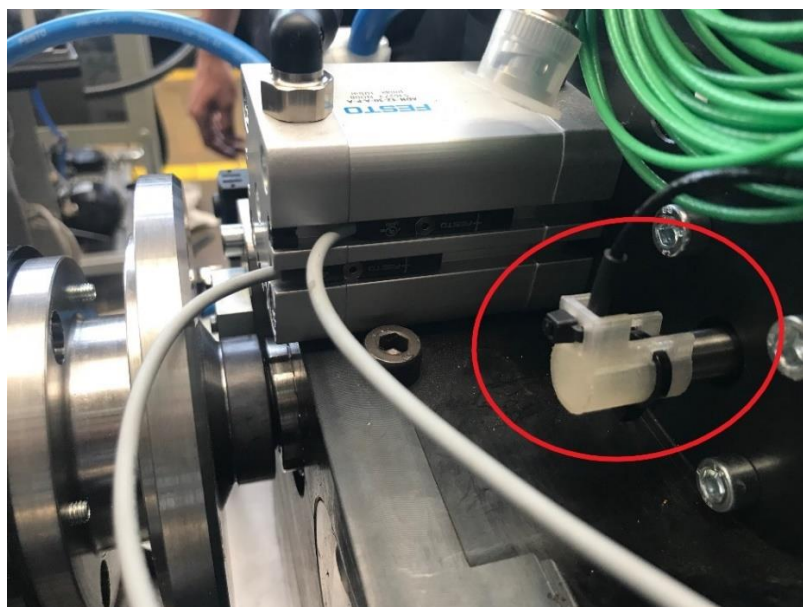
## 7.2 Kryt kabelů snímače polohy řadicí vidličky

Na obrázku 26 je vyobrazen snímač v provedení od výrobce. Ze snímače vychází svazek elektrických kabelů pro napájení a výstupní signál. Následně vedou do jednoho většího černého gumového pouzdra. Tento svazek může být z důvodu delšího používání a častou manipulací na laboratoři na Julisce kritickým místem pro nenávratné poškození snímače a tak je potřeba ho ochránit od okolního prostředí. Inspirací mi byla velmi podobná plastová krytka nacházející se na zadní straně autorádia v mém automobilu. Navrhnul jsem tedy kryt pro tyto kabely způsobem, znázorňující následující obrázek 38.



Obrázek 38 Plastová krytka kabelů snímače polohy [zdroj: autor]

Vyrobil jsem CAD model, který se následně nechal vyrobit z plastu metodou 3D tisku. Pro upevnění k tělu snímače slouží stahovací páska, přičemž pro upevnění černého gumového pouzdra (kabelu) ke krytce je použita také stahovací páska. Vše ukazuje následující obrázek 39.



Obrázek 39 Reálná podoba krytky a upevnění ke snímači polohy [zdroj: autor]



## 8 Tuhostní analýza řadicí vidličky

Navržená vidlička bude konat několik cyklů během experimentálních měření, pro která byla zkonstruována. Je důležité si ověřit, zda-li takto navržená vidlička vydrží pevnostně a tuhostně řadicí sílu – zda-li budou posuvy jejich ramen a napětí ve vidličce zanedbatelně malé vůči posuvu vidličky či nikoliv.

Tuto tuhostní analýzu provedu metodou konečných prvků v programu ABAQUS. Základem metody konečných prvků (dále jen MKP) je rozdělení kontinua (tělesa) na konečný počet elementů (podoblastí). Tomu se říká diskretizace. Podoblasti jsou definovány uzlovými body (uzly) a lineární kombinace posuvů jednotlivých uzlů se rovná posuvu celé podoblasti – elementu. Součet potenciálních energií všech elementů tělesa udává jeho celkovou potenciální energii. O MKP by šlo napsat mnohem víc informací, nicméně to není předmětem zájmu mého zadání a tak se nyní posunu do programu ABAQUS a konkrétní nastavení pro řadicí vidličku. [32]

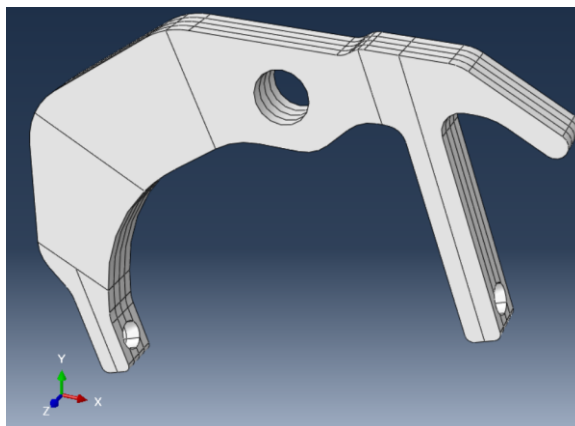
### 8.1 Nastavení pro simulaci

Nejprve popíšu nastavení v programu ABAQUS, které vedlo k výsledkům všech simulací – výsledky simulací se lišily pouze díky změně tvaru řadicí vidličky. Na veškerých obrázcích popisující toto nastavení je vidět již finální tvar řadicí vidličky. K této podobě řadicí vidličky se postupně dostanu v dalších kapitolách. K popisu používám anglické názvy jednotlivých operací, protože jsou takto pojmenované ve studentské verzi ABAQUS, v níž jsem simulace prováděl i já.

- **Part (díl)**

Nejprve jsem použil funkci **Import**, kdy jsem vybral možnost **Part** a ve složce našel model z Inventoru převedený do Spatial souboru (s koncovkou .sat). Prostředí vytvořeného modelu je **3D** a model bude **Deformable** a jeho velikost se nebude nijak měnit (**Do not scale**).

Takto vytvořený díl jsem musel pomocí funkce **Partition Cell** rozdělit na více dílků a mohl tak později provést úspěšné síťování. Rozdělený díl je vidět na následujícím obrázku 40.



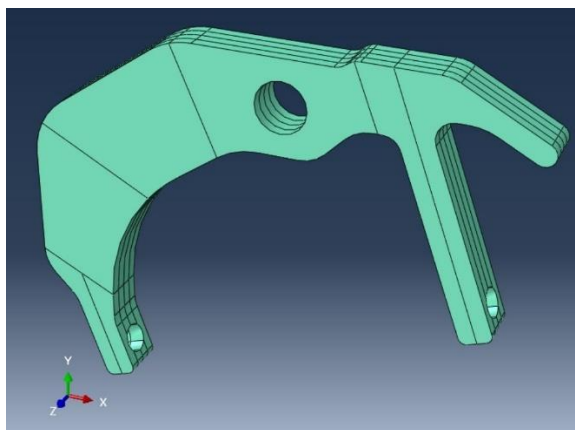
Obrázek 40 Rozdělení řadicí vidličky na menší díly pomocí Partition Cell [zdroj: autor]



- **Property (vlastnost)**

Řadicí vidlička se bude vyrábět z oceli 11 523 (S355J2G3). V materiálovém listu jsem zjistil hodnotu Modulu pružnosti:  $E = 206\,000$  MPa. [33] Tuto mechanickou vlastnost jsem následně zadal ve funkci **Create Material**, kde jsem vybral **Mechanical – Elasticity – Elastic**. Zde jsem vybral typ **Isotropic** bez vlivu teploty. Zde jsem kromě modulu pružnosti zadal ještě hodnotu Poissonovy konstanty – 0,3.

Následovala funkce **Create Section** – kategorii jsem zvolil **Solid** a typ **Homogenous** a vybral vytvořený materiál. Nakonec jsem vytvořil **Set**, kterému jsem přiřadil všechny části vidličky a funkcí **Assign Section** tomuto **Setu** přiřadil vytvořený materiál. Díl řadicí vidličky se z šedivé barvy změnil na zelenou, jako je tomu na následujícím obrázku 41.



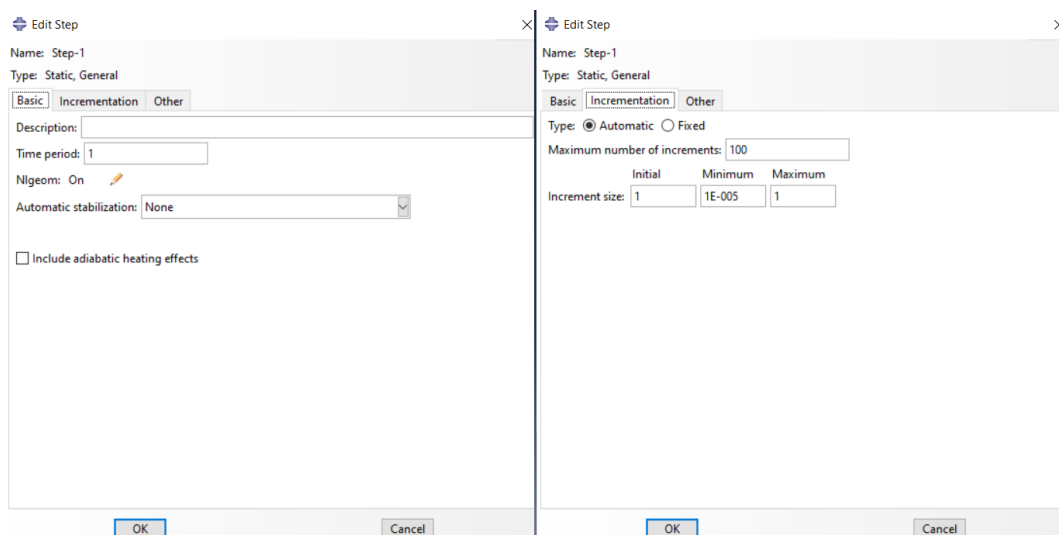
Obrázek 41 Řadicí vidlička po přiřazení materiálu [zdroj: autor]

- **Assembly (sestava)**

Zde jsem pouze vložil už připravený díl pomocí funkce **Create Instance** a umístil ho do prostoru.

- **Step (krok)**

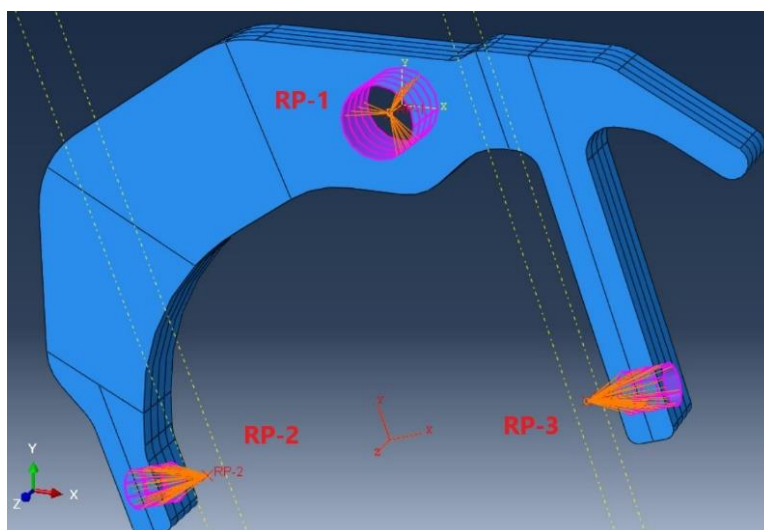
V této operaci se nastaví kroky, kterým lze následně přiřadit různá zatížení. Základním krokem je zde **Initial Step**, který reprezentuje výchozí stav součásti (bez zatížení), ke kterému se počítají deformace vzniklé od působení v jiném následujícím kroku. Tento můj následující krok jsem vytvořil pomocí funkce **Create Step**, kterému následně přiřadím zatížení. Zvolil jsem nastavení NLgeom jako ON, protože hledám rovnováhu ve zdeformovaném stavu, což se více blíží realitě. Následně v kartě Incrementation jsem ponechal základní nastavení.



Obrázek 42 Nastavení kroku Step-1 [zdroj: autor]

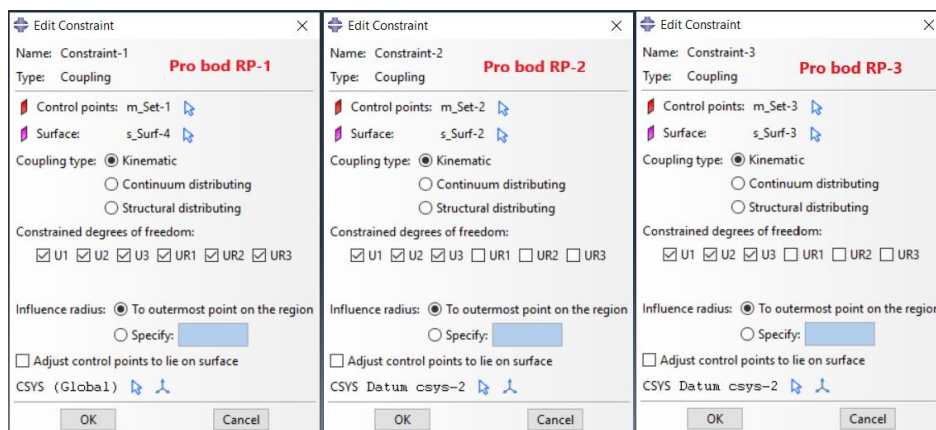
- **Interaction (interakce)**

Nejprve jsem vytvořil referenční bod **RP-1** uprostřed horního otvoru pro šroub a následně pomocí funkce **Create Constraint** vytvořil **Coupling** (spojení). Jako výchozí bod je zvolen právě bod **RP-1**, který jsem následně pomocí funkce **Create Constraint – Coupling** (spojení) propojil s válcovou plochou uvnitř otvoru pro šroub.



Obrázek 43 Model řadicí vidličky po nastavení části Interaction [zdroj: autor]

Vzhledem k tomu, že čím více komponent vstupuje do simulace, tím je větší pravděpodobnost nepřesného výsledku. Jako nahrazení právě řadicích kamenů, kde dochází k reakci od řadicí síly, jsem použil opět referenční body. Nejdřív jsem si změřil, jak daleko je řadicí objímka od ramene vidličky – 8 mm. Do této vzdálenosti jsem pomocí funkce **Create Datum Plane – Offset From Principal Plane** vytvořil roviny, na které jsem umístil referenční body **RP-2** (levé rameno) a **RP-3** (pravé rameno) a pomocí funkce **Coupling** jsem je svázal s příslušnou dírou na řadicí kámen. Tyto body byly promítnuty podle středového bodu příslušné díry – **Project Point On Plane**.



Obrázek 44 Detail nastavení funkcí Constraint [zdroj: autor]

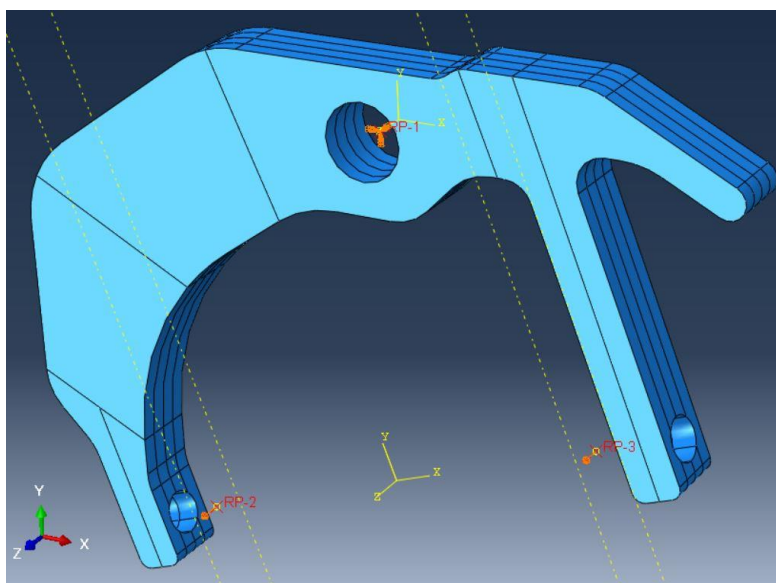
Na závěr jsem ještě pozměnil souřadnicový systém pro body **RP-2** a **RP-3**. Veškerá nastavení pro jednotlivé referenční body jsou na obrázku 44, celkový pohled na model v části Interaction je na obrázku 43.

- **Load (zatížení)**

Vytvořený referenční bod **RP-1** jsem zde vetknul pomocí funkce **Create Boundary Condition – Initial Step**; kategorie **Mechanical**; typ **Displacement/Rotation**. Zakázaný posuv i natočení ve všech směrech.

Veškeré simulace jsem prováděl pro sílu o velikosti 520 N, což je síla vypočítaná přes přepákování v kapitole 4.1.1.

Vytvořený referenční bod **RP-2** jsem zavedl jako působíště poloviny řadicí síly, neboť působíště druhé poloviny řadicí síly jsem definoval v bodě **RP-3**. Vše jsem provedl funkcí **Create Load – Step-1**; kategorie **Mechanical**; typ **Concentrated Force**. Následně jsem změnil souřadnicový systém jako v případě předchozích Couplingů a distribuci jsem nechal stejnosměrnou (Uniform). Obrázek 45 ukazuje výsledné zobrazení modelu po zavedení vetknutí a silového působení.

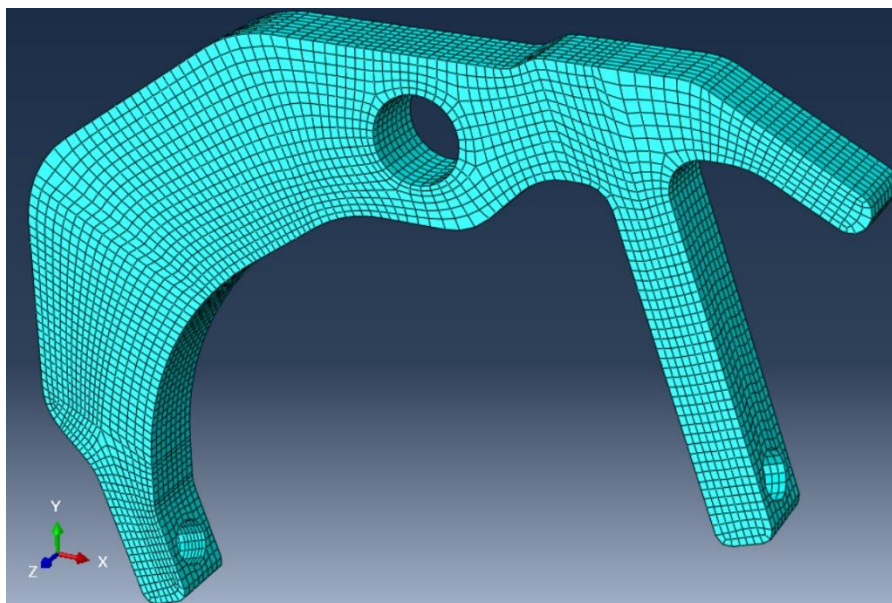


Obrázek 45 Model po zavedení zatížení [zdroj: autor]



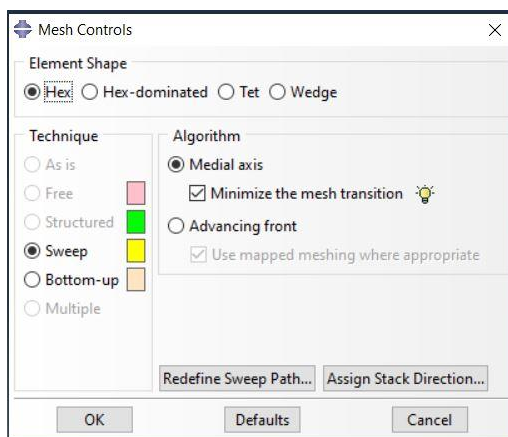
- **Mesh (síťování)**

V této části nastavování modelu se stanovuje hustota sítě elementů, které se vytvoří na součásti a poté vede z simulacím výše zobrazeným. Funkcí **Seed Part** jsem nastavil **Global Seeds** o velikosti 1,5 mm. Následně jsem **Local Seeds** pro válcovou plochu otvoru pro šroub nastavil velikosti elementů na 1,6 mm. Touto úpravou jsem docílil pohledově hezčí sítě elementů na součásti – ukazuje obrázek 46.



Obrázek 46 Síťování řadicí vidličky [zdroj: autor]

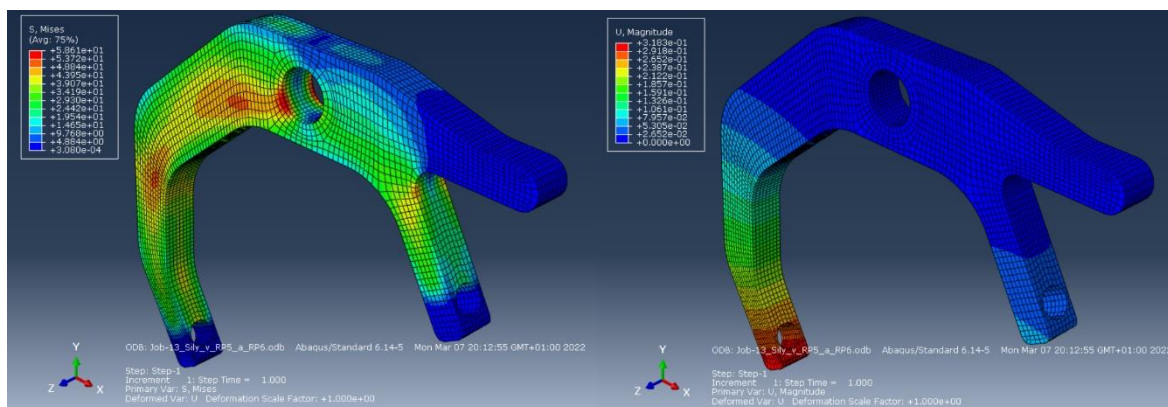
Funkcí **Assign Mesh Controls** jsem definoval tvary elementů způsobem uvedeným na obrázku 47, celkově se tak vytvořilo 16 968 elementů.



Obrázek 47 Nastavení elementů síťování [zdroj: autor]

## 8.2 Varianta řadicí vidličky se dvěma řadicími kameny

V následujících kapitolách ukážu výsledky jednotlivých simulací, přičemž po sobě budou následovat tak, jak jsem postupně upravoval tvar vidličky. Na následujícím obrázku je vidět napětí a posuv ve všech směrech, kde nejvýraznější je samozřejmě posuv v axiálním směru hřídele – směr řazení či vyřazení.

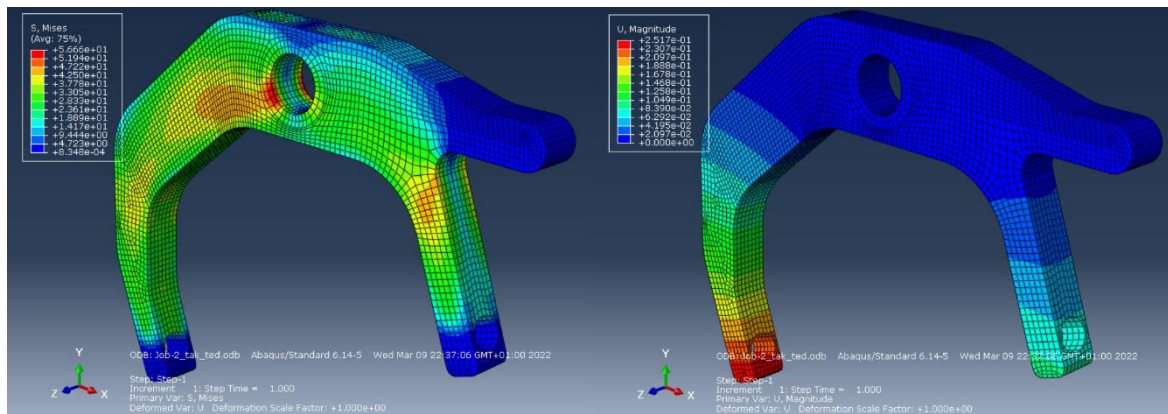


Obrázek 48 Výsledky MKP pro řadicí vidličku se dvěma řadicími kameny [zdroj: autor]

Simulace ukázala (obrázek 48), že navržená vidlička je nevyhovující. Vlevo je zobrazený napětí, které je dosáhne maximální hodnoty 58,61 MPa – což je v pořádku. Nicméně vpravo je vidět posuv, který je na levém rameni řadicí vidličky roven až 318,3  $\mu\text{m}$ , na pravém rameni je posuv roven 60  $\mu\text{m}$  – takto vysoký posuv na levém rameni je příliš vysoký, zároveň takto vysoký rozdíl posuvů levého a pravého ramene vidličky by způsobil klopení řadicí objímky, což je také nežádoucí.

### 8.3 Druhá varianta řadicí vidličky

Musel jsem tedy upravit model řadicí vidličky, kdy jsem změnil natočení osy řadicích kamenů vůči horizontální ose z původních 30° na 20°, přičemž i přesto nedojde ke kolizi s jinou komponentou převodovky. Výsledky této úpravy jsou vidět na následujícím obrázku.



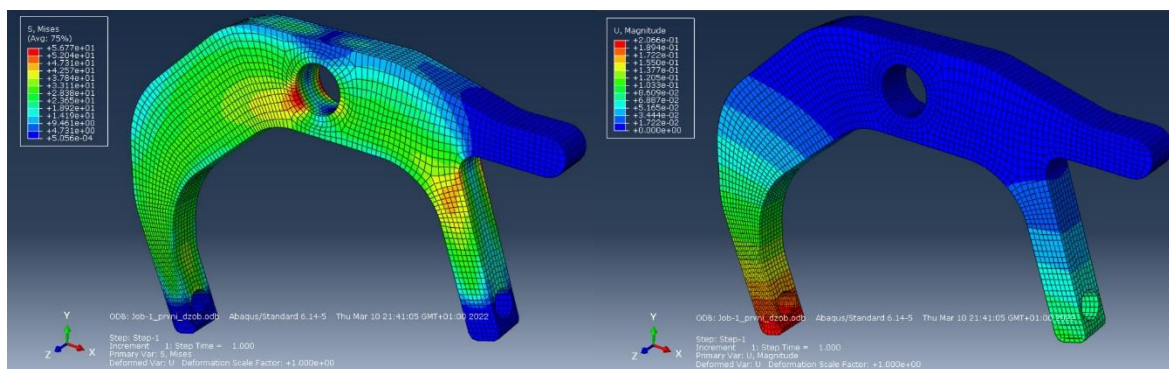
Obrázek 49 Výsledky MKP pro druhou variantu řadicí vidličky [zdroj: autor]

Došlo ke zlepšení, kdy se posuv na levém rameni zmenšil na hodnotu 251,7  $\mu\text{m}$  a na pravém rameni zvýšil na 83,9  $\mu\text{m}$ . Posuv na levém rameni je ale stále příliš vysoký. Maximální hodnota napětí se snížila na 56,66 MPa.

### 8.4 Další úpravy řadicí vidličky

Úprava konstrukce řadicí vidličky popsaná v předchozí kapitole nestačila, a tak jsem musel provést další konstrukční úpravy. Přikládám zde výsledky těchto úprav a popíšu je.

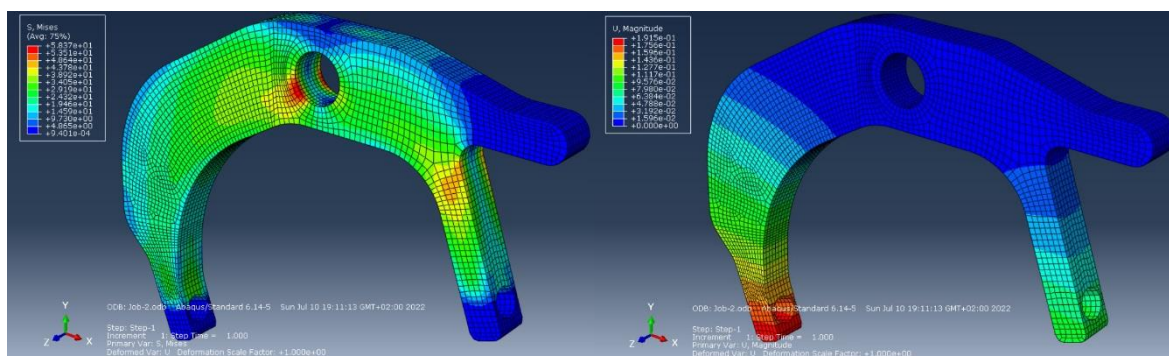




Obrázek 50 Výsledky MKP pro třetí variantu řadicí vidličky [zdroj: autor]

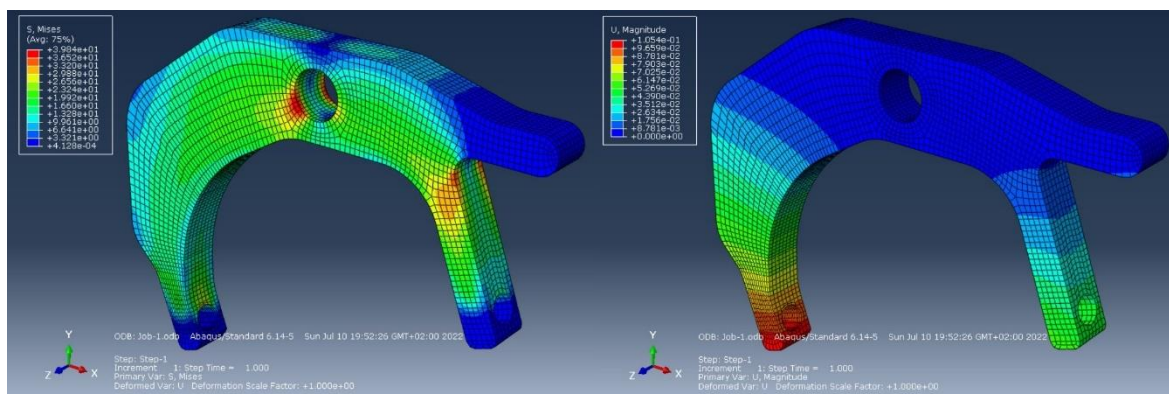
Na obrázku 50 jsou vidět výsledky simulace po zesílení levého ramene, kdy se opět zmenšil posuv na hodnotu 206,6  $\mu\text{m}$  a na pravém rameni se zvětšil na 103,3  $\mu\text{m}$ . Maximální napětí je vyšší, konkrétně 56,77 MPa.

Levé rameno jsem ještě více zesílil, což vedlo k výsledkům zobrazeným na obrázku 51. Posuv levého ramene se zmenšil na 191,5  $\mu\text{m}$  a posuv pravého ramene se zvětšil na 111,7  $\mu\text{m}$ .



Obrázek 51 Výsledky MKP pro čtvrtou variantu řadicí vidličky [zdroj: autor]

Vzhledem k tomu, že upravování tvaru vidličky nevede k tak dobrým výsledkům jak potřebuji, rozhodl jsem se udělat zásadní změnu. Pro veškeré dosavadní konstrukční návrhy jsem jako polotovary uvažoval plech o tloušťce 10 mm. Obrázkem 52 představuji výsledky simulace, kde se jedná o výpalek z plechu o tloušťce 12 mm s navíc ještě silnějším levým ramenem v jeho horní části.



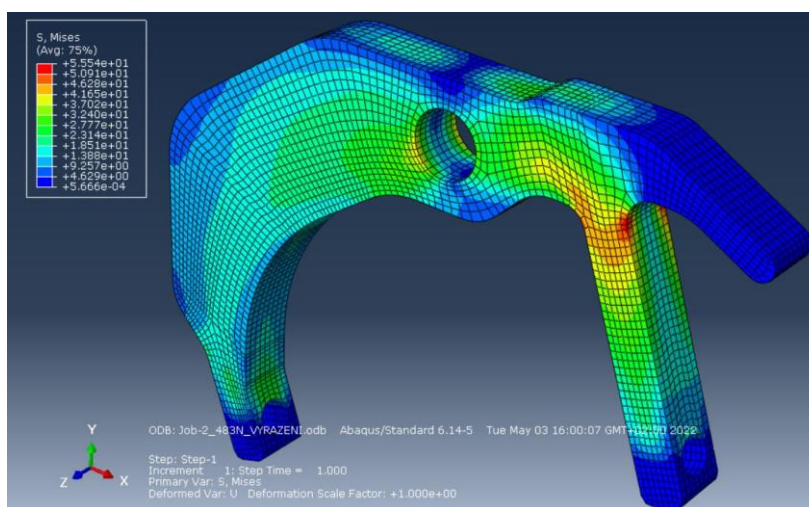
Obrázek 52 Výsledky MKP pro pátou variantu řadicí vidličky [zdroj: autor]



Z obrázku 52 lze odečíst znatelné zlepšení. Klesla maximální hodnota napětí na 39,84 MPa, ale především se snížil posuv na levém rameni až na 105,4  $\mu\text{m}$ . Posuv pravého ramene se snížil na 52,7  $\mu\text{m}$ . Velikost posuvu na levém rameni je konečně akceptovatelný. Nyní je potřeba zajistit zhruba stejný posuv i na rameni pravém.

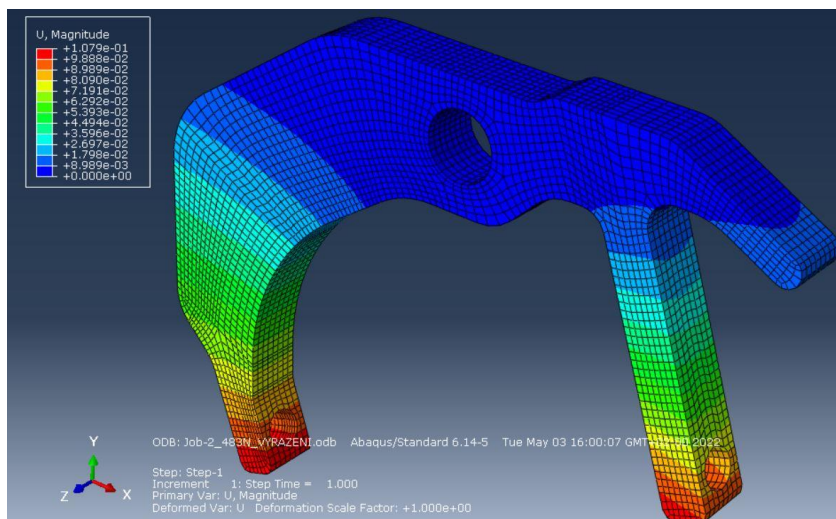
### 8.5 Konečná verze řadicí vidličky

Po použití tlustšího plechu jsem musel provést tvarové úpravy pravé strany řadicí vidličky tak, abych dosáhl zhruba stejných posuvů na obou ramenech. Předchozí model jsem postupně upravoval a kontroloval pomocí příslušných simulací. K finální podobě tvaru řadicí vidličky jsem postupoval tak, že jsem se snažil především o úpravu pravé části vidličky pro docílení poddajnějšího ramene vpravo. Levé rameno zůstalo stejné jako v předchozím případě. Na obrázku 53 jsou výsledky simulace této finální podoby řadicí vidličky.



Obrázek 53 Výsledek MKP finální verze vidličky zobrazující napětí [zdroj: autor]

Je vidět, že hodnota maximálního napětí je rovna 55,54 MPa. Element s touto hodnotou napětí už není v otvoru pro šroub, ale na pravém ramenu vidličky. Obrázek 54 ukazuje, že se hodnoty maximálních posuvů levého a pravého ramene téměř rovnají a vidlička je tak vyhovující. Následně jsem pro tento tvar vidličky vytvořil výrobní výkres – příloha číslo 3a.



Obrázek 54 Výsledek MKP finální verze vidličky zobrazující posuv [zdroj: autor]



Hodnota maximálního posuvu se také přesunula na pravé rameno a je rovna 107,9  $\mu\text{m}$ . Veškeré hodnoty napětí a posuvů jsem odečítal pomocí sondy z daného elementu součásti či z příslušné tabulky.

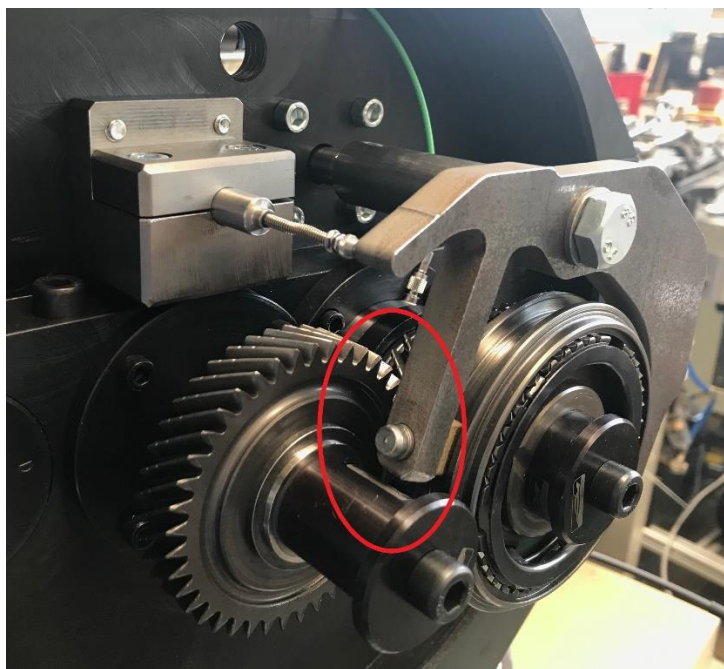
## 9 Současný stav

V této kapitole ukážu stanoviště s již namontovanými komponentami, pro které jsem musel vytvořit výrobní výkresy.



Obrázek 55 Fotografie současného stavu zkušebního stanoviště uvnitř převodovky [zdroj: autor]

Na následujícím obrázku 56 je zvýrazněno kritické místo, co se týče prostorového omezení.



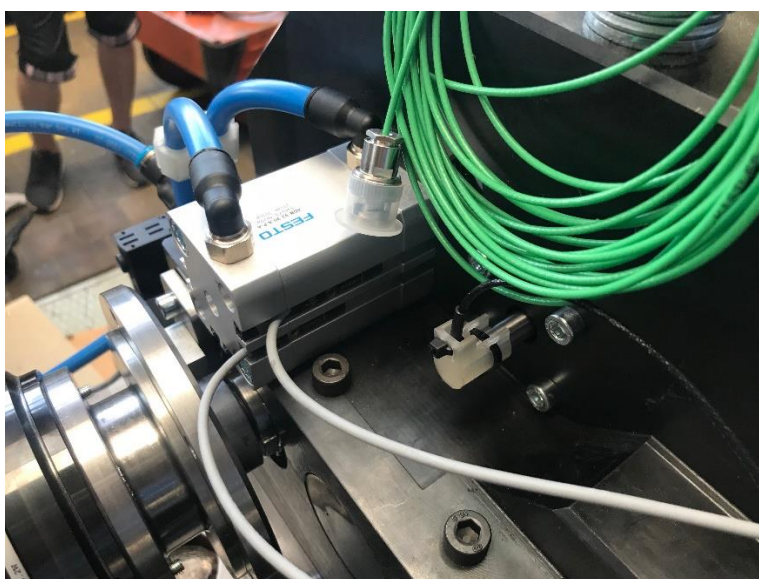
Obrázek 56 Vyznačené místo prostorového omezení řadicí vidličky [zdroj: autor]



Navržená vidlička je funkční a uvažovaná vůle mezi ozubeným kolem na předlohové hřídeli dostatečná. I přesto jsme společně s mým vedoucím provedli její decentní úpravu, kdy jsme pomocí brusky zaoblili konce jejího levého ramene, tedy v místě, kde hrozí její kolize s ozubeným kolem.

Zároveň při výrobě řadicí vidličky vodním paprskem došlo k nepatrnému podřezání. Bohužel jsem si toto při návrzích neuvědomil, nicméně na funkci vidličky to nemá prakticky žádný vliv.

Obrázek 57 ukazuje reálnou situaci vně převodovky, kde je vidět, že zvolený pneumatický válec nekoliduje se setrvačником a že kabely vedoucí ze snímače polohy vidličky jsou chráněné díky navržené plastové krytce. Zároveň jsou vidět magnetické koncové snímače polohy zasunuté v drážce na pneumatickém válci.



*Obrázek 57 Fotografie současného stavu zkušebního stanoviště vně převodovky [zdroj: autor]*



## Závěr

Na počátku mé práce jsem představil převodovku MQ 200, jejíž komponenty jsou použité v experimentálním převodovce. Zároveň jsem představil její systém řazení a systém synchronizace. Následně popisuju původní zkušební stanoviště a jeho nedostatky pro zkoušení synchronizačních spojek. Dále popíšu stanoviště s experimentální převodovkou pro zkoušení synchronizačních spojek, která ovšem neměla dořešené otázky odměřování polohy řadicí vidličky a jejího konstrukčního provedení, což bylo podnětem pro vznik mé bakalářské práce.

Na základě provedené rešerše představené v mé teoretické části práce, jsem vybral vhodný akční člen a to kompaktní pneumatický válec ADN-32-30-A-P-A od společnosti FESTO. Původní navržený akční člen byl také pneumatický válec, nicméně jeho zdvih byl zbytečně velký, zabíral by více prostoru vně převodovky.

Zároveň jsem díky rešerši snímačů polohy vybral vhodný snímač polohy typu LVDT od společnosti Solartron Metrology – OP12.5.

V obou případech jsem se musel řídit okrajovými podmínkami, které byly v teoretické části také představeny. Pneumatický válec i snímač polohy se montuje do již vyrobeného víka převodovky, které má v sobě montážní otvory.

Praktická část mé práce obsahuje konstrukční návrh řadicí vidličky, kde jsem představil několik variant prototypů. Pro připojení řadicí vidličky k pístnici pneumatického válce jsem navrhnul konstrukční provedení spojovací součásti. Představil jsem varianty umístění snímače polohy řadicí vidličky, včetně konstrukčního návrhu jeho držáku. Nakonec jsem navrhnul provedení plastové krytky, která bude poskytovat ochranu kabelům vedoucím ze snímače polohy řadicí vidličky.

Konec praktické části mé práce představuje tuhostní analýza navržené řadicí vidličky v programu ABAQUS využívající metodu konečných prvků. Díky těmto výsledkům jsem následně provedl optimalizaci konstrukčního provedení této řadicí vidličky, což vedlo k její finální podobě.

Zvolil jsem provedení řadicí vidličky se dvěma řadicími kameny s ocelovým jádrem a bronzovou vrstvou na povrchu. Díky tomu se na stanovišti může zkoumat jak chování prototypů synchronizačních spojek, včetně použití kontaktního dílu řadicí vidličky. Připojená bude pomocí šroubu ke spojovacímu válečku, který bude našroubovaný na pístnici pneumatického válce. Snímač polohy bude umístěn v představeném držáku uvnitř převodovky, přičemž do budoucna se jeho umístění může změnit. Mezi držák snímače a víko převodovky se vloží papírové těsnění, mezi čelo pneumatického válce a víko převodovky se vloží také papírové těsnění. Výstupem všech konstrukčních návrhů je výrobní dokumentace, kterou společně s katalogy snímače a pneumatického válce přikládám jako přílohu.



Poslední kapitola před samotným závěrem obsahuje fotografie současného stavu celého stanoviště včetně mnou navržených komponent. Zároveň jsem byl svědkem, že stanoviště funguje jak má a provedlo se na něm již 100 řadicích cyklů.



## Seznam použité literatury

- [1] VLK, František. *Převody motorových vozidel*. Brno: Prof. Ing. František Vlk, DrSc., nakladatelství a vydavatelství, 2006. ISBN 80-239-6463-1.
- [2] Pilový diagram Volkswagen Golf 1.9 TDI. In: *AUTA 5P* [online]. [cit. 2022-07-11]. Dostupné z: [https://auta5p.eu/zkusenosti/vw\\_golf\\_2/golf\\_05.php](https://auta5p.eu/zkusenosti/vw_golf_2/golf_05.php)
- [3] HOBLÍK, Jan. *Zkušební stanoviště pro testování synchronizačních spojek*. Praha, 2019. Diplomová práce. ČVUT, Fakulta strojní. Vedoucí práce Ing. Jiří Pakosta, Ph.D.
- [4] KADERA, Vladimír. *Škoda už vyrobila 8 milionů převodovek MQ200. Každý den přibude 1900 dalších*. ŠKODA AUTO a.s. [online]. [cit. 2022-07-11]. Dostupné z: <https://www.autorevue.cz/skoda-uz-vyrobila-8-milionu-prevodovek-mq200-kazdy-den-pribude-1900-dalsich>
- [5] ACHTENOVÁ, Gabriela. *Převodná ústrojí motorových vozidel 1*. Praha, 2012. Poklady k přednáškám PUM. ČVUT, Fakulta strojní.
- [6] HANKA, Dalibor. *Konstrukce řadicí vidličky*. Praha, 2019. Diplomová práce. ČVUT, Fakulta strojní. Vedoucí práce Doc. Dr. Ing. Gabriela Achtenová.
- [7] Manual gearbox 02T: Design and Function. *Volkspage.net* [online]. Wolfsburg: online [cit. 2022-07-11]. Dostupné z: [http://www.volkspage.net/technik/ssp/ssp/SSP\\_237\\_d1.pdf](http://www.volkspage.net/technik/ssp/ssp/SSP_237_d1.pdf)
- [8] SCHWARZ, Jiří. *Automobily Škoda Fabia II: konstrukce, technika, údržba*. Praha: Grada, 2008. ISBN 978-80-247-2155-2.
- [9] LECHNER, Gisbert a Harald NAUNHEIMER. *Automotive Transmissions*. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1999. ISBN 3-540-65903-X.
- [10] WAZIR, Umesh. Manual gearbox synchronizers - an overview. *International Journal of Engineering trends in Engineering and Development*. Bidholi: University Of Petroleum & Energy Studie, 2013. ISSN 2249-6149.
- [11] JÁGR, Jan. *Vliv technologie a konceptu upnutí na kvalitu ozubených dílů převodovky MQ200*. Praha, 2017. Diplomová práce. ČVUT, Fakulta strojní. Vedoucí práce Ing. BcA. Jan Podaný, Ph.D.
- [12] PAKOSTA, Jiří a Gabriela ACHTENOVÁ. *Návrh setrvačnickového zkušebního stavu pro zkoušky řazení převodovek*. Praha: ČVUT, Fakulta strojní, odborný článek, 2015.
- [13] BOUS, Marek. *Měření pohybu řadicí hřídele převodovky*. Praha, 2017. Bakalářská práce. ČVUT, Fakulta strojní. Vedoucí práce Ing. Jiří Pakosta, Ph.D.
- [14] ANDRLÍK, Vladimír. *Tekutinnové mechanismy a pohony: Část první - Hydraulika*. Praha, 2014. Podklady k přednáškám TMEP. ČVUT, Fakulta strojní.



- [15] RONQUILLO, Romina. *Understanding Pneumatic and Hydraulic Lifts* [online]. [cit. 2022-07-11]. Dostupné z: <https://www.thomasnet.com/articles/materials-handling/understanding-pneumatic-and-hydraulic-lifts/>
- [16] *Kompaktní válec HMI zdvih 160mm HMI-060704093448489* [online]. In: . [cit. 2022-07-11]. Dostupné z: <https://www.kovaz.cz/kompaktni-valec-hmi-zdvih-160mm-hmi-060704093448489-908909/>
- [17] Kompaktní válec: ADN-32-30. In: *FESTO* [online]. [cit. 2022-07-11]. Dostupné z: [https://www.festo.com/cz/cs/a/536273/?q=ADN-32-30~:festoSortOrderScored&siteUid=fox\\_cz&siteName=Festo+CZ](https://www.festo.com/cz/cs/a/536273/?q=ADN-32-30~:festoSortOrderScored&siteUid=fox_cz&siteName=Festo+CZ)
- [18] ANDRLÍK, Vladimír. *Tekutinové mechanismy a pohony: Část druhá - Pneumatika*. Praha, 2014. Podklady k přednáškám TMEP. ČVUT, Fakulta strojní.
- [19] MAYER, Daniel a Bohuš ULRYCH. *Elektromagnetické aktuátory*. Praha: BEN, 2008. ISBN 978-80-7300-216-9.
- [20] NEBORÁK, Ivo a Václav SLÁDEČEK. *Elektrické pohony: studijní materiál pro kombinované a distanční studium oboru Elektroenergetika*. Ostrava, 2017. VŠB, Fakulta elektrotechniky a informatiky.
- [21] ENČÍK, Josef a Jaromír VOLF. *Technická měření*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003. ISBN 80-01-02138-6.].
- [22] KOPAL, Miroslav. Odměřovací systémy a jejich vliv na přesnost. *MM Průmyslové spektrum* [online]. [cit. 2022-07-11]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/odmerovaci-systemy-a-jejich-vliv-na-presnost>
- [23] Potenciometrický snímač polohy. In: *MEGATRON* [online]. [cit. 2022-07-11]. Dostupné z: <https://www.megatron.cz/cr18>
- [24] Potenciometrické snímače. In: *MEGATRON* [online]. [cit. 2022-07-11]. Dostupné z: <https://www.megatron.cz/kategorie/senzorika/linearni-snimace-polohy/potenciometrickesnimace>
- [25] *LVDT Basics* [online]. In: . [cit. 2022-07-11]. Dostupné z: <http://iprinceps.egloos.com/1404109>
- [26] MOUČKA, František. Použití lineárních induktivních měříttek na strojích. *MM Průmyslové spektrum* [online]. [cit. 2022-07-11]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/pouziti-linearnich-induktivnich-meritek-na-strojich>
- [27] VOJÁČEK, Antonín. Bezkontaktní kapacitní snímače přiblížení - obecný popis. *Automatizace.hw.cz - rady a poslední novinky z oboru* [online]. [cit. 2022-07-11]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/komponenty-mereni-a-regulace/bezkontaktni-kapacitni-senzory-priblizeni-obecny-popis.html>
- [28] Přibližovací čidlo: SMT-8M-A-PS-24V-E-0,3-M8D. In: *FESTO* [online]. [cit. 2022-07-11]. Dostupné z: <https://www.festo.com/cz/cs/a/574334/>





- [29] VLČEK, Jan. Magnetické a optické snímače polohy. *MM Průmyslové spektrum* [online]. [cit. 2022-07-11]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/magneticke-a-opticke-snimace-polohy>
- [30] Magnetické snímače polohy. In: *FOKUS industry* [online]. [cit. 2022-07-11]. Dostupné z: <https://fokusindustry.cz/i/?Pr%C5%AFmyslov%C3%A9+sn%C3%ADma%C4%8De/magnetick%C3%A9+sn%C3%ADma%C4%8De+polohy>
- [31] VOJÁČEK, Antonín. Princip laserových snímačů vzdálenosti s triangulačním principem měření. *Automatizace.hw.cz - rady a poslední novinky z oboru* [online]. [cit. 2022-07-11]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/mereni-a-regulace/princip-funkce-laserovych-snimacu-vzdalenosti-s-triangulacnim-principem-mereni.html?mini=2022-07>
- [32] ŠPANIEL, Miroslav a Zdeněk HORÁK. *Úvod to metody konečných prvků*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2011.
- [33] ČSN 41 1523. *Materiálový list: Ocel 11 523*. 1994.



## Seznam obrázků

Obrázek 1 Pilový diagram automobilu VW GOLF IV s motorem 1.9 TDI 66 kW [2] .....	10
Obrázek 2 Řez převodovkou MQ 200 v pětirychlostním provedení [7] .....	11
Obrázek 3 Vnější řadicí mechanismus převodovky MQ 200 v 5-ti rychlostmi [6].....	12
Obrázek 4 Vnitřní řadicí mechanismus převodovky MQ 200 s 5-ti rychlostmi [6].....	13
Obrázek 5 Borg-Warner synchronizační spojka 1. a 2. rychlosti [7] .....	14
Obrázek 6 Vstupní hřídel převodovky MQ 200 [7] .....	15
Obrázek 7 Rozpad synchronizačního systému Borg-Warner [1].....	16
Obrázek 8 Fáze procesu řazení Borg-Warner [9] .....	17
Obrázek 9 Původní zkušební stanoviště [13] .....	18
Obrázek 10 Schéma finálního návrhu zkušebnímu stavu Ing. Jana Hoblíka [3] .....	20
Obrázek 11 Vyznačené vzdálenosti ramen prvního přepákování [zdroj: autor] .....	21
Obrázek 12 Zjednodušené kinematické schéma prvního přepákování [zdroj: autor] .....	21
Obrázek 13 Zjednodušené kinematické schéma celkového přepákování [zdroj: autor] .....	22
Obrázek 14 Posuv řadicí objímky ze své polohy neutrálu [1] .....	22
Obrázek 15 Připravené montážní otvory pro akční člen (pohled z venku a zevnitř) [zdroj: autor] .....	23
Obrázek 16 Dvojitý hydraulický přímočarý motor Parker s jednostrannou pístnicí [16] .....	24
Obrázek 17 Konstrukční řešení přímočarých motorů [14].....	24
Obrázek 18 Řez dvojitým pneumatickým válcem FESTO s jednostrannou pístnicí [17] .....	25
Obrázek 19 Pneumatický válec ADN-32-30-A-P-A [17].....	27
Obrázek 20 Montážní otvory pro snímač polohy (pohled z venku vlevo, pohled zevnitř vpravo) [zdroj: autor] .....	28
Obrázek 21 Potenciometrický snímač polohy s vratnou pružinou a hrotem [23] .....	29
Obrázek 22 LVDT snímač [21] .....	30
Obrázek 23 Princip odměřování kapacitního snímače typu deskového diferenciálního s proměnnou mezerou dielektrika [27].....	31
Obrázek 24 Koncový magnetický snímač polohy používaný u pneumatických válců od firmy FESTO [28] 31	
Obrázek 25 Princip interferometru [21] .....	32
Obrázek 26 Snímač LVDT OP12.5 s tlačnou pružinkou a kuličkovým koncem [zdroj: autor].....	34
Obrázek 27 Původní provedení řadicí vidličky s vyznačeným prostorovým omezením [zdroj: autor] .....	36
Obrázek 28 První konstrukční návrh řadicí vidličky [zdroj: autor] .....	36
Obrázek 29 Starší verze řadicích kamenů z převodovky MQ 200 [zdroj: autor].....	37
Obrázek 30 Tříbodový styk pomocí mosazného půlměsíce vlevo, pomocí profilovaného plechu vpravo [6] .....	38
Obrázek 31 Druhý návrh řadicí vidličky – varianta se dvěma řadicími kameny [zdroj: autor].....	38
Obrázek 32 Třetí návrh řadicí vidličky – varianta se třemi řadicími kameny [zdroj: autor] .....	39
Obrázek 33 Spojovací váleček a zjednodušené schéma jeho okrajových podmínek [zdroj: autor].....	39
Obrázek 34 Varianta umístění akčního členu a snímače polohy [zdroj: autor] .....	40
Obrázek 35 Provedení držáku snímače polohy [zdroj: autor].....	41
Obrázek 36 Varianta umístění držáku snímače uvnitř převodovky, odměřování přímo na řadicí vidličce [zdroj: autor] .....	41
Obrázek 37 Varianta umístění držáku snímače vně převodovky, odměřování na speciální součásti (žlutá barva) [zdroj: autor].....	41
Obrázek 38 Plastová krytka kabelů snímače polohy [zdroj: autor].....	42
Obrázek 39 Reálná podoba krytky a upevnění ke snímači polohy [zdroj: autor] .....	42
Obrázek 40 Rozdělení řadicí vidličky na menší díly pomocí Partition Cell [zdroj: autor] .....	43
Obrázek 41 Řadicí vidlička po přiřazení materiálu [zdroj: autor].....	44
Obrázek 42 Nastavení kroku Step-1 [zdroj: autor] .....	45
Obrázek 43 Model řadicí vidličky po nastavení části Interaction [zdroj: autor] .....	45
Obrázek 44 Detail nastavení funkcí Constraint [zdroj: autor].....	46
Obrázek 45 Model po zavedení zatížení [zdroj: autor] .....	46
Obrázek 46 Síťování řadicí vidličky [zdroj: autor] .....	47



Obrázek 47 Nastavení elementů síťování [zdroj: autor] .....	47
Obrázek 48 Výsledky MKP pro řadicí vidličku se dvěma řadicími kameny [zdroj: autor] .....	48
Obrázek 49 Výsledky MKP pro druhou variantu řadicí vidličky [zdroj: autor] .....	48
Obrázek 50 Výsledky MKP pro třetí variantu řadicí vidličky [zdroj: autor] .....	49
Obrázek 51 Výsledky MKP pro čtvrtou variantu řadicí vidličky [zdroj: autor] .....	49
Obrázek 52 Výsledky MKP pro pátou variantu řadicí vidličky [zdroj: autor].....	49
Obrázek 53 Výsledek MKP finální verze vidličky zobrazující napětí [zdroj: autor].....	50
Obrázek 54 Výsledek MKP finální verze vidličky zobrazující posuv [zdroj: autor] .....	50
Obrázek 55 Fotografie současného stavu zkušebního stanoviště uvnitř převodovky [zdroj: autor] .....	51
Obrázek 56 Vyznačené místo prostorového omezení řadicí vidličky [zdroj: autor] .....	51
Obrázek 57 Fotografie současného stavu zkušebního stanoviště vně převodovky [zdroj: autor].....	52

## Seznam použitých veličin a symbolů

Veličina	Jednotka	Popis
F1	[N]	síla vyvolaná řadicím robotem na rameno převodní páky
F2	[N]	síla vyvolaná řadicím palcem na řadicí desku
F3	[N]	síla vyvolaná řadicím kamenem na řadicí objímku
L1	[mm]	vzdálenost od uložení pryžového uložení k ose řadicí hřídele
L2	[mm]	vzdálenost od osy hřídele ke konci řadicího palce
L3	[mm]	vzdálenost od řadicího palce k místu připojení řadicí vidličky
L4	[mm]	vzdálenost od místa připojení řadicí vidličky k řadicímu kamenu

## Seznam příloh

1. Katalog pneumatického válce FESTO ADN-32-30-A-P-A
2. Katalog snímače polohy LVDT OP12.5
3. Výrobní dokumentace
  - a. Řadicí vidlička
  - b. Držák snímače polohy
  - c. Spojovací váleček