

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B 2341 Strojírenství
Studijní obor: Diagnostika a servis silničních vozidel

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Možnosti diagnostického měření hluku a vibrací u automobilových
převodovek

Autor: **Vítězslav Ryant**
Vedoucí práce: **Doc. Ing. Josef Formánek, Ph.D.**

Akademický rok 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Vítězslav RYANT**
Osobní číslo: **S14B0241K**
Studijní program: **B2341 Strojírenství**
Studijní obor: **Diagnostika a servis silničních vozidel**
Název tématu: **Možnosti diagnostického měření hluku a vibrací u automobilových převodovek**
Zadávací katedra: **Katedra konstruování strojů**

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

Základní požadavky:

Cílem je provést rozbor technických a diagnostických možností měření a měřících metod v oblasti hluku a vibrací u automobilových převodovek. Dále provést základní specifikaci požadavků s ohledem na funkčnost a diagnostikovatelnost technických parametrů. Výsledným řešením je zhodnocení technických a diagnostických parametrů pro bezpečný a bezporuchový provoz převodového ústrojí.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova bakalářské práce:

1. Vypracování rešerše včetně technické specifikace požadavků.
2. Vypracování rozboru technických parametrů.
3. Vypracování rozboru diagnostikovatelných parametrů.
4. Zhodnocení a určení parametrů.

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah pracovní zprávy: **30-40 stran A4**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

MOTEJL, V., HOREJŠ, K. *Učebnice pro řidiče a opraváře automobilu.* Brno: Littera, 2004

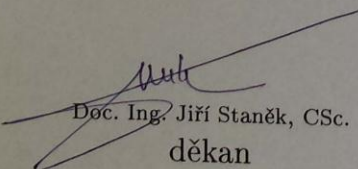
VLK, F. *Zkoušení a diagnostika motorových vozidel.* Brno: Vlk, 2005

JAN, Z., ŽDÁNSKÝ, B., ČUPERA, J. *Automobily II Převody.* Avid s.r.o, Brno, 2007

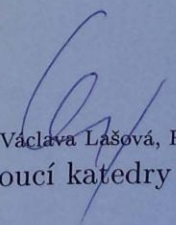
Podkladový materiál, výkresy, prospekty, katalogy apod. poskytnuté zadavatelem úkolu.

Vedoucí bakalářské práce: **Doc. Ing. Josef Formánek, Ph.D.**
Katedra konstruování strojů
Konzultant bakalářské práce: **Doc. Ing. Josef Formánek, Ph.D.**
Katedra konstruování strojů

Datum zadání bakalářské práce: **22. září 2014**
Termín odevzdání bakalářské práce: **26. června 2015**


Doc. Ing. Jiří Staněk, CSc.
děkan




Doc. Ing. Václava Lašová, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 22. září 2014

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou/diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou/diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské/diplomové práce.

V Plzni dne:

.....

podpis autora

Poděkování

Děkuji tímto konzultantovi a zároveň vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Josefu Formánkovi , Ph.D. za neocenitelné rady a jeho čas strávený nad konzultacemi této práce.

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Ryant	Jméno Vítězslav	
STUDIJNÍ OBOR	B2341 – Diagnostika a servis silničních vozidel		
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Doc. Ing. Formánek, Ph.D.	Jméno Josef	
PRACOVISŤE	ZČU - FST - KKS		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Možnosti diagnostického měření hluku a vibrací u automobilových převodovek		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KKS	ROK ODEVZD.	2015
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	76	TEXTOVÁ ČÁST	39	GRAFICKÁ ČÁST	37
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

<p style="text-align: center;">STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</p> <p>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p>	<p>Tato bakalářská práce se zabývá možnostmi měření hluku a vibrací převodovek osobních automobilů. Náplní práce je rozbor převodovek, jejich částí a jak převodovky fungují. Druhá část se zabývá diagnostickými metodami měření hluku, vibrací a přehledem možných závad převodovek. Dále v druhé části je měřená hlučnost automobilové převodovky a její následné rozebrání a popis poškození.</p>
<p style="text-align: center;">KLÍČOVÁ SLOVA</p> <p style="text-align: center;">ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</p>	<p>Osobní automobil, automobilová převodovka, hluk, vibrace, poškození převodovky,</p>

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Surname Ryant	Name Vítězslav	
FIELD OF STUDY	B2341 – Road Vehicles Diagnostics and Service		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Doc. Ing. Formánek, Ph.D.	Name Josef	
INSTITUTION	ZČU - FST - KKS		
TYPE OF WORK	DIPLÓMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Options of the diagnostic measurement of noise and vibration of automotive transmissions		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machine Design	SUBMITTED IN	2015
----------------	------------------------	-------------------	----------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	76	TEXT PART	39	GRAPHICAL PART	37
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	This thesis is concerned with options measurement of noise and vibration of automotive transmissions. The scope of work is the analysis of gearboxes, parts of gearboxes and how they work. The second part deals with diagnostic methods for measuring noise, vibration, and an overview of possible defects transmissions. Furthermore, in the second part of the measured noise automotive gearboxes and its subsequent disassembly and damage description.
KEY WORDS	Passenger car, automobile transmission, noise, vibration, transmission damage.

Obsah

Seznam použitých obrázků.....	10
Úvod.....	12
1 Úvod do automobilových převodovek	13
1.1 Historie automobilových převodovek	13
1.2 Základní pojmy.....	14
1.2.1 Převodový poměr [i].....	14
1.2.2 Točivý moment	15
1.2.3 Výkon	16
1.2.4 Synchronizace	17
1.2.5 Vstupní člen.....	17
1.2.6 Výstupní člen.....	17
1.3 Účel automobilových převodovek.....	18
1.3.1 Změna točivého momentu	18
1.3.2 Změna otáček	19
1.3.3 Dlouhodobé přerušení točivého momentu na hnací kola	19
1.3.4 Zpětné otáčení hnacích kol.....	20
1.4 Základní rozdělení automobilových převodovek	21
1.4.1 Nejzákladnější rozdělení	21
1.4.2 Ostatní základní typy převodovek.....	29
2 Úvod do měření	31
2.1 Účel měření automobilových převodovek	31
2.2 Měření hluku	31
2.2.1 Co je to zvuk	31
2.2.2 Co je to hluk	32
2.2.3 Měřicí přístroj.....	32
2.3 Měření vibrací	35
2.3.1 Co jsou to Vibrace.....	35
2.3.2 Snímače vibrací	36

3	Rozbor diagnostikovatelných parametrů automobilových převodovek	40
3.1	Rozhodnutí o hlučnosti a vibrací automobilové převodovky	40
3.1.1	Vyhodnocení možnosti poškození převodovky	40
4	Praktická část – měření	42
4.1	Měření hluku automobilové převodovky	42
4.1.1	Popis a postup měření	43
4.1.3	Měření hluku u porovnávacího vozidla.....	46
4.2	Měření Vibrací	52
4.2.1	Ozubená soukolí	52
4.2.2	Ukázka měření vibrací na automobilové převodovce	54
4.2.3	Možné poruchy ozubených kol a soukolí.....	56
4.2.4	Ložiska	57
4.2.5	Ukázka měření valivého ložiska	60
4.2.6	Možné poruchy ložisek	61
4.3	Odhalení hluku a vibrací vnímáním	67
	Závěr.....	69
	Seznam použitých zdrojů	71
	Příloha č. 1 – Fotografie rozebrané automobilové převodovky	73
	Příloha č. 2 – Dílenské nástroje na měření hluku a vibrací.....	76

Seznam použitých obrázků

Obr. 1.1: Schéma vzniku točivého momentu [14]	16
Obr. 1.2: Popis třístupňové tříhřídelové manuální převodovky[2]	22
Obr. 1.3: Konstrukční schéma převodovky 02K [4]	24
Obr. 1.4: Klasická synchronizace [2]	25
Obr. 1.5: Cloněná synchronizace[2].....	26
Obr. 1.6: Synchronizace Borg-Warnerne klidová poloha[2]	27
Obr. 1.7: Synchronizace Borg-Warner poloha při synchronizaci[2].....	28
Obr. 1.8: Synchronizace Borg-Warner poloha při řazení[2]	28
Obr. 2.1: Schéma mikrofonu[3]	33
Obr. 2.2: Zvukoměr 1 [1].....	33
Obr. 2.3: Zvukoměr 2 [1]	34
Obr. 2.4: Druhy kmitání[7]	36
Obr. 2.5: Zjednodušený snímač vibrací[7].....	37
Obr. 2.6: Závislost způsobu uchycení snímačů[7]	39
Obr. 4.1: Zdvihnutý zkoumaný automobil	44
Obr. 4.2: Pohled na již vyměněnou převodovku	44
Obr. 4.3: Měřená převodovka po demontáži z vozu	49
Obr. 4.4: Měřená převodovka po oddělení skříní od sebe	49
Obr. 4.5: Vstupní hřídel s poškozeným valivým ložiskem na konci.....	50
Obr. 4.6: Detail poškození uložení valivého ložiska v převodové skříní.....	51
Obr. 4.7: Ukázka typického spektra vibrací [9]	53
Obr. 4.8: Měřicí stanice automobilových převodovek[6]	54
Obr. 4.9: Spektrum vibrací před výměnou[6]	55
Obr. 4.10: Spektrum vibrací po výměně[6].....	55
Obr.4.11:Obáلكovámetoda-závadyv ranémstadiu[9]	58
Obr. 4.12: Obáلكová metoda – spektru obáلكy[9]	59
Obr. 4.13: Měření vibrací valivého ložiska[6]	60
Obr. 4.14: Spálení povrchu ložiska – rozvoj trhlin 1[11].....	61
Obr. 4.15: Spálení povrchu ložiska – rozvoj trhlin 2[11].....	61
Obr. 4.16: Nesprávný tvar ložiska – výstupek [11].....	62
Obr. 4.17: Nesprávný tvar ložiska – rozdílné rádiusy [11]	62
Obr. 4.18: Tříska z obrábění v ložisku [11]	63

Obr. 4.19: Tříška z obrábění v ložisku – 100x zvětšeno [11]	63
Obr. 4.20: Degradované mazivo [11].....	64
Obr. 4.21: Degradované mazivo – valivá tělíska[11].....	64
Obr. 4.22: Vydřené oběžné dráhy[11].....	65
Obr. 4.23: Vydřené oběžné dráhy s rozvojem pittingu [11].....	65
Obr. 4.24: Řez ložiskem – počátek trhliny[11]	66
Obr. 4.25: Zkorodované ložisko[11]	66
Obr. 4.26: Dílenský stetoskop	68
Obr. 1: Demontovaná převodovka z vozidla.....	73
Obr. 2: Pohled na část převodové skříně.....	73
Obr. 3: Pohled do ústrojí převodovky	74
Obr. 4: Demontované hřídele z obuzenými koly a zubovými spojkami	74
Obr. 5: Detail zubové spojky.....	75
Obr. 6: Pohled na poškozené valivé ložisko	75
Obr. 7: Použití šroubováku jako vedení hluku a vibrací	76
Obr. 8: Použití hliníkové tyčky na měření hluku a vibrací	77
Obr. 9: Hliníková tyčka	77

Úvod

Bakalářská práce, která je zpracována v rámci státní závěrečné zkoušky mého tříletého bakalářského studia na Západočeské Univerzitě v Plzni fakulta strojní, obor „diagnostika a servis silničních vozidel“. Téma jsem si zvolil z toho důvodu, že se od mládí se zajímám o automobilový průmysl a převodovky jsou nesdílňnou součástí automobilů samotných.

Osobní automobil je dnes nepostradatelnou věcí z našich každodenních životů. Je to celek složitých konstrukčních soustav. Jedním z nich je například motor. Motor osobního automobilu se dá považovat za jeho srdce. Ale mnoho lidí, řidičů, si neuvědomuje, že bez převodovky bychom nemohli využít plný potenciál tohoto srdce automobilu.

U dnešních modelů osobních automobilů mají lidé na výběr z několika typů převodovek. Tato práce se bude spíše zabývat funkcí převodovky, co a jak pracuje a hlavně jak poznat a správně změřit jestli převodovka pracuje správně nebo právě naopak co je v převodovce špatné. Abychom mohli toto provést, musíme se seznámit také s druhy převodovek, stejně tak jako s jejich fungováním.

První část mé bakalářské práce se tedy bude zabývat právě touto funkčností, uspořádáním převodovek osobních automobilů a také historií. Druhá část práce bude zaměřená na několik ukázek měření a právě pro danou závadu na automobilové převodovce. Také zde budou popsána různá, poškození automobilových převodovek a dále důležité měření v dílenských podmínkách a vysvětlení, jak zjednodušeně zjistit zda je s automobilovou převodovkou něco v nepořádku.

Cílem práce je základní seznámení s automobilovými převodovkami, jejich součástmi, vadami od provozu a možnostmi jejich měření jak v laboratorním prostředí tak také za běžných podmínek, tzn. v autodílnách nebo pro obyčejné řidiče.

1 Úvod do automobilových převodovek

1.1 Historie automobilových převodovek

Již před více jak sto lety, byla vynalezena první automobilová převodovka. Jedny z prvních automobilů neměli převodovku. Pohyb automobilu byl přenášěn rovnou z klikového hřídele motoru na hnací kola. Dle mého úsudku tento přenos mohl být zajištěn z největší pravděpodobností nějakým řemenem nebo jednoduchým řetězem. Kde na klikový hřídel byla umístěna řemenice a na hnací kola také. Toto uspořádání můžeme považovat za hodně vzdálenou verzi automobilové převodovky, protože určitě každá z těchto dvou řemenic měla jiný průměr a tak už nám tímto přenosem vznikl převodový poměr mezi motorem a hnacími koly. Tento převodový poměr byl stálý a nedal se měnit, což nebylo přijatelné pro běžné využívání automobilu.

Vynález první automobilové manuální převodovky je připisována dvěma Francouzským vynálezci a to Louis-RenePanhard a Emile Levassor. Tato první manuální převodovka byla pouze dvou rychlostní. Tito dva vynálezci za ni nesklidily velký úspěch, a proto přišli později již s třístupňovou manuální převodovkou, která se ujala více. Jejich automobil měl již uspořádány komponenty jako dnešní vozy, lze tedy tento automobil, považovat za předlohu dnešních automobilů.

Dalším důležitým datem pro automobilové převodovky je rok 1928. Cadillac zakomponoval další ozubená kola do převodovky, která vyrovnávala rychlost otáčení kol mezi sebou. To přineslo plynulé řazení a větší životnost převodovky. Tyto kola tedy synchronizovala kola mezi sebou a pro tuto funkci jim do dnes říkáme „synchrony“. Tento vynález později přepracovali v automobilce Porsche. A koncepci takto upravené převodovky známe dodnes, protože ji používáme v dnešních automobilech.

1.2 Základní pojmy

Než se začneme v této bakalářské práci zabývat typem, účelem, měřením a hodnocením automobilových převodovek, musíme znát základní pojmy ze světa převodovek. I když většina nás vlastní automobil a někteří se v něm i dobře vyznají, nebude na škodu, si připomenout hlavní pojmy, které budou v této bakalářské práci zmiňovány.

rok	typ převodovky
1894	první maunální převodovka
1904	první automatická převodovka
1908	první převodovka s planetovými převody
1928	první synchronní převodovka
1937	první automatická převodovka v sériové výrobě
1941	první poloautomatická převodovka
1948	první automatická převodovka s hydrodynamickým měničem
1989	první poloautomatická převodovka v F1
2003	první dvouspojková převodovka v sériové výrobě

Tab 1.1: historie vývoje automobilové převodovky [5]

1.2.1 Převodový poměr [i]

Převodový poměr, je velice důležitým parametrem nejen automobilových převodovek, ale převodovek jako takových.

Co to ten převodový poměr je a co nám definuje? Definice převodového poměru je taková, že to je vztah mezi vstupními a výstupními otáčkami. Převodový poměr je tedy dán poměrem vstupních otáček n_1 k výstupním otáčkám n_2 .

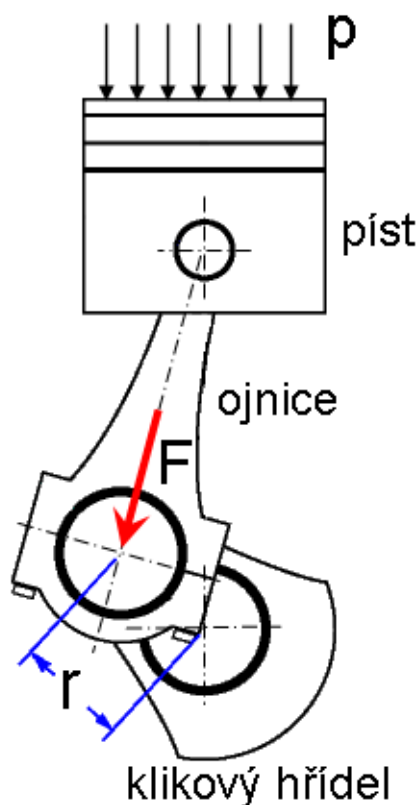
$$i = \frac{n_1}{n_2} \quad (1)$$

Převodový poměr i je bezrozměrná veličina. U automobilových převodovek platí vztah (1). Jeli převodový poměr větší než 1, pak se jedná o převod do „rychla“ a pokud je převodový poměr menší než 1, jde o převod do „pomala“.

1.2.2 Točivý moment

Točivý moment můžeme znát také pod pojmem krouticí moment a často se také setkáváme s jeho slengovým pojmenováním „krouťák“. Točivý moment je další důležitá veličina, vyskytuje se jak u motorů, tak i u převodovek. Točivý moment obecně definujeme jako součin síly a ramene.

Točivý moment vzniká spalováním v motoru a to tak, že ve válci motoru expanduje směs vzduchu a paliva. Tato expandující směs vytvoří ve válci motoru určitý tlak, tento tlak působí na píst motoru a vytváří sílu, která tlačí píst směrem dolů. Takto vytvořená síla, se tedy přenáší přes ojnicí čep, ojnicí až na klikový hřídel motoru. Jelikož spalovací motory pracují v určitém taktu, tak točivý moment není konstantní, ale mění se s polohou klikového hřídele. Je tedy zřejmé, že největší točivý moment bude, když bude ojnice svírat pravý úhel s ramenem klikového hřídele a nejmenší točivý moment bude v místě, kdy píst dosáhne horního nebo spodního maximálního bodu pohybu a ojnice tedy bude v jedné ose s ramenem klikového hřídele. Znázornění vzniku točivého momentu vyplývá z obr. 2.1.



Obr. 1.1: Schéma vzniku točivého momentu [14]

1.2.3 Výkon

Výkon je fyzikální veličinou, která nám definuje vykonané množství mechanické práce za určitý časový interval. Tuto fyzikální veličinu značíme symbolem P . A jednotkou je Watt, který se označuje symbolem W .

V této bakalářské práci se s výkonem nesetkáme, jen je dobré vědět, jak je důležitý pro správnou funkci převodovky. Výkon je důležitý pro nás a pro převodovku z důvodu točivého momentu. Výkon jak jsme si již řekli, je práce vykonaná za jednotku času a u automobilů se jedná o rotační pohyb a tak když známe točivý moment, můžeme vypočítat i výkon a naopak. Stačí nám znát výkon našeho motoru při daných otáčkách a z tohoto údaje si vypočítáme točivý moment působící na vstupní hřídel automobilové převodovky.

$$P = M_k \cdot 2 \cdot \pi \cdot n; M_k = \frac{P}{2 \cdot \pi \cdot n}$$

P-výkon, M_k -točivý moment, π -Ludolfovo číslo, n-otáčky

1.2.4 Synchronizace

Řazení u automobilové převodovky se provádí spojením dvou ozubení a to tak, že se zasunuje zubová spojka na boční ozubení, které je umístěno na boku ozubeného kola. Aby mohlo dojít k zasunutí těchto dvou ozubení do sebe a tedy k zařazení zvoleného převodového stupně, musí mít ozubená kola stejnou obvodovou rychlost. Otáčky obou kol musí být „synchronní“ a odtud tedy máme název „synchronizace“.

Každá převodovka se synchronizací má v sobě zabudovanou synchronizační spojku, která právě zajišťuje tuto synchronizaci obvodových rychlosti ozubených kol.

- a) synchronizační spojka
- b) jištěná synchronizační spojka
- c) jištěná synchronizace Borg-Warner

1.2.5 Vstupní člen

Tímto pojmem označujeme u automobilových převodovek vstupní hřídel. Přes tento hřídel něj je přenášen výkon a točivý moment od motoru do automobilové převodovky.

1.2.6 Výstupní člen

Je to člen a zároveň u automobilové převodovky hřídel, který „vystupuje“ z převodovky a proto mu říkáme výstupní. Od tohoto hřídele se výkon a točivý moment přenáší na kola automobilu. Samozřejmě nepřenáší jej rovnou, ale vždy jsou do automobilů zabudovány další mechanismy, přes které se tento výkon, točivý moment dostane až ke kolům vozidla

1.3 Účel automobilových převodovek

Jako první je důležité vědět, proč v našich automobilech jsou převodovky. Úkolem všech automobilových převodovek je zajistit pohyb našeho automobilu téměř za všech podmínek, při co nejvíce ekonomické jízdě, a zároveň aby byla zajištěna největší životnost jak převodovky, tak ostatních segmentů ve vozidle. Každý automobil má pro svůj bezproblémový provoz jinou převodovku. A i když vizuálně nám převodovky připadají stejné, nemusí tomu tak být. Pro různé typy motorů, pohonů jsou i různé převodové poměry automobilových převodovek. Jsou i jiné obvodové rychlosti ozubených kol a také jiné krouticí momenty výstupních hřídelů. Proto, když v autě převodovku měníme, musíme dávat velký pozor na to, aby tam byla namontována převodovka, která tam opravdu má být.

1.3.1 Změna točivého momentu

Všechny spalovací pístové motory pracují v určitém rozsahu pracovních otáček. Tento pracovní rozsah je omezen minimálními a maximálními otáčky motoru. Motor v daných otáčkách vytváří daný točivý moment. A proto v celkovém rozsahu točivý moment není konstantní a s otáčkami motoru se mění. Proto potřebujeme převodovku, která nám velikost tohoto momentu mění tak, abychom se mohli s vozidlem pohybovat za všech okolností. Mezi tyto okolnosti patří rozjíždění, zrychlování, jízda do stoupání, jízda po rovině a tak dále. Při těchto okolnostech potřebujeme točivý moment o různých velikostech. Při rozjíždění potřebujeme, jako při zrychlování a jízdě do stoupání, na kola přivést větší točivý moment, ale při tom, musíme motor držet v optimálních otáčkách. A při jízdě po rovině, nebo při klesání nepotřebuje vysoký točivý moment, ale stále potřebujeme udržovat motor v nejekonomičtějším chodu a tedy v optimálních otáčkách.

1.3.2 Změna otáček

Každý motor má zase určitý rozsah pracovních otáček. Otáčky motoru, musí být vždy v takovém rozsahu, ve kterém dokáže motor dodávat potřebný výkon. Proto je právě potřeba automobilové převodovky a jejím úkolem je měnit tyto otáčky, aby mohlo jed vozidlo námi požadovaným způsobem a v neekonomičtější režimu. Je-li převod velký, získáme tím nízké otáčky hnacích kol a tím i malou rychlost vozidla. Malým převodem získáme vysoké otáčky hnacích kol.

Většina automobilových převodovek má do převodovky zařazen tzv. rychlostní převodový stupeň. Tento převod je u místě na pozici nejvyššího rychlostního stupně. Tento rychlostní stupeň je konstruován pro konstantní jízdu bez větších převýšení a zatáček, kdy je potřebné jed vyšší rychlostí. Tímto převodem do „rychla“ máme umožněno jet vyšší rychlostí při poměrně nízkých otáčkách a tím dosahujeme i ekonomické jízdy, kdy motor spotřebovává menší množství paliva a jeho životnost nijak netrpí.

1.3.3 Dlouhodobé přerušení točivého momentu na hnací kola

Dalším důležitým úkolem automobilových převodovek, je přerušení přenosu točivého momentu na hnací kola. Na krátkou dobu, nám v automobilu k tomuto úkonu slouží spojka, ale která nám spíše napomáhá při rozjíždění, zastavování a hlavně díky, které můžeme volit z jednotlivých rychlostních stupňů.

Hned z několika důvodů nám spojka nemůže dlouhodobě přerušit dodávku výkonu od motoru na hnací kola. Za jedno by se spojka při dlouhém vyšlápnutí mohla poškodit, došlo by k jejímu namáhání a spojka, která je zřízená pro jiné účely, by velice utrpěla na životnosti. A další důvod je i pohodlí řidiče, určitě by žádný řidič, který potřebuje nějakou dobu s automobilem stát, chtěl po celou dobu držet nohou spojku vyšlápnutou. Určitě by i Vás po chvíli bolela noha a bylo to velmi nepraktické. Ale nejen pro tyto dva důvody, konstruktéři museli do převodovky zabudovat neutrální rychlostní stupeň.

Neutrální rychlostní stupeň, nám dovoluje na neomezenou dobu, přerušit přenos točivého momentu od motoru na hnací kola a to při nastartovaném motoru samozřejmě.

Dokonce konstruktéři při začleňování toho „neutrálu“ mysleli na životnost převodovky. Při zařazení „neutrálu“ se na vstupní hřídel převodovky přenáší točivý moment od motoru, ale ozubená kola, nejsou zařazený do sebe a tak se výkon, nepřenáší na výstupní hřídel převodovky. Takže převodovka při běhu na „neutrál“ je po celou dobu mazána a chlazená olejem. A díky tomu, nehrozí její poškození ani ztráta životnosti a nám to umožňuje pohodlně využívat náš automobil.

1.3.4 Zpětné otáčení hnacích kol

Tato vlastnost převodovky je velice důležitá. Představte si automobil, který by mohl sice jezdit pohodlně, za všech provozních podmínek, nekonečně dlouho stát s nastartovaným motorem, ale jezdil by jen dopředu. Nebylo by možné vůbec takový to automobil používat v dnešním provozu.

Proto automobilové převodovky mají zpětný rychlostní stupeň, tedy „zpátečku“. Tento zpětný stupeň nám umožňuje couvání automobilu. Tento efekt je potřebný, k běžnému používání automobilů. Například k zaparkování, vyjetí z místa kde se automobil nedá otočit a tak dále.

1.4 Základní rozdělení automobilových převodovek

1.4.1 Nejzákladnější rozdělení

Převodovky bez synchronizace

Dneska se s typem těchto převodovek už nesetkáváme. Převodovky bez synchronizace byly jedny z prvních automobilových převodovek. Jejich obsluha byla velmi složitá a často nepříjemná pro řidiče automobilu. Obsluha byla tedy složitější, ale samotná převodovka byla o to jednodušší.

Konstrukční řešení

„S hnacím (spojkovým) hřídelem (1) je pevně spojeno hnací ozubené kolo stálého záběru z_1 (14). Toto ozubené kolo je ve stálém záběru s ozubeným kolem z_2 a pohání předlokový hřídel (2), se kterým jsou pevně spojena ozubená kola z_2 , z_3 , z_5 a z_7 .

Hnaný (výstupní) hřídel (3) je souosý s hřídelem hnacím. Je opatřen podélnými drážkami a předním koncem je uložen v ozubeném kole z_1 . Při řazení dochází k přesunutí ozubených kol z_4 příp. z_6 na drážkách hnaného hřídele do záběru s příslušnými ozubenými koly na předlohovém hřídeli.“¹

Na obrázku 1.2 je pro lepší pochopení zobrazena třístupňová převodovka bez synchronizace s popisem jednotlivých částí.

¹ ING. JAN, Zdeněk, Bronislav ING. ŽDÁNSKÝ a Ing. Jiří ČUPERA PHD. *Automobily: Převody (2)*. 3. vyd. Brno: Avid, spol. s r. o., 2011, s. 35-36. ISBN 987-80-87143-21-6.

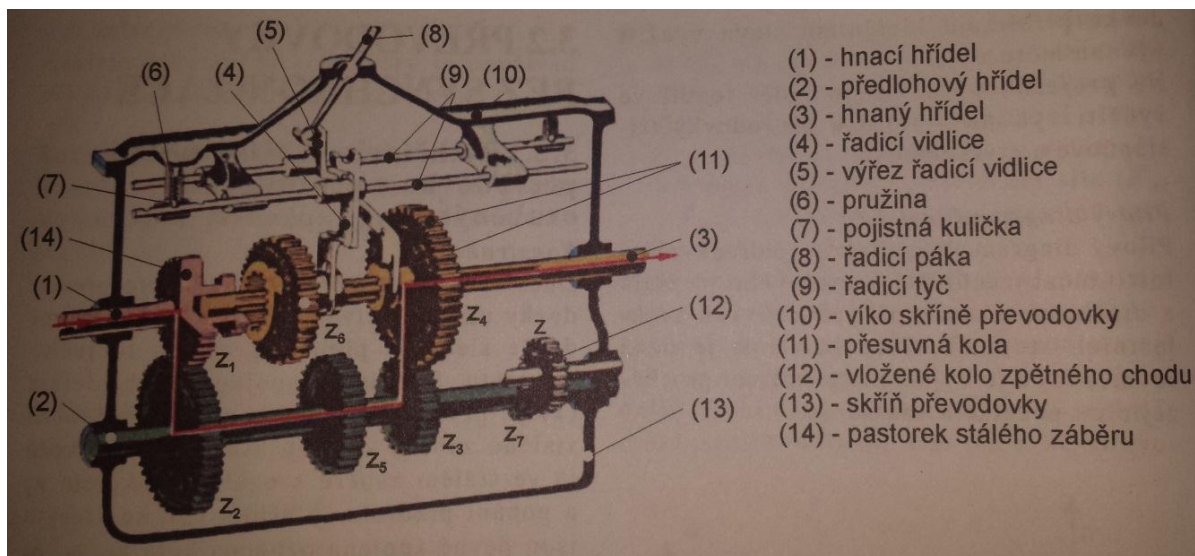
Řazení rychlostních stupňů

„U nesynchronizovaných převodovek lze bez potíží zařadit rychlostní stupeň, pouze tehdy, jsou-li obvodové rychlosti ozubených kol přicházejících do záběru stejné.“²

Převodovky se synchronizací

Tyto převodovky jsou v Evropě nejrozšířenější. Jde zde o převodovku, která potřebuje trochu umu k jejímu užívání, ale zároveň její užívání není nic složitého. Výhodou této převodovky je její vyšší životnost. Samozřejmě její dlouholetá životnost je, jen při správném užívání a také při péči o tuto převodovku. Celou převodovku ovládá řidič a je jen a jen na něm, jaký zvolí rychlostní stupeň.

Jak už jsme se dozvěděli v kapitole převodovek bez synchronizace, je zapotřebí k zařazení rychlostního stupně stejné obvodové rychlosti ozubených kol, které přicházejí spolu do záběru a proto převodovky se synchronizací mají synchronizační spojky, které tyto obvodové rychlosti vyrovnají, a řazení je plynulé.



Obr. 1.2: Popis třístupňové tříhřídelové manuální převodovky[2]

² ING. JAN, Zdeněk, Bronislav ING. ŽDÁNSKÝ a Ing. Jiří ČUPERA PHD. *Automobily: Převody (2)*. 3. vyd. Brno: Avid, spol. s r. o., 2011, s. 36. ISBN 987-80-87143-21-6.

Konstrukční řešení

Převodovky se synchronizací mají všechna kola, kromě kola zpětného chodu, ve stálém záběru. A proto kola mají šikmé ozubení a díky tomuto šikmému ozubení jsou převodovky méně hlučná a jejich životnost je díky tomu zvýšena.

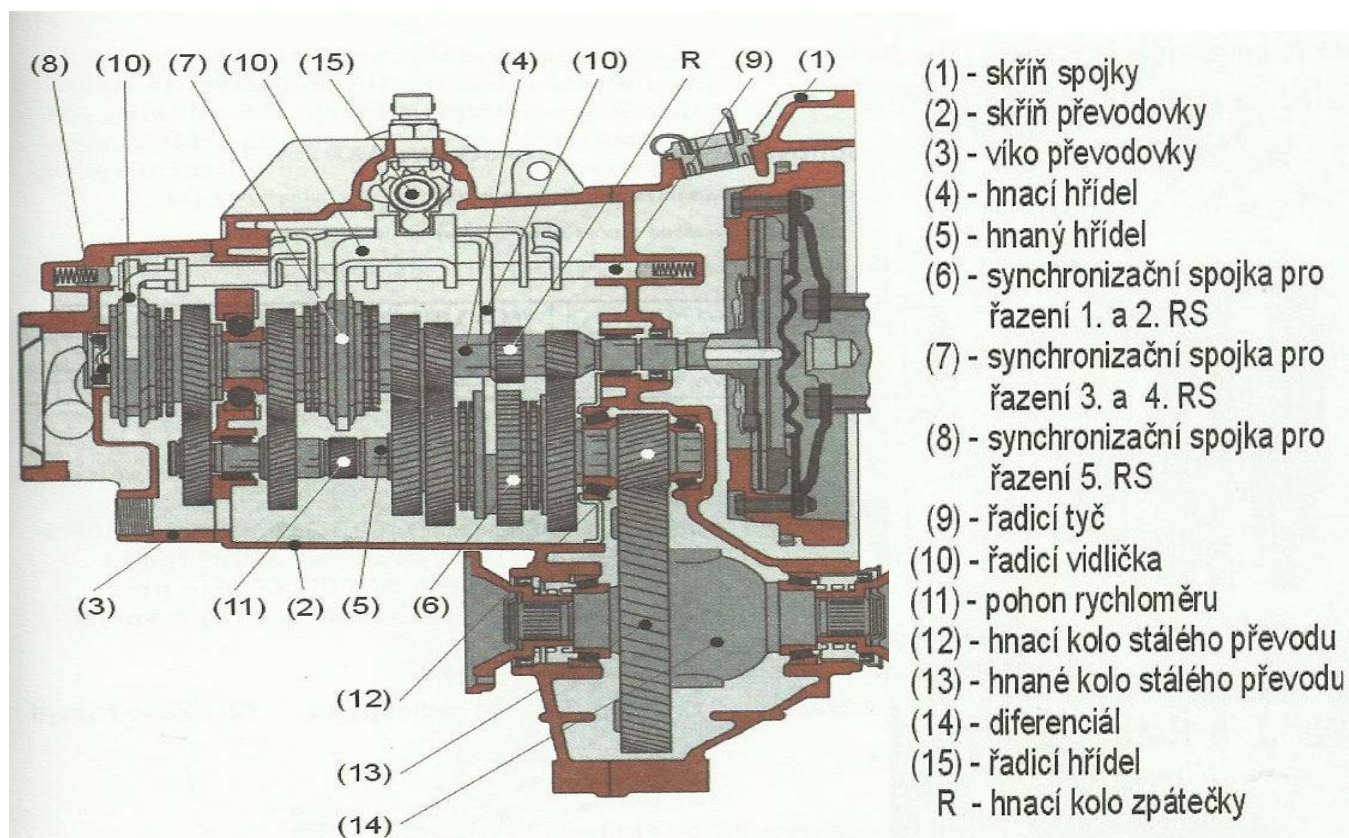
Pro lepší představu konstrukčního řešení, následuje podrobný popis, jak pracuje dvouhřídelová pětistupňová převodovka 02K z automobilu Škoda Octavia. Popis je doplněn o obrázku 1.3 i s odkazy na jednotlivé části.

„Hlavní části jsou uloženy ve dvoudílné skříni (skříň spojky, skříň převodovky) s kompletním víkem skříně převodovky. Hnací (výstupní) hřídel 4 je ve skříni převodovky 2 uložen v radiálním kuličkovém ložisku. Ložisko je ve skříni 2 zajištěno napínacím plechem. Ve skříni spojky 1 je hnací hřídel 4 uložen v jehlovém ložisku. S hnacím hřídelem 4 jsou pevně spojena hnací kola 1. a 2. rychlostního stupně a zpátečky. Hnací kola 3., 4. a 5. rychlostního stupně jsou na hnacím hřídeli 4 uložena volně otočně. Kromě ozubených kol jsou na hnacím hřídeli 4 uloženy posuvně v drážkách synchronizační řadící spojky 7 a 8 pro řazení 3. až 5. rychlostního stupně.

Hnaný (výstupní) hřídel 5 je uložen ve dvojici kuželíkových ložisek a jednom ložisku jehlovém. Na hnaném hřídeli jsou hnaná kola 1. a 2. rychlostního stupně uložena volně otočně, pevně jsou na hřídeli 5 uložena hnaná kola 3., 4. a 5. rychlostního stupně. Na hnaném hřídeli je 5 je také uložena synchronizační spojka 6 pro řazení 1. a 2. rychlostního stupně opatřená přímým ozubením pro řazení zpátečky. Ozubená kola dopředných rychlostních stupňů mají šikmé ozubení, mezi jehož přednosti patří schopnost zubů přenášet velké zatížení (v záběru je trvale víc než jeden zub) a tišší chod. Volně otočná kola dopředných stupňů jsou uložena na jehlových ložiskách na příslušných hřídelích.

Při řazení dopředných rychlostních stupňů se používá jištěná (cloněná) synchronizace. Kolo zpětného rychlostního stupně má přímé zuby a je opatřeno tlačnou pružinou. To usnadňuje řazení zpátečky. Řadící vidličky 10 jsou nasazeny na jedné řadící tyči 9, která je uložena s vůlí. Řadící tyč 9, která je ukotvena mezi skříni převodovky 2 a skříni spojky 1.

Pohon rychloměru 11 je na hnaném hřídeli 5. Diferenciál 14 je na obou stranách uložen v kuželíkových ložiskách.“³



Obr. 1.3: Konstrukční schéma převodovky 02K [4]

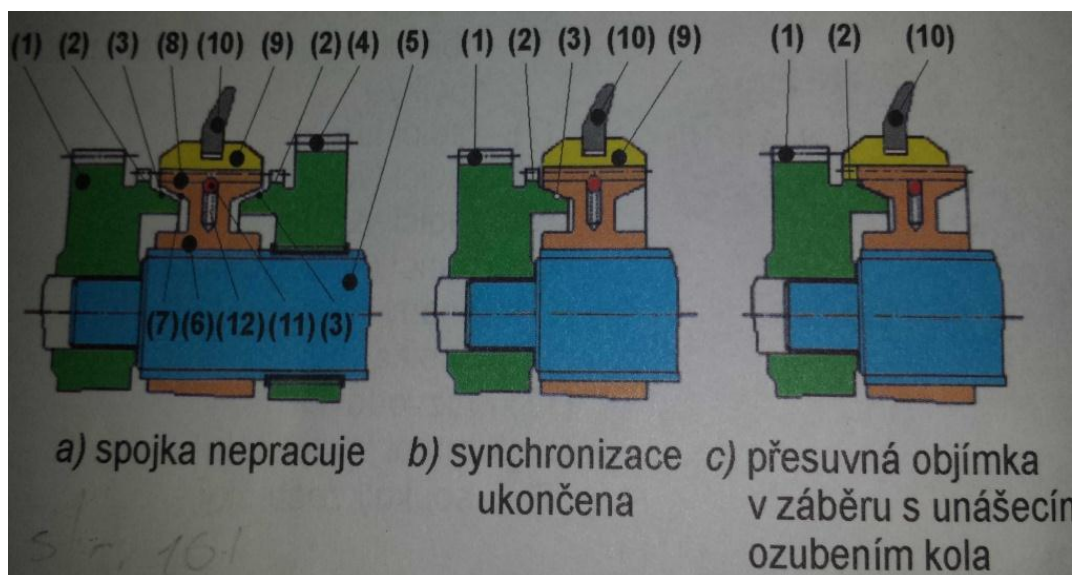
³Převodovky: Princip funkce dvouhřídelové pětistupňové automobilové převodovky 02K automobilu Škoda Octavia. M. L. Gear Desingns [online]. 2014 [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: <http://mlgearsdesigns.blog.cz/1407/princip-funkce-dvouhridelove-petistupnove-automobilove-prevodovky-02k-automobilu-skoda-octavia>

Synchronizační spojky

Je to zařízení vyrovnávající obvodové rychlosti, tedy přesněji jejich rozdíl. Zjednodušeně toto zařízení vyrovnává obvodové otáčky kol, která mají přijít spolu do styku. Tedy ozubení do sebe zařazující se.

Konstrukce klasické synchronizace

Konstrukční popis je doplněn o obrázek 1.4, i s odkazy na jednotlivé části synchronizační spojky.



Obr. 1.4: Klasická synchronizace [2]

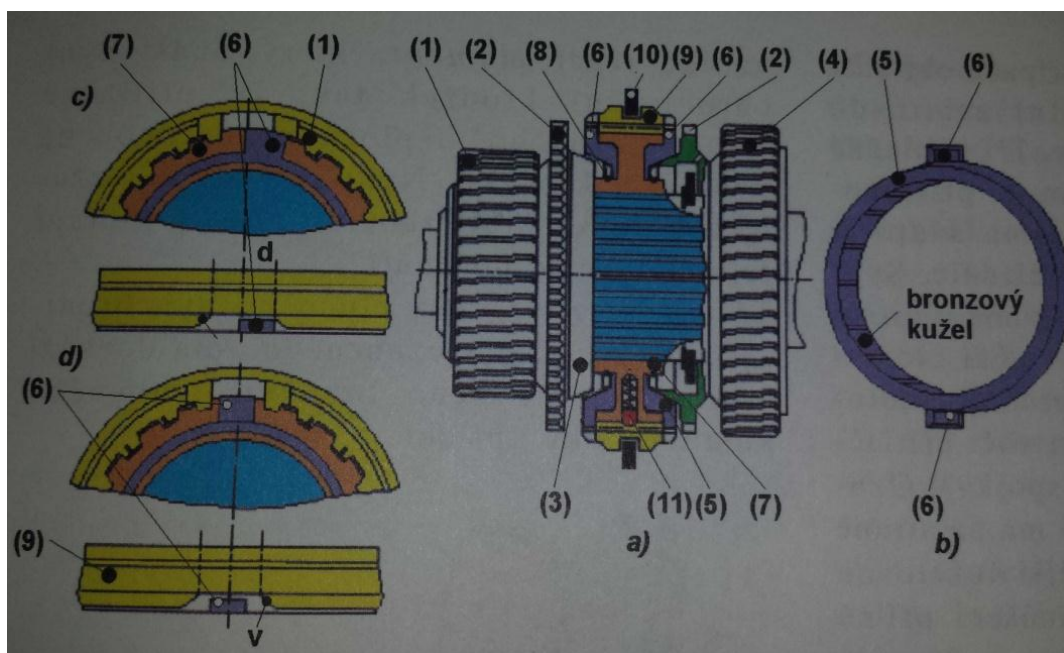
Na hnacím hřídeli je umístěno ozubené kolo (1) a je ve stálém záběru s předlohovým kolem. Kolo (1) má unášecí ozubení (2) a třecí kužel (3). Na hnaném hřídeli je kolo (4) a to má stejné unášecí ozubení (2) a třecí kužel (3) jako kolo (1). Dále na hnaném hřídeli je v drážkách (5) umístěno jádro (6) synchronizační spojky a díky drážkám na hnaném hřídeli je toto jádro (6) posuvné. V jádru (6) spojky je zalisován třecí bronzový kužel (7) a dále na jádru (6) spojky je na vnějším obvodu ozubení (8). Na tomto ozubení (8) se posouvá objímka (9) a tato objímka má vnitřní ozubení stejné jako unášecí ozubení (2) a vnější ozubení jádra (8). Objímka je zajištěna vnitřní obvodovou drážkou pro samovolný pohyb, do které zapadají

kuličky (11) a navíc jsou přitlačovány pružinou (12). Pro pohyb objímky se používá řadící vidlice a ta zapadá do vnější drážky (10).

Takto pracuje obyčejná synchronizační spojka. Tento princip nezaručuje bezhlučnost a to zvláště při rychlém řazení kdy se nestačí vyrovnat obvodové rychlosti kol.

Konstrukce jištěné (cloněné) synchronizace

Konstrukce jištěné synchronizace pracuje na stejném principu jako předchozí klasická synchronizace. Princip v jištěné synchronizaci je v umístění clonícího třecího kroužku (5) a díky němu je zabráněno zasunutí objímky (9) před vyrovnáním obvodových otáček do zubů (2). Konstrukci cloněné synchronizace vidíme na obrázku 1.5.



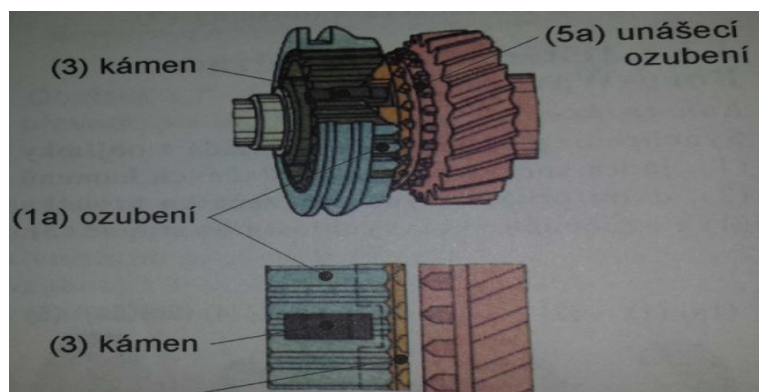
Obr. 1.5: Cloněná synchronizace[2]

Konstrukce jištěné synchronizace Borg-Warner

U této konstrukce synchronizace se zařízení pro synchronizaci obsahuje objímku (1), jádro spojky (2) tři přitlačné kameny (3), synchronizační kroužek (4) a také ozubené kolo rychlostního stupně (5). I toto konstrukční řešení pracuje podobně jako předchozí řešení. Navíc obsahuje 3 přitlačné kameny (3) a ty řečeno zjednodušeně přitlačují synchronizační kroužek proti ozubenému kolu.

Proto zde nebudeme opět vypisovat přesné konstrukční řešení, ale ukážeme si na několika obrázcích, jak pracuje synchronizace.

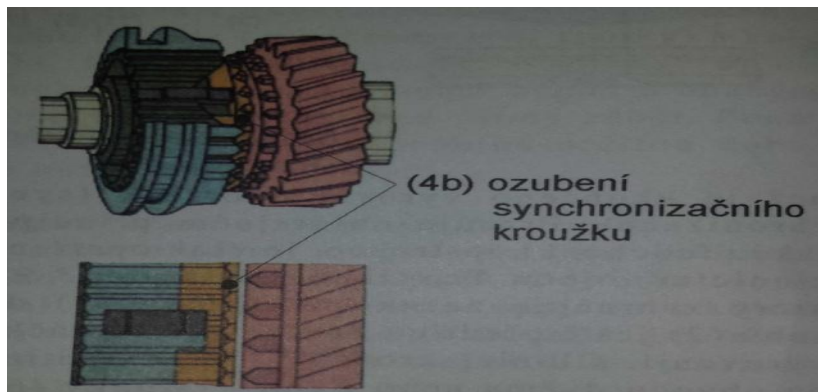
Klidová poloha - Synchronizace je v klidové poloze tehdy, když je objímka ve středu a není synchronizační kroužek přitlačován na ozubení kola. Tedy přitlačné kameny nepřitlačují synchronizační kroužek proti ozubení. Na obrázku 1.6 vidíme synchronizační kroužek s dostatečným odstupem od ozubení.



Obr. 1.6: Synchronizace Borg-Warnerne klidová poloha[2]

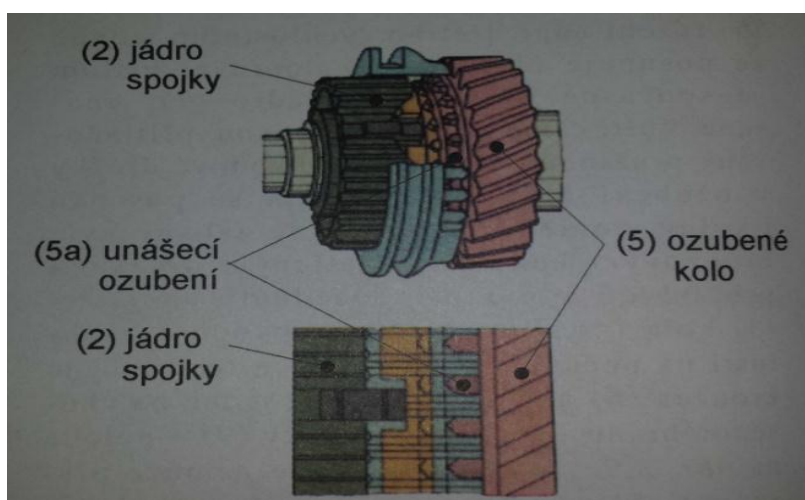
Poloha při synchronizaci- Při této poloze dochází k synchronizaci obvodových kol převodů. V této poloze objímku posunuje řadící vidličkou směrem k ozubenému kolu danému rychlostnímu stupni. Jak se posunuje objímka, posunují se také tři přitlačné kameny. Posunutím přitlačných kamenů dojde k přitlačení synchronizačního kroužku proti kuželové ploše ozubeného kola. Pokud nejsou vyrovnané rychlosti objímky a ozubeného kola, vznikne třecí moment a tento moment unáší synchronizační a přitlačné kameny, jak lze vidět na

obrázku 1.7, dosednou svou boční plochou na vybrání v kroužku. Tímto efektem dojde k zrychlení nebo brždění objímky, hřídele i objímky.



Obr. 1.7: Synchronizace Borg-Warner poloha při synchronizaci[2]

Poloha při zařazení rychlostního stupně - Až dojde k vyrovnání otáček, nebude ani na jednu součást převodů a synchronizace působit obvodová síla. Díky tomu dojde ke zpětnému pootočení synchronizačního kroužku. Nyní už ničemu nebrání zasunutí objímky do unášecího ozubení. Díky tomuto ozubení a vnitřní ozubení objímky dojde ke spojení a začne přenos točivého momentu mezi ozubeným kolem a hřídelem. Toto spojení můžeme vidět na obrázku 1.8 a vidíme zde i volné uložení přítlačného kamene v drážce synchronizačního kroužku.



Obr. 1.8: Synchronizace Borg-Warner poloha při řazení[2]

1.4.2 Ostatní základní typy převodovek

Pro moji bakalářskou práci a vysvětlení měření hluku a vibrací, si dostatečně vystačíme se základními typy převodovek. Pro lepší znalost a přehled, vypíšu i několik ostatních druhů převodovek.

Převodovky se sekvenčním řazením

Základem této převodovky je klasická mechanická převodovka, doplněná o elektronickou spojku. Většinou jde o kombinaci elektroniky a hydraulické kapaliny. Kde na místo řidiče řadí automatizovaný mechanismus. Řidič má dvě možnosti, a to buď nechat zcela řazení na softwaru, který řadí podle aktuálního režimu jízdy. Druhá možnost je řazení při na řidiči, ale kde odpadá sešlapávání spojkového pedálu, na rozdíl od klasické mechanické převodovky, a řidič řadí jen řadicí pákovou pohybem dopředu a dozadu.

Automatické převodovky

Hydraulické převodovky

Na středovém panelu se nachází volič režimu jízdy. Volič, dáme do polohy závislé na úkonu od automobilu. Můžeme volit z polohy P, D, N, R, S.

Principem těchto převodovek jsou hydraulické elementy závislé na otáčkách motoru a rychlosti jízdy. Hydrodynamický měnič nemá spojku přemostění.

Elektronicky řízené automatické převodovky (tiptronic)

Tyto automatické převodovky jsou jedny z lepších a často používaných. Bývají pěti nebo šestistupňové (v dnešní době mohou být už více stupňové). Jako u sekvenčních převodovek jsou rychlostní stupně řazeny za sebou. „tiptronic“ dovoluje řidiči zasahovat do řazení jinak plně automatizované převodovky.

Variátorové převodovky

Tento typ automatických převodovek se vyznačuje plynulou změnou převodového stupně. Přenos točivého momentu a tedy rozjezd vozidla umožňují třecí lamely a klínový řemen. Třecí lamely jsou umístěny uvnitř převodovky. Klínový řemen je umístěn mezi hnacím a hnaným bubnem. Tyto převodovky se vyznačují vyšší životností a možností přenést větší krouticí moment.

Mechanické převodovky se dvěma spojkami (DSG)

Je to tříhřídelová šesti nebo sedmistupňová (v dnešní době už i více) automobilová převodovka. Uvnitř převodovky najdeme dvě vstupní a výstupní hřídele. Pro zmenšení konstrukce je jeden z hřídelů dutý a druhý je vložen do něj. DSG převodovka má i dvě spojky. První spojka slouží pro rychlosti 1,3,5 a pro zpětný chod a druhá spojka je pro rychlosti 2,4,6. Jak vnitřní součásti převodovky, tak i spojky pracují v olejové lázni, to zaručuje delší životnost.

2 Úvod do měření

2.1 Účel měření automobilových převodovek

V této kapitole se budeme zabývat, proč vůbec potřebujeme v převodovkách diagnostikovat vibrace a hluk. Co díky tomu získáme a čemu se naopak vyhneme.

Automobilové převodovky jsou velice složité mechanické součásti, složené z různých komponentů, které jsou velice namáhány od provozu automobilu. Velmi důležitými veličinami u převodovek je vibrace a hluk. Za pomoci těchto dvou fyzikálních veličin, můžeme diagnostikovat v převodovce závadu. Pokud jsou u měření vhodně zvolená měřící místa, rozpoznáme závadu převodovky, bez jejího rozebrání. A tyto dvě fyzikální veličiny, pokud si jich všimáme i jako uživatel automobilu, tedy řidič, můžou nám napovědět, začíná-li být s převodovkou něco v nepořádku.

2.2 Měření hluku

Věda co se zabývá měřením hluku, tedy je to věda, která se zabývá zvukem, se nazývá akustika.

Pro akustiku jsou důležité snímače, které snímají dané veličiny. Tyto snímače jsou velice důležité, ale i pro správnou funkci a vyhodnocení údajů z těchto snímačů je zapotřebí i tak obyčejná věc, jako je metr pro měření vzdálenosti. Protože u těchto snímačů si nemůžeme příliš často dovolat jakýkoliv odhad. Kdyby ano, tak naše měření by nemuselo být správné a mohlo by mít menší přesnost, a proto by naše výsledky mohli být zkreslené.

2.2.1 Co je to zvuk

Než se budeme zabývat samotným měřením hluku, musíme se dozvědět co to vůbec hluk je a jak vzniká. Hluk je nežádoucí zvuk, který nám škodí, ale právě i napomáhá.

Aktivita člověka, živočichů a přírodních jevů a dějů je spojena se zvukem. Tedy zvuk je projevem těchto aktivit, ať už to jsou aktivity, které stvořila příroda, nebo strojem vytvořené lidstvem. Zvuk se dá považovat za velice účinný zdroj různých informací a také jako velmi účinný varovný signál.

Mechanické vlnění v látkovém prostředí, které vyvolá v lidském uchu sluchový vjem, toto vlnění nazýváme zvukem. Zvuk se šíří všemi směry od svého zdroje. Obor zabývající se zvukem, se nazývá akustika. Akustika se dá definovat jako soustava, která má tři části.

1. Zdroj zvuk
2. Prostředí
3. Přijímač zvuku

2.2.2 Co je to hluk

Každý nežádoucí zvuk, se dá označit jako hluk. Jiným způsobem nemůžeme hluk jinak fyzikálně definovat. Každý tento hluk vnímá jinak. Pro někoho je to opravdu hluk, který škodí. Škodí životnímu prostředí, nebo může škodit i lidem.

2.2.3 Měřicí přístroj

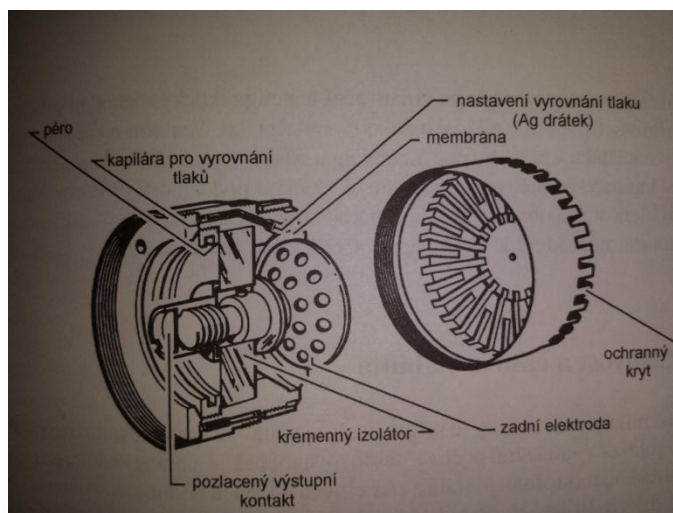
Pro měření hluku automobilové převodovky, je nejběžnější a nejpoužívanější **mikrofon**. Je to snímač pro akustický tlak.

Mikrofon - Je to akusticko-mechanicko-elektrický snímač. Tento snímač převádí snímané, tedy měřené, kmitání ve vnějším plynném prostředí na elektrický signál. Mikrofonů existuje několik typů, ale dnes se používají v akustickém měření hluku reciproké měniče. Do nich zapadá například dynamický, elektrostatický nebo piezoelektrický měnič. Aby měření mohlo být považováno za seriózní a přesné, využívá se výhradně měnič elektrostatický – kondenzátorový mikrofon.

Kondenzátorový mikrofon - Tento typ mikrofonu je používám především díky jeho dobrým vlastnostem. Mezi nezanedbatelné vlastnosti patří také jeho malý rozměr a malá hmotnost. K dalším vlastnostem patří jeho citlivost, která je stálá i po mnoha letech.

Kondenzátorový mikrofon se skládá z ultralehké membrány a kmitá díky zhušťování a zředování vnějšího prostředí. Výchylka membrány mění vzdálenost mezi pevnou perforovanou elektrodou. Membrána tedy tvoří jednu elektrodu a pevná perforovaná elektroda

je druhá. Firma Brüel&Kjaer zhotovuje mikrofony v různých velikostech. Jejich konstrukce s popisem komponentů, z kterých se jejich mikrofon skládá, je na obrázku 2.1.



Obr. 2.1: Schéma mikrofonu[3]

Zvukoměry

Pro měření akustického tlaku by stačil měřící řetězec mikrofon-zesilovač-měřidlo. Tento měřící řetězec opravdu změří akustický tlak, ale pouze pro sinusový jednoduchý signál.

Docela jistě, můžeme říct, že většinou měříme nespojitě signály, z těchto signálů chceme získat výslednou efektivní hodnotu jednotlivých složek. A kvůli tomu do měřícího řetězce musíme zakomponovat další obvody. Začleníme **efektovací obvod**, právě kvůli této efektivní hodnotě. A dalším jsou integrační obvody, díky kterým získáme průměrnou hodnotu akustického tlaku za daný časový interval.

Dále do měřícího řetězce začleníme nulté děliče pro změnu rozsahu, vnitřní cejchovací obvody, výstup pro vnější zaznamenávání dat. Důležité je také možnost doplnit řetězec o vhodné výstupy a vstupy externích filtrů. Důležitá je i kontrola napájení.

Pro měření hluku, zvuku potřebujeme měřit hladinu a ne několik mnoho desítek hodnot akustického tlaku. Proto musí být v měřidle nebo ve výstupním obvodu přechod z lineární závislosti právě na hodnotu, která bude výstupní. Tato hodnota je logaritmická, také jí nazýváme decibelová, stupnice.

Nyní, když máme sestavený měřící řetězec, můžeme ho nazývat zvukoměr.

V dnešní době a ve většině v nelaboratorním prostředí používáme zvukoměry s displejovým zobrazením. To nám velice usnadňuje měření. Na obrázcích 2.2 a 2.3 vidíme

zvukoměry používané v dnešní době, oba dva jsou digitální. Druhý z nich je v dražším a složitějším provedení pro pokročilejší měření.



Obr. 2.2: Zvukoměr 1 [1]



Obr. 2.3: Zvukoměr 2 [1]

V dnešní vyspělé technice, mohou také stejné funkce zvukoměru zajišťovat softwarové programy výpočetní techniky. Pořád je ale zapotřebí snímač. Lze tedy analogový signál převést převodníkem analog-digitální do zcela digitalizované formy. Tento digitalizovaný signál je už pak zpracováván jen vhodným softwarovým programem.

Využívání výpočetní techniky pro toto měření hluku, je spíše používáno v laboratorním prostředí. Je zde zapotřebí počítač či notebook s určitým výkonem, který dokáže data zpracovat a pro měření mimo laboratoře, by bylo nevhodné používat tuto techniku. Není to vyloučené, jen poněkud nepraktické.

2.3 Měření vibrací

Vibrace jsou jevem, který nás obklopuje každý den. Některé z těchto vibrací jsou tak malé, že je ani nepocítíme a některé jsou tak velké, že nás bezprostředně mohou ohrozit. Všechny tělesa a částice konají pohyb a právě tím jsou zdrojem vibrací

Pro člověka, nebo lidstvo mohou vibrace být přínosné, ale také mohou být velmi nebezpečné, co se týče strojů, staveb.

Člověk využívá vibrace ve svůj prospěch třeba u bouracích kladiv, nebo díky vibracím mohou lidé být upozorňováni na nějaké informace z jejich okolí, třeba mobilní telefony, ty nás vibracemi upozorňují při jejich používání. Vibrace mohou pro nás být jako výstražné informace.

Ale vibrace mají i svou druhou stránku. U mechanických součástí, nebo strojů jako celků, mohou vibrace výrazně snížit jejich životnost a to tím, že jsou od vibrací více zatíženy a tím klesá jejich mez únavy. A nemusí to být jen u mechanických součástí, ale i u staveb. Například u mostových konstrukcí, kde vibrace může způsobit tak velké výchylky těchto staveb až dojde k jejich narušení, anebo dokonce až k jejich zborcení.

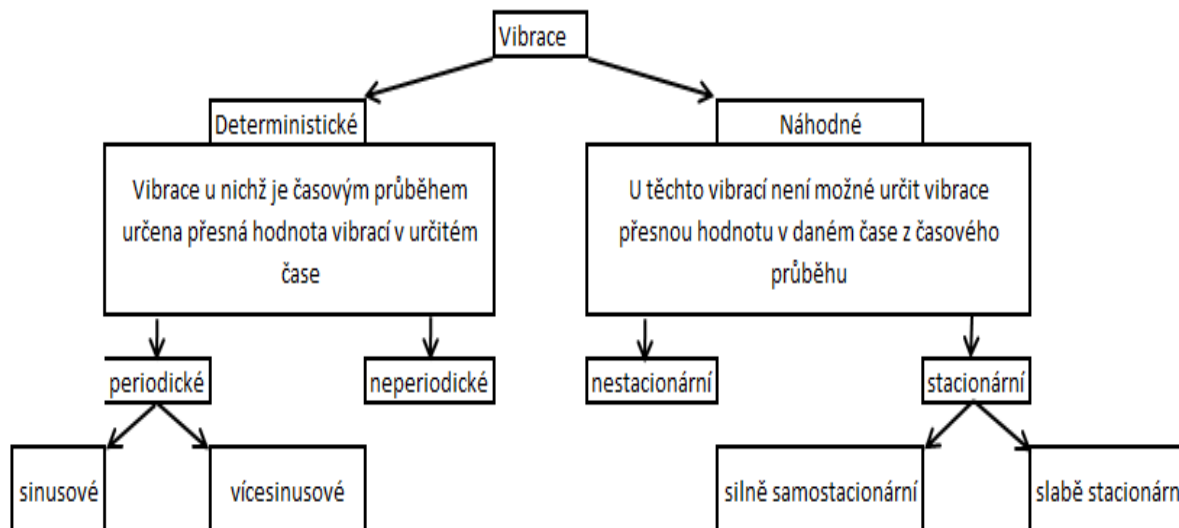
2.3.1 Co jsou to Vibrace

Vibrace můžeme chápat jako kmitání určitého celku. Většinou tento celek je mechanického typu. Jednoduché kmitání určíme jako frekvenci a amplitudu. Norma ČSN ISO 2041 představuje vibrace pohybem pružného tělesa nebo prostředí. Ať už body pružného tělesa nebo prostředí, kmitají kolem své rovnovážné polohy.

Můžeme se i v dnešní době setkat kdy vibrace jsou označovány za chvění. Dříve byly vibrace běžně takto nazývány.

Velikost vibrací vyjadřujeme výchylkou a také jejími derivacemi. Derivace výchylky jsou rychlost a zrychlení. Jako plnohodnotná veličina určující velikost vibrací, může být každá z těchto veličin.

Vibrace rozdělujeme podle časového průběhu do dvou základních skupin, které jsou znázorněny v tabulce 2.1.

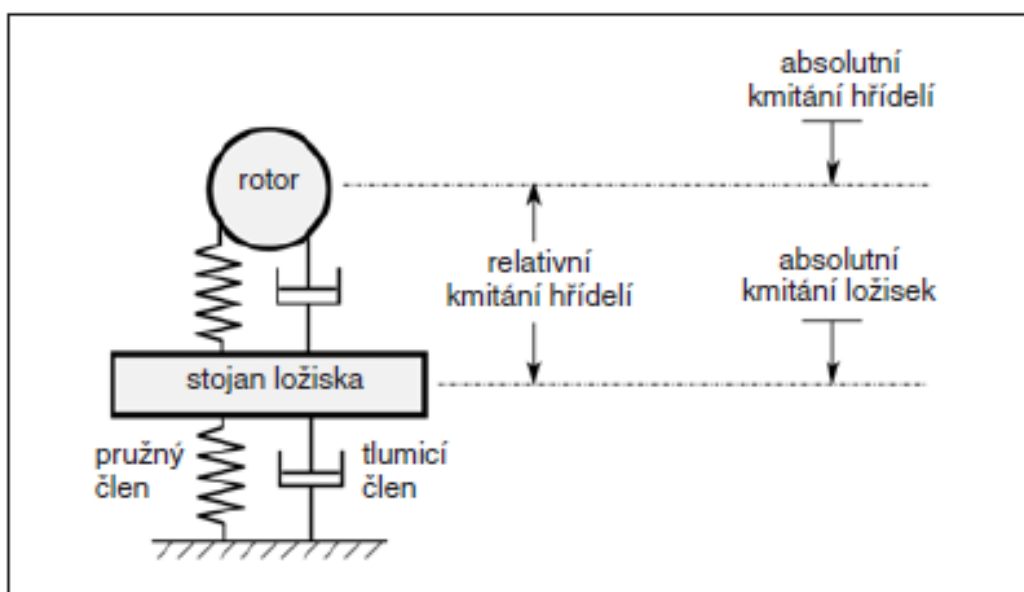


Tab. 2.1: Rozdělení vibrací

2.3.2 Snímače vibrací

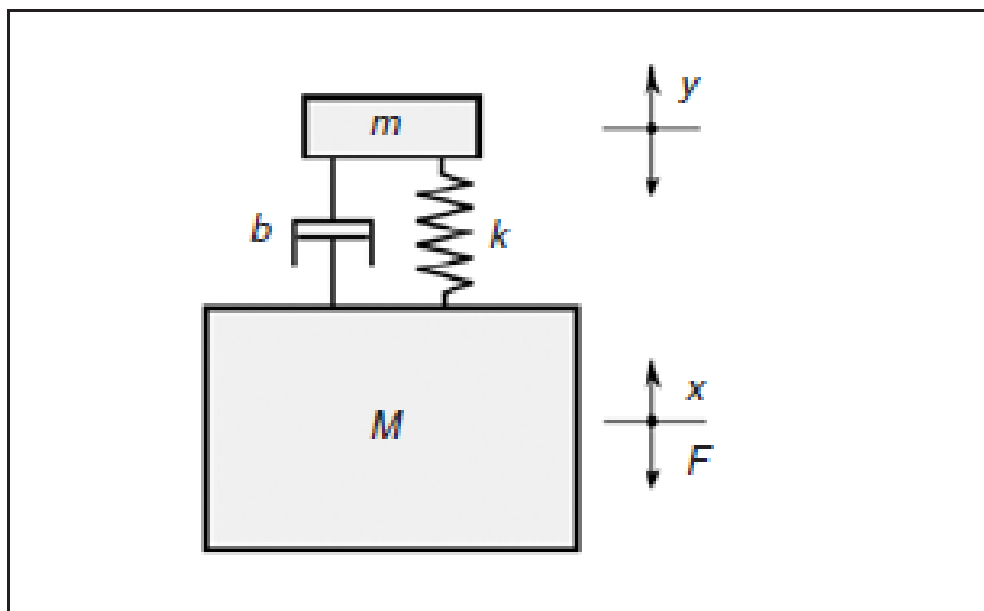
Pro správnou volbu vhodného snímače je důležité si nejprve určit, o jaké vibrace se jedná. Jestli o absolutní nebo o relativní a z toho určení vibrací se pak vychází při volbě daného snímače. Absolutní vibrace jsou takové vibrace, které popisují nějaký pohyb tělesa vůči Zemi. Jedná se například o měření strojů, částí strojů nebo zařízení.

Za relativní vibrace označujeme, které jsou vůči jiné části stroje nebo zařízení a přitom tato část vykonává také nějaký pohyb vůči zemskému povrchu. Pro lepší představu jsou tyto druhy kmitání znázorněny na obrázku 2.4.



Obr 2.4: Druhy kmitání[7]

Mechanické kmitání se skládá z výchylky, frekvence, rychlosti a zrychlení. Tyto fyzikální veličiny jsou na sobě závislé. Základní funkční princip snímače vibrací je vlastní pohyb určité seizmické hmoty o hmotnosti m vůči k jinému objektu o hmotnosti M , u kterého se měří vibrace. Zjednodušené a obecné schéma snímače vibrací, můžeme vidět na obrázku 2.5.



Obr. 2.5: Zjednodušený snímač vibrací[7]

Za ideálních podmínek platí

$$m\ddot{y} + b\dot{y} + ky = F_b = M\ddot{x} \quad (2)$$

Podle ideálních podmínek a definicí základních vztahu z rovnice (2), díky vhodné volbě určitých parametrů, lze vytvořit snímač z jakékoliv veličiny kmitavého pohybu. To znamená díky parametrům m , k a b můžeme vytvořit snímač z výchylky, rychlosti nebo zrychlení.

V dnešní praxi je nejvíce používán snímač založený na zrychlení. Proto se dále budeme zabývat tímto typem snímače. Snímače zrychlení také nazýváme akcelerometry.

⁴ y - výchylka, \dot{y} - rychlost, \ddot{y} - zrychlení, \ddot{x} - zrychlení objektu, m - hmotnost seizmické hmoty snímače, M - hmotnost objektu, k - tuhost pružiny, b - součinitel tlumení, F_b - budící síla

Snímače zrychlení – akcelerometry

Pokud vezmeme výrazně velkou tuhost k , a oproti ní postavíme zanedbatelnou hmotnost m a tlumení b dostane z rovnice (2).

$$ky = M\ddot{x} \Rightarrow y \approx \ddot{x}$$

„Tomuto vyjádření je poplatný i v současné v praxi nejčastěji používaný snímač zrychlení využívající ke snímání pohybu seizmické hmoty piezoelektrický jev (tzv. piezoelektrický akcelerometr). Zpravidla jde o absolutní snímač kmitání. Z principu lze u něj snadno splnit podmínku $m \ll M$, přičemž se současně předpokládá až nekonečně tuhé připojení akcelerometru ke sledovanému objektu.

Konstrukčně jsou piezoelektrické akcelerometry řešeny velmi často se smykovým namáháním piezokrystalu, méně často tradičním uspořádáním se vyznačují velkou citlivostí, malou hmotností a vysokou vlastní frekvencí. Předností je také oddělení základy snímače od vlastního snímacího mechanismu, což umožňuje vyrábět snímače použitelné i při vyšší teplotě a s větší odolností proti mechanickému namáhání.“⁵

Uchycení snímačů zrychlení – akcelometrů

V současné době se v praxi používají převážně akcelometry, proto se budeme bavit o jejich uchycení.

Uchycení akcelometrů je velmi důležité a vznikají zde jisté problémy, a to může být zdrojem nejistot. Vlastní připevnění akcelometrů se vždy bere k měřenému objektu. Tento způsob upevnění akcelometrů má hlavní vliv na frekvenční rozsah, ve kterém je možné vibrace měřit. Piezoelektrické akcelerometry jsou obvykle použitelné od několika málo hertzů až do 40kHz.

Stejně důležité jako způsob uchycení akcelometru je také vhodně zvolené místo kam snímač umístit. Musíme volit místa vhodná pro účel našeho měření, tedy abychom se dozvěděli co nejvíce potřebných informací. Například při měření automobilové převodovky,

⁵ Měření vibrací ve vibrodiagnostice: Snímače zrychlení - akcelerometry. ZUTH, Daniel a František VOLEČEK. *Automa: časopis pro automatizační techniku* [online]. Praha: FCC Public, 2010, s. 33 [cit. 2015-04-09]. ISBN ISSN 1210-9592; ISSN 1210-9592.

je důležité měřit v určitých lokalitách a dále při volbě tohoto vhodného umístění akcelerometru musíme brát v potaz tuhost a pružnost dané konstrukce.

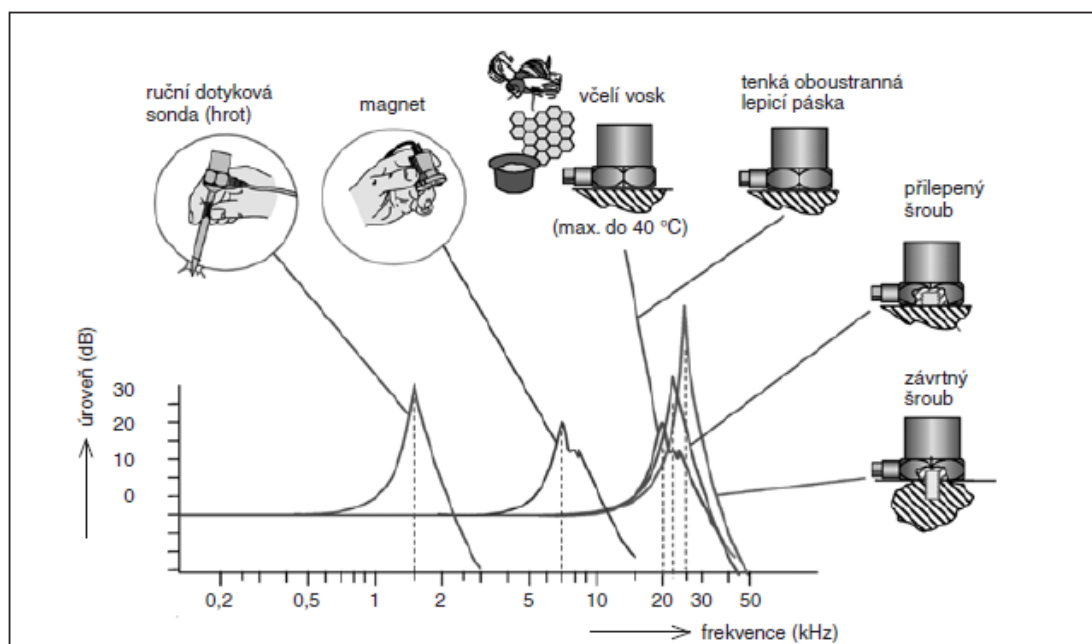
Nyní k samotnému připevnění snímačů. Existuje několik možností uchycení akcelerometrů. Každý z těchto způsobů je vhodný na určitý druh konstrukce a také na jiný rozsah frekvencí a každý tento způsob ovlivňuje frekvenční charakteristiku.

Snímače s magnetickou přichytkou a ručním hrotem jsou nejproblémovější, dosahují nejmenších hodnot ve frekvenčním rozsahu. Tyto dva druhy snímačů mají nenahraditelnou vlastnost a to nalezení vhodného měřicího místa.

Naopak nejlepších hodnot dosahují snímače se závrtným šroubem a pro zlepšení už tak jejich dobrých vlastností lze využít vazelíny nebo silikonové vrstvy ve styčných plochách.

Dobrych vlastností frekvenční charakteristiky také dosahují snímače připevnění různými lepidly a včelím voskem. U tohoto způsobu připevnění akcelerometrů je důležitá dostatečná adhezní síla. Tato síla musí být tak velká, aby udržela snímač v určitých podmínkách stroje a prostředí, ale na druhou stranu musí umožnit bezpečné sejmutí snímače, aniž by se poškodil.

Na obrázku 2.6 můžeme vidět různé druhy uchycení snímačů s vlivem na amplitudovou frekvenční charakteristiku.



Obr. 2.6: Závislost způsobu uchycení snímačů[7]

3 Rozbor diagnostikovatelných parametrů automobilových převodovek

3.1 Rozhodnutí o hlučnosti a vibrací automobilové převodovky

Rozhodnutí zdali je automobilová převodovka hlučnější, nebo má zvýšené vibrace nese velkou váhu. Převodovka je spojena s motorem automobilu a u běžné konstrukce sdílí i motorový prostor pod kapotou automobilu. Navíc z převodovky je točivý moment přenesen ke kolům pomocí poloos až ke kolům automobilu. Spojením těchto součástí automobilů způsobuje různé chvění nebo také jinak řečeno vibrace a také různý hluk. Je proto těžké zhodnotit jeli v nepořádku převodovka nebo hluk a vibrace vycházejí z jiných součástí automobilu.

3.1.1 Vyhodnocení možnosti poškození převodovky

Abychom mohli prohlásit poškozené automobilové převodovky, musíme mít k tomu pádné důvody.

Hluk odhalíme dříve než vibrace

Z mého pohledu je důležitější hluk automobilové převodovky. Vibrace nám pak slouží spíše ke zkoušení automobilové převodovky a k lepšímu vyhodnocení přesnějšího poškození. Toto tvrzení si dovoluju tvrdit z mých vlastních zkušeností. Aby prostý uživatel nebo mechanik testovací jízdou odhalil nezvyklé vibrace od automobilové převodovky, musela by být převodovka už v pokročilém stádiu poškození a její hlučnosti by byla evidentní nebo by její funkčnost byla omezená.

Jak bylo popsáno v předchozích kapitolách, automobilová převodovka se skládá hlavně z ložisek, zubových spojek a hřídelů. Vibrace způsobují hlavně tyto zmiňované součásti, tedy rotační součásti.

Někdo mi může oponovat vibracemi, které se projevují dříve než hluk. Například pitting na ložiskách, ano zde nastávají vibrace dřív než hluk a hlavně pokud se jedná o začínající pitting. Ale tyto vibrace jsou v komplexu tak malé a nedají se nijak běžným pozorováním odhalit. Pro odhalení takto malých vibrací, by se musela demontovat převodovka z automobilu a v laboratorních podmínkách za pomoci akcelerometrů a vhodnou metodou je změřit.

Pro nás je ale důležitější odhalení poškození v běžné praxi s co nejmenším počtem zvláštních přístrojů a nástrojů pro měření vibrací a hluku.

4 Praktická část – měření

4.1 Měření hluku automobilové převodovky

Měření hluku bylo provedeno na vozidle Škoda Octavia II Facelift r.v 2010 s motorizací 2.0 Tdi commonrail o výkonu 103kw a manuální šestistupňovou převodovkou.

Automobil má najeto necelých 250000km. Od motorového prostoru vychází nezvyklí hluk.

Oproti tomu automobilu pro porovnání naměřených veličin naměříme ještě jeden automobil. Také to bude škoda Octavia II Facelift r.v. 2011 s tou samou motorizací a převodovkou jako se jedná u zkoumaného automobilu. Tento druhý automobil, si můžeme označit jako za porovnávací, má najeto 150000 kilometrů a nevykazuje žádné nezvyklé známky poškození ani se neprojevuje žádná hlučnost.

Nejprve se muselo rozhodnout, zda se jedná o poškození motoru, setrvačnicku nebo o poškození převodovky. Jednoduchým způsobem jsme určily, že se jedná nejspíše o nějaké poškození převodovky a to tak, že při stání na volnoběh byl plně vyšlápnutí spojkový pedál a tím přerušen tok výkonu od motoru do převodového ústrojí automobilu. Při tomto přerušení výkonu od motoru nezvyklí hluk zmizel. A při uvolnění spojkového pedálu se daný hluk znovu objevil.

Všechny tyto měření se budou provádět v dílenském prostředí a bez jakéhokoliv většího rozebírání automobilu, tedy s co nejmenším pracovním nasazením. Měření bude prováděné samozřejmě s nastartovaným automobilem

4.1.1 Popis a postup měření

Měření hlučnosti automobilové převodovky bylo provedeno ve dvou vzdáleností. První vzdálenost měřicího přístroje byla 1m a druhá 0.3 m od převodovky.

První měření proběhlo při zařazení neutrálu, tedy při vyřazení rychlostních stupňů a druhé měření bylo při zařazeném prvním rychlostním stupni.

Jako měřicí přístroj byl použit mobilní telefon Samsung Galaxy S4 s aplikací pro měření hluku „Sound Meter“.

Automobil byl umístěn na automobilovou zdviž a zdvihnut. Poté byl z automobilu demontován spodní plastový kryt motorového prostoru, tento kryt slouží jako ochrana proti nečistotám a také jako tepelná a hluková izolace. Odrytý spodní motorový prostor a zdvihnutý automobil vidíme na obrázku 4.1 a 4.2.

Tento postup měření budeme aplikovat na oba dva automobily. V dílenském prostoru bude vše vypnuto a budou potlačeny všechny ostatní zvuky, aby měření bylo co nejméně zkresleno vlivem okolního prostředí.

Měření proběhne ve dvou osobách. První osoba bude uvnitř automobilu obsluhovat spojku, motor a plyn. Je to důležité pro zvolené režimy měření. Druhá osoba bude pod automobilem obsluhovat měřicí přístroj a zapisovat naměřené hodnoty.

Velmi důležitá je obezřetnost a bezpečnost při tomto měření. Jelikož při druhé fázi měření se bude při zatížené automobilové převodovce, tak kola automobilu budou v pohybu a hrozí nebezpečí úrazu. Proto je potřebná velká obezřetnost obou osob, aby nedošlo k žádnému nebezpečí pro druhou osobu, která bude v těsné blízkosti pohybujících se kol.



Obr. 4.1: Zdvihnutý zkoumaný automobil



Obr. 4.2: Pohled na již vyměněnou převodovku

4.1.2 Měření hluku u zkoumaného vozu

Měření č. 1 – neutrál

Tabulka 4.1 nám ukazuje hodnoty závislé na otáčkách a vzdálenosti u zkoumaného vozidla při vyřazených rychlostních stupních. Tedy motor je bez zátěže a krouticí moment se z motoru nepřenáší na kola automobilu.

	vzdálenost [m]	
neutrál	1	0,3
<i>Otáčky [ot/min]</i>	hluk v dB	
850	78	82
1500	87	90
2500	90	92

Tab. 4.1: Zkoumaná převodovka při neutrálu

Měření č. 2 – zařazený 1. rychlostní stupeň

U měření číslo 2 nám tabulka 4.2, také ukazuje hodnoty hluku v dB závislé na otáčkách motoru a vzdálenosti měřicího přístroje od automobilové převodovky. Nyní je hluk měřen při zařazeném prvním rychlostním stupni, tedy krouticí moment od motoru je přenášen přes automobilovou převodovku na kola automobilu, která jsou bez zatížení ve vzduchu.

	vzdálenost [m]	
1. rychlost	1	0,3
<i>Otáčky [ot/min]</i>	hluk v dB	
850	80	83
1500	88	92
2500	91	93

Tab. 4.2: Zkoumaná převodovka při 1. rychlostním stupni

4.1.3 Měření hluku u porovnávacího vozidla

Měření č. 3 – neutrál

V tabulce 4.3 jsou hodnoty hluku v dB naměřeny za stejných podmínek jako u měření č. 1, akorát byly naměřeny na porovnávacím automobilu.

	vzdálenost [m]	
neutrál	1	0,3
<i>Otáčky [ot/min]</i>	hluk v dB	
850	73	77
1500	82	85
2500	84	89

Tab. 4.3: Porovnávací převodovka neutrál

Měření č. 4 – zařazen 1. rychlostní stupeň

Tabulka 4.4 s hodnoty hluku naměřených na porovnávacím vozidle odpovídající podmínkám stejných jako v měření č. 2

	vzdálenost [m]	
1. rychlost	1	0,3
<i>Otáčky [ot/min]</i>	hluk v dB	
850	77	79
1500	83	88
2500	85	90

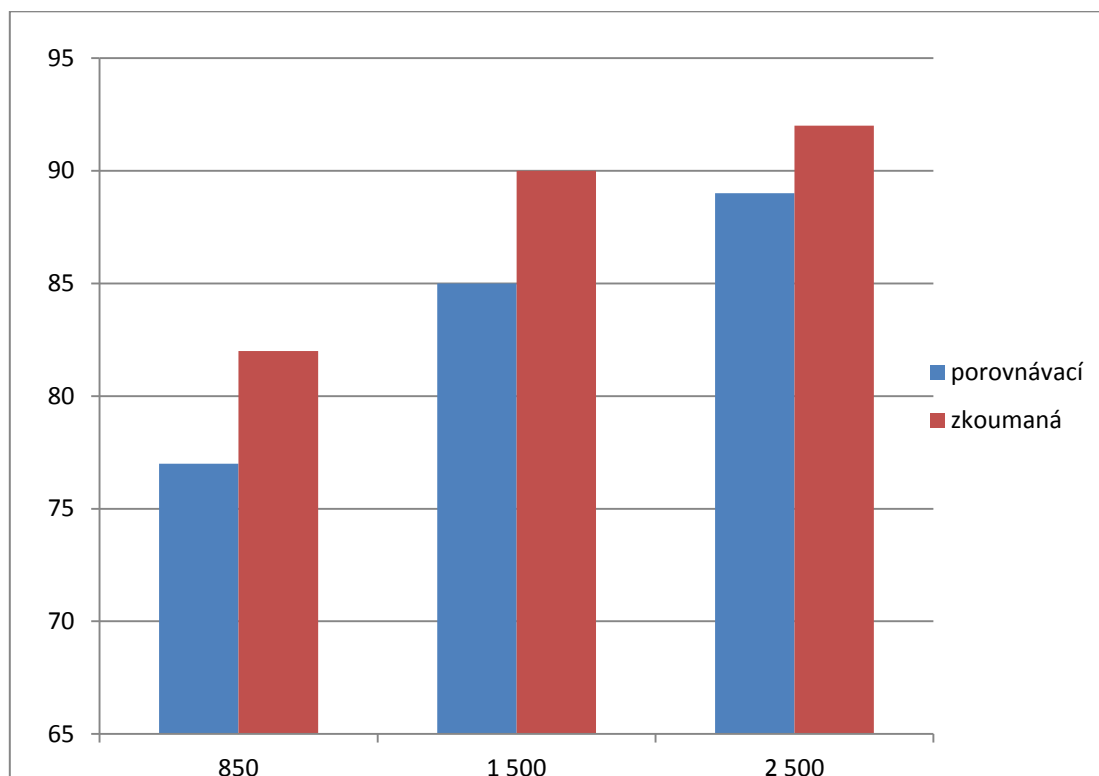
Tab. 4.4: Porovnávací převodovka při 1. rychlostním stupni

Vyhodnocení měření

Nejdříve jsme naměřili zkoumanou převodovku a k ní jsme měřili jako porovnávací měření stejný typ automobilové převodovky nevykazující žádný nezvyklý hluk.

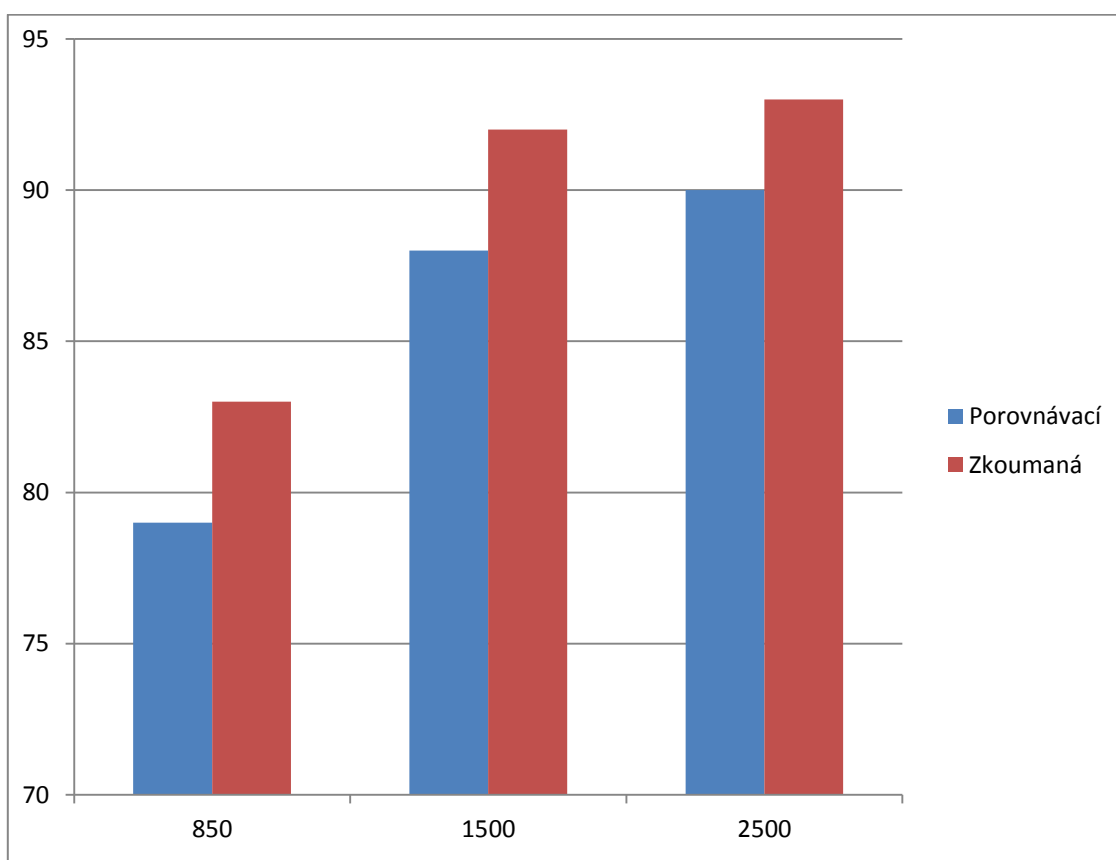
Nyní máme naměřeny hodnoty, které spolu můžeme porovnat. Pro lepší orientaci z naměřených hodnot, jsem vytvořil sloupcové grafy.

První graf 4.1 máme vytvořený z hodnot naměřených při nezatíženém stavu převodovky, tedy při zařazeném neutrálu. Červený sloupec představuje hodnoty zkoumané převodovky „poškozené“ a modrý sloupec představuje hodnoty porovnávací převodovky „nepoškozené“. Graf 4.1 je vytvořený jen z hodnot, které byly naměřeny měřicím přístrojem ve vzdálenosti 0,3 m od automobilové převodovky. Tyto údaje považuji za méně zkreslené od hluku motoru.



Graf 4.1: Vyhodnocení hodnot při neutrálu

Druhý graf 4.2 nese výsledky z měření při zatížené automobilové převodovce. Tedy u toho to měření byl zařazen první převodový poměr a krouticí moment se přenášel na kola automobilu, avšak poháněná kola automobilu byla ve vzduchu bez zatížení. Tento graf 4.2 byl také jako první vytvořen z hodnot naměřených blíže k automobilové převodovce. Aby se nám hodnoty nepletly, červený sloupec zase odpovídá „poškozené“ a modrý „nepoškozené“ automobilové převodovce.



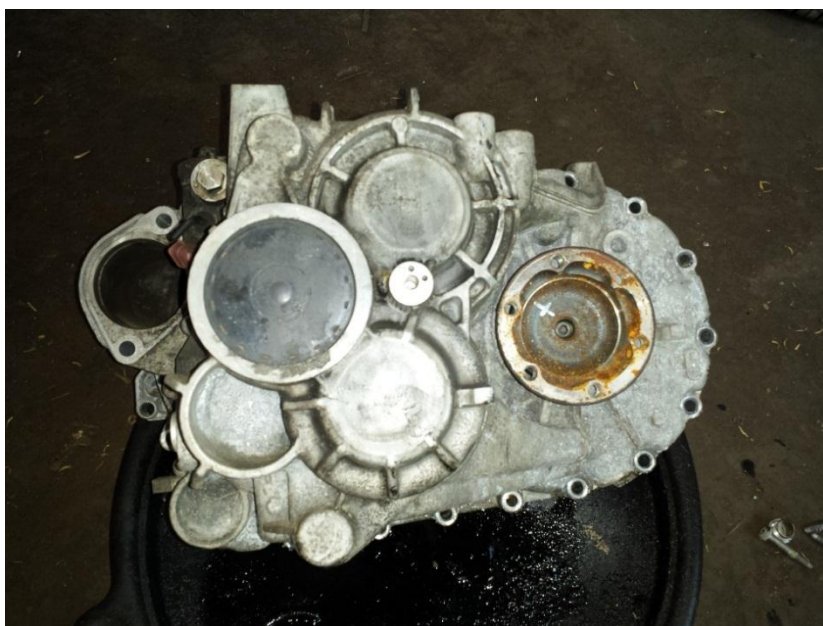
Graf 4.2: Vyhodnocení hodnot při 1. rychlostním stupni

Jak u grafu 4.1 tak i grafu 4.2 je porovnávací hodnota o několik decibelů nižší a podle mého usouzení už není v toleranci. Pokud by zkoumaná převodovka, byla v pořádku, dovoluji si tvrdit, že by se rozdíl v naměřených hodnotách klidně mohl pohybovat kolem rozmezí od -2 do +2 decibelů. Zkoumaná automobilová převodovka vykazuje známky poškození.

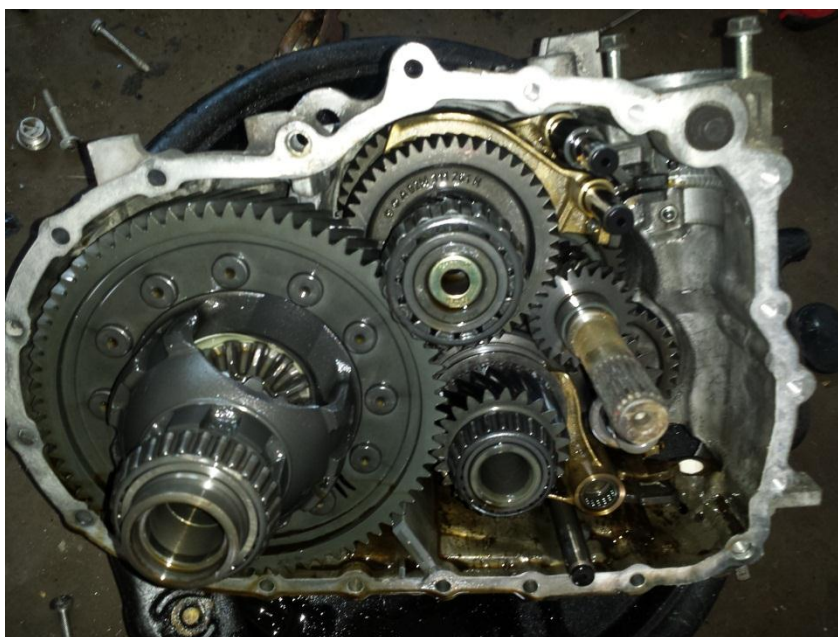
Bohužel z této metody nepoznáme, o jaké poškození součásti jde. V každém případě musíme převodovku demontovat z vozidla, rozebrat ji a zkontrolovat jednotlivé součásti.

Demontáž a kontrola posuzované automobilové převodovky

Měřenou automobilovou převodovku jsem demontoval z vozidla a vypustil z ní olej jak je vidět na obrázku 4.3. Poté došlo k odmontování šroubů, které spojují levou a pravou část převodové skříně. Na dalším obrázku 4.4 již vidíme oddělené části převodové skříně a „vnitřnosti“ automobilové převodovky. Podrobným zkoumáním a zkoušením jsem hledal příčinu vzniku hluku v automobilové převodovce. Podrobné fotky, jednotlivých hřídelů a jednotlivých kol této zkoumané automobilové převodovky nalezneme v příloze č. 1.



Obr. 4.3: Měřená převodovka po demontáži z vozu



Obr. 4.4: Měřená převodovka po oddělení skříní od sebe

Po důkladném prozkoumání automobilové převodovky bylo odhaleno vadné valivé ložisko. Tímto ložiskem je uložena vstupní hřídel do převodové skříně. Došlo k porušení valivých elementů a zadírání ložiska. Ložisko a vstupní hřídeli vidíme na obrázku 4.5.

Přidřené ložisko nedokázalo přenášet vysoké otáčky hřídele a došlo k jeho zahřívání. Vnější kroužek valivého ložiska byl zalísován do převodové skříně, zahříváním došlo k zvětšení vůle v uložení a zadírání ložiska mělo za následek otáčení vnějšího kroužku v převodové skříně a jejímu poškození.



Obr. 4.5: Vstupní hřídel s poškozeným valivým ložiskem na konci

Poškození převodové skříně od zadřeného ložiska vidíme na obrázku 4.6. Tento typ poškození nám znemožňuje použít tento díl automobilové převodovky znovu po výměně valivého ložiska. Valivé ložisko by mělo velkou vůli v uložení. Proto lepším způsobem opravy této převodovky a automobilu bude výměna převodovky za jinou.



Obr. 4.6: Detail poškození uložení valivého ložiska v převodové skříní

4.2 Měření Vibrací

Měření vibrací automobilových převodovek vyžaduje obvykle demontáž automobilové převodovky. Měření vibrací přímo na automobilu nemá tak velkou váhu jako měření převodovky demontované z vozidla.

Měření vibrací přímo na vozidle by mohlo být zkreslováno vibracemi od ostatních mechanických součástí vozidla.

Jakým způsobem vznikají vibrace v automobilové převodovce

Největším budičem vibrací v automobilových převodovkách je ozubení a valivá ložiska. Pro zjišťování mechanických poškození těchto převodovek se používá měření frekvenčních spekter vibrací. U uvedeného způsobu, vycházíme z metody řádové analýzy a technické diagnostiky. Tato metoda umožňuje ve složitě automobilové převodovce sledovat stav ozubených kol, soukolí a také valivých ložisek.

4.2.1 Ozubená soukolí

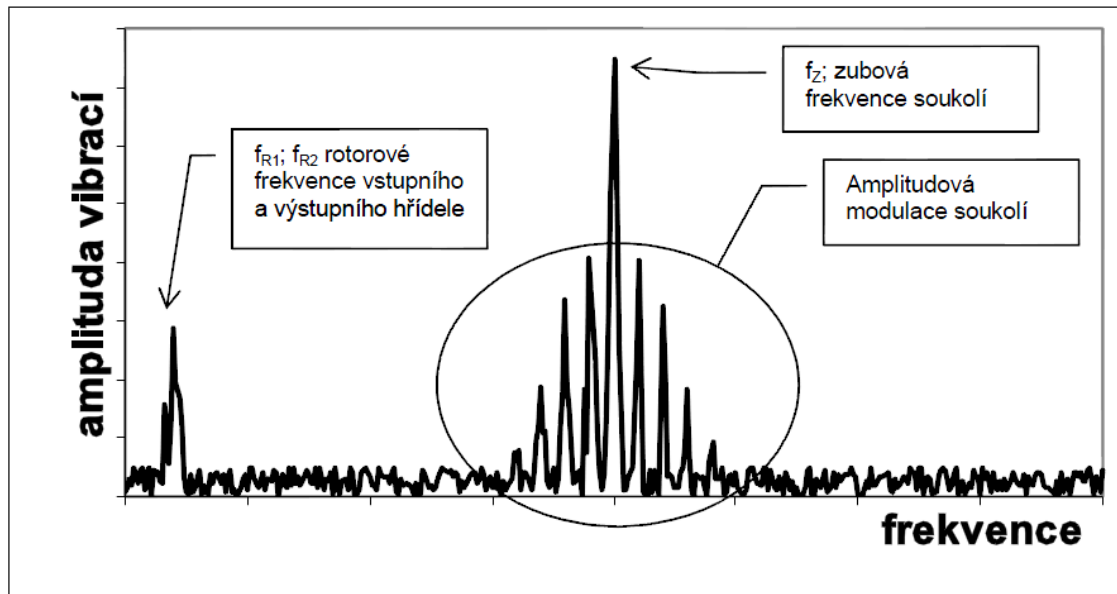
Je to strojní spojení, u kterého je velmi důležitá kvalita zpracování ozubení každého kola ze záběru. Další důležitým faktorem je způsob konstrukce, jak jsou jednotlivá kola uložena, sestaveny do převodové skříně a na hřídele.

Zuby ozubených kol jsou spolu v kontaktu, frekvence tohoto kontaktu se nazývá zubová frekvence f_z . K této zubové frekvenci se dostaneme výpočtem (1), kde f_R je rotorová frekvence ozubené kola a n_1 je počet zubů daného kola.

$$f_z = f_R * n \quad (1)$$

Vibrace ozubených soukolí se projevují zubovou frekvencí f_z , $2f_z$, $3f_z$ a každá zubová frekvence je doprovázená postranními pásmy. Postranní, nebo boční pásma, odpovídají kvalitě ozubení, mazání, obvodové rychlosti a na celkovém zatížení zubů, jejich vzdálenost odpovídá rotorové frekvenci f_R jednoho z hřídelů a to je zdroj amplitudové modulace.

Typické spektrum ozubeného soukolí je zobrazeno na obrázku 4.7. Ve spektru je výrazná zubová frekvence f_z , kolem ní vidíme amplitudovou modulaci, která je daná bočními pásmy. Rotorové frekvence jsou patrné v nízkých frekvencích.



Obr. 4.7: Ukázka typického spektra vibrací [9]

Dvojnásobná harmonická frekvence k zubové frekvenci $2f_z$

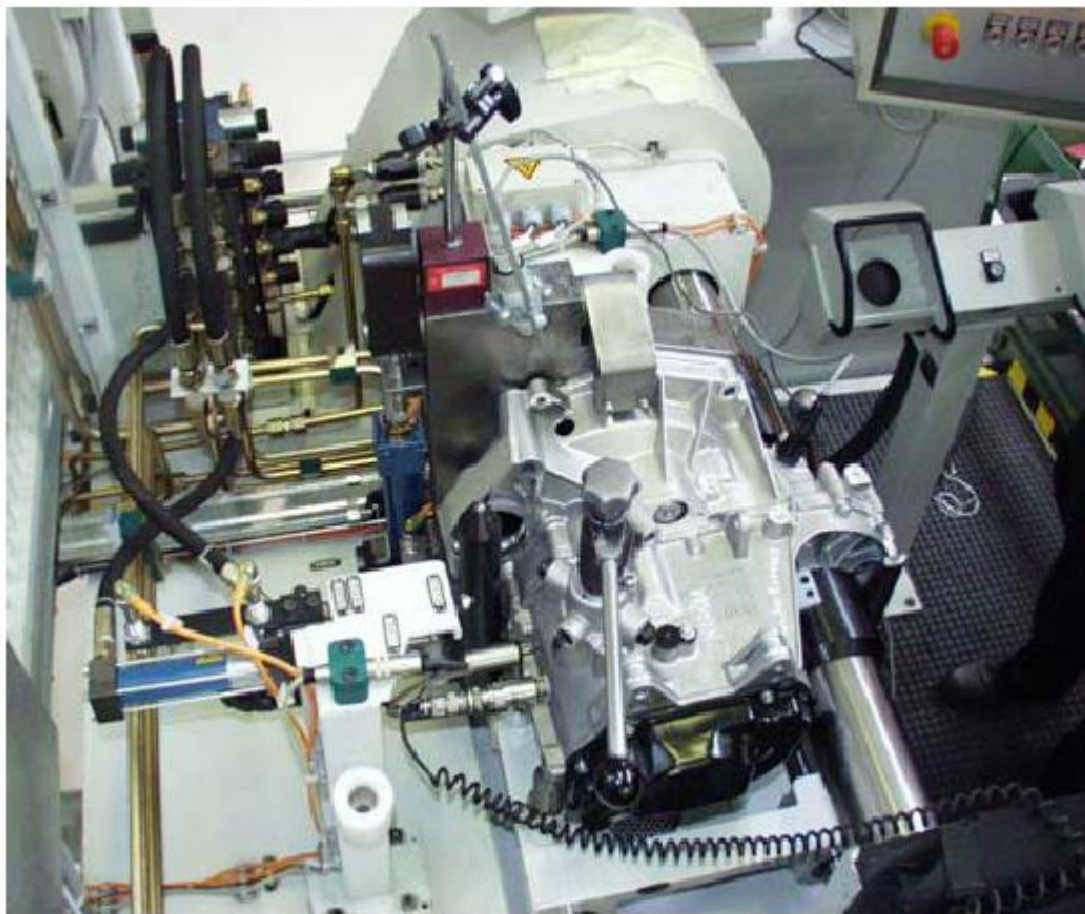
Pokud je výrazná amplituda v axiálním i radiálním směru, v tomto místě je značné opotřebení ozubení. Označení zubové frekvence $2f_z$ nám odpovídá velikosti frekvence v Hz.

Vyšší harmonické frekvence k zubové frekvenci kf_z

Jsou-li ve frekvenčním spektru modulovány vyšší amplitudy na harmonických frekvencích, tak potom tyto vyšší amplitudu indikují pokročilé poškození. Označení zubové frekvence k_z , kde k je celé číslo většinou vyšší než 2, a odpovídá také velikosti zubové frekvence v Hz.

4.2.2 Ukázka měření vibrací na automobilové převodovce

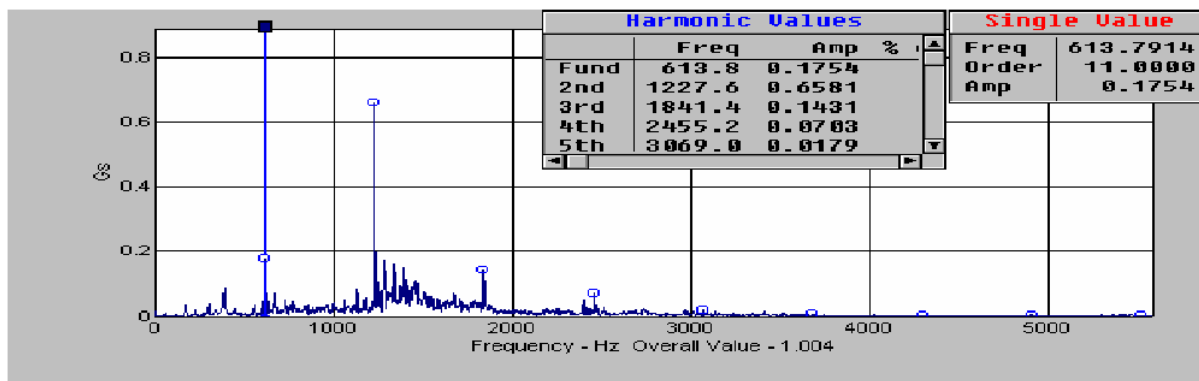
Jedná se o pětistupňovou automobilovou převodovku z vozu Škoda Octavia II 1.9TDi. Měření bylo provedeno na měřícím stanovišti v laboratoři za použití analyzátoru vibrací SKZ a programu PRISM4. U této převodovky bylo podezření na větší vůli uložení vstupní hřídele v brýlích, které jsou přimontovány k obalu převodovky a také na špatný stav ozubení stálého záběru. Na obrázku 4.8 vidíme umístění převodovky do měřicí stanice a umístění snímače zrychlení.



Obr. 4.8: Měřicí stanice automobilových převodovek[6]

Před výměnou poškozených součástí

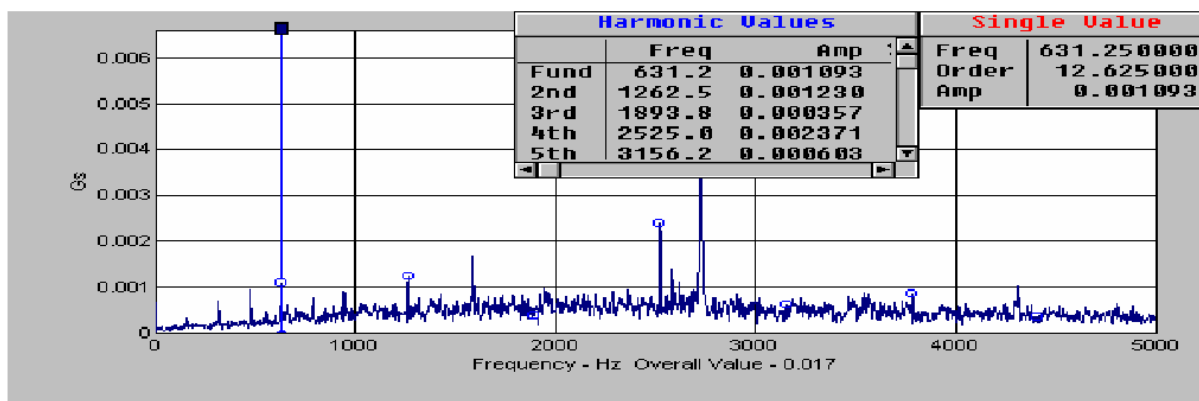
Na obrázku 4.9 je spektrum vibrací při zařazením 1. Rychlostním stupni. Měření bylo prováděné v tahu řádovou analýzou. Z výsledného spektra vibrací je vidět několik vyšších amplitud. Vidíme zde vysokou první a druhou harmonickou složku. Ty odpovídají zubové frekvenci na soukolí vstupního hřídele.



Obr. 4.9: Spektrum vibrací před výměnou[6]

Po výměně poškozených součástí

Obrázek 4.10 odpovídá spektru vibrací po vymezení vůle uložení vstupního hřídele a po výměně soukolí stálého převodu. Jak je možné vidět ze spektra vibrací, všechny harmonické složky jsou významně nižší než z předchozího měření vibrací před výměnou součástí



Obr. 4.10: Spektrum vibrací po výměně[6]

4.2.3 Možné poruchy ozubených kol a soukolí

Mírné opotřebení zubů – je to mírné opotřebení povrchu zubů ozubených kol. Při tomto opotřebení jsou zahlazeny povrchové nerovnosti za menší nepřítomnosti maziva. Toto opotřebení má v začínajícím stádiu pozitivní výsledky. Jsou vzájemně zahlazeny nerovnosti spolu zabírajících ozubených kol a tím dojde ke snížení hlučnosti a snížení vibrací. Důležité je zastavení toto opotřebení v dostačující době, aby se dále nerozvíjelo.

Opotřebení vlivem abraziv – přítomnost kovových třísek a jiných abrazivních částic v mazivu, má za důsledek opotřebení zubů a jejich zeslabování a vydírání.

Pitting záběhový – nastává u nových ozubených převodů. Vznikají malé jamky a tím se zvětšuje styková plocha. Po nějaké záběhové době se tvorba jamek zastaví a boky zubů jsou uhlazené.

Pitting destruktivní – Pokud nastane větší zatížení, dojde k vytvoření větších jamek a tím se zničí celá plocha zubů.

Spalling – je to odlupování povrchové vrstvy zubů ozubených kol. Tento jev je typický pro tvrzené zuby ozubených kol. Dojde k odloupení větší plochy zubů.

Scuffing – zadření vlivem nedostatečné vrstvy mazacího filmu. Při zatížení dochází mezi plochy zubů spolu zabírajících ozubených kol k mikro svarům. Tyto mikro svary jsou mezi vrcholky nerovností boků zubů a následně dojde k jejich porušení.

Ridging – je způsoben plastickou deformací a nastává při velkých zatížených a malých rychlostech. Ve směru kluzné rychlosti napříč bokem zubů, se projeví jako série vrcholků a propadů.

Lom zubů – u lomu zubů rozlišujeme dva druhy a to lom únavový a lom z přetížení. U lomu z důsledku únavy dojde při opakovaním přetížení nad únavovou mez nebo časované pevnosti materiálu. V pate zubu se koncentruje napětí, kde také dojde k zpravidla k lomu. Lom z přetížení vzniká vysokým zatížením nad mez pevnosti v tahu. Tomuto poškození je stěží zabránit. Je nepředvídatelné, protože závisí na ostatních součástích celého systému.

4.2.4 Ložiska

Ložiska jako taková nám umožňují pohyb jednotlivých součástí vůči sobě. Většinou jsou použita pro otáčivé uložení hřídelů, čepů ale také se dají použít pro zadržení proti posuvnému pohybu těchto součástí nebo naopak pro jejich vzájemný posuvný pohyb.

Jelikož vnitřnosti automobilové převodovky tvoří převážně ozubená soukolí, umístěná na několika hřídelích jsou ložiska důležitým faktorem životnosti takové převodovky. Otáčivý pohyb jednotlivých součástí je doprovázen zatížením vytvářející tření. Při vytvoření tření dochází k energetické ztrátě a opotřebení.

V dnešních automobilových převodovkách se používají výhradně valivá ložiska, pro jejich menší tření, nenáročnou údržbu, menší ložiskovou vůli než kluzná ložiska. A hlavně se používají pro možnost přenosu radiálních a axiálních sil.

Valivá ložiska

Hřídel se stýká s ložiskem nepřímo přes valivá tělesa. Valivá tělesa mohou být formou kuliček, válečků a kuželíků.

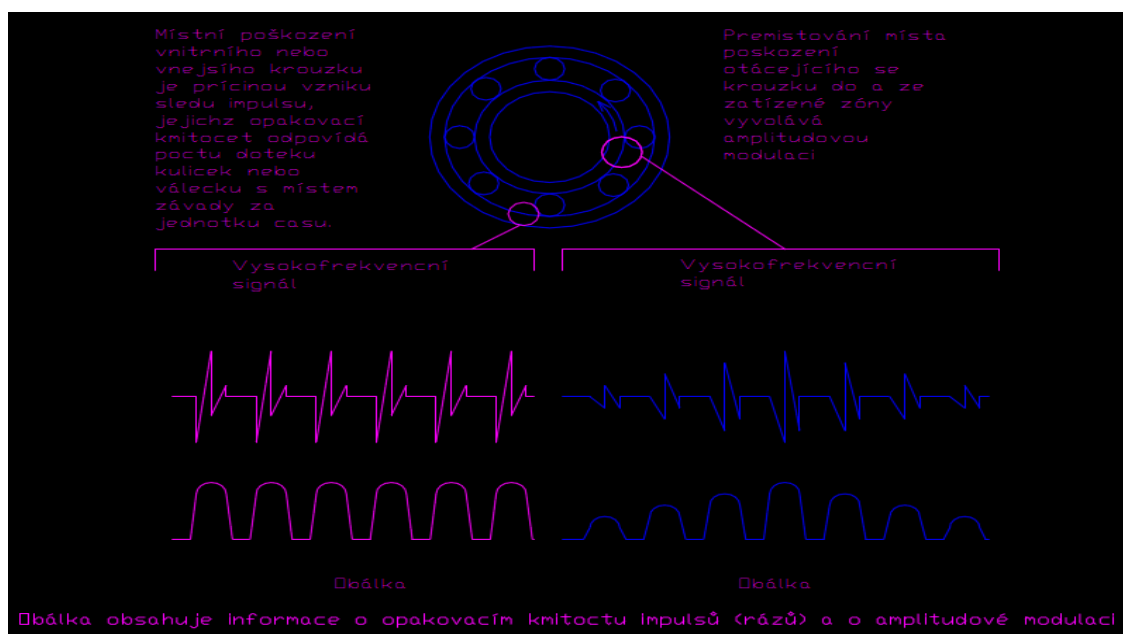
Frekvenční analýzou se dá zjišťovat nesouosost, mechanické poškození, nedostatečné mazání nebo přetížení ložiska.

Obálková metoda

S touto metodou obálkové analýzy je umožněno detekovat impulsní signály od závad o mnoho dříve, než je to u ostatních metod. Tato možnost je způsobena technikou zpracování signálu, tzv. Obálkou zrychlení.

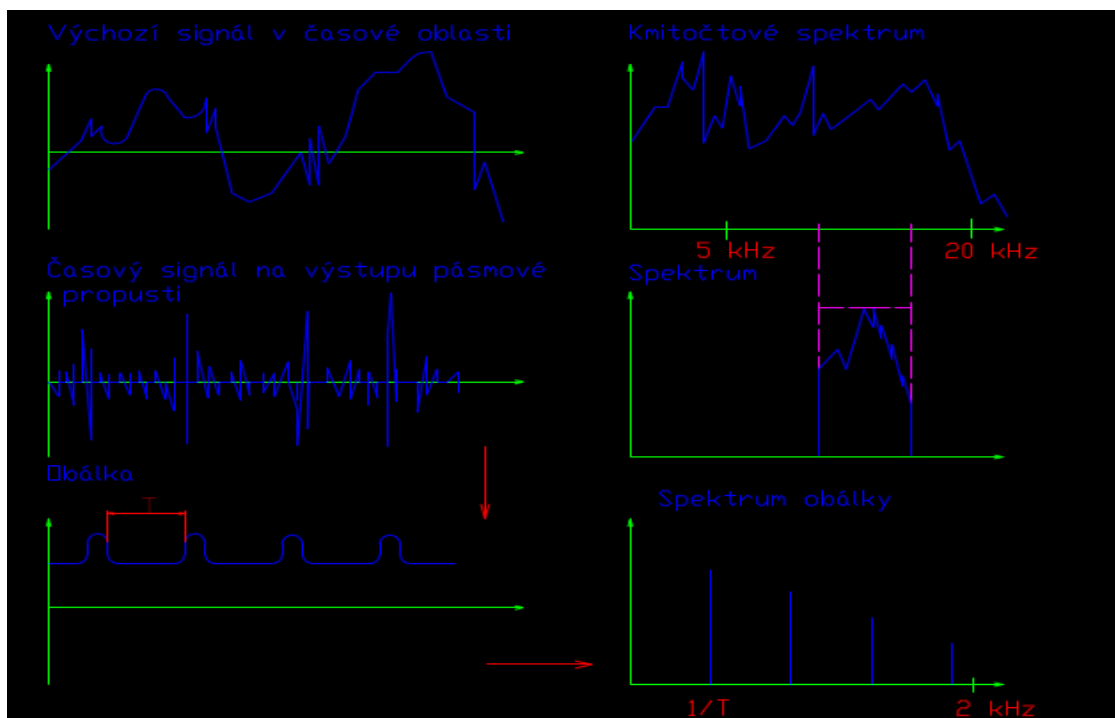
V této metodě jsou odfiltrovány rotační vibrační signály a opakující se složky vad ložisek jsou zesíleny.

Na obrázku 4.11 je možné jak se projevuje závada v raném stádiu. Vyskytují se zde ostré impulsy s malou kinetickou energií.



Obr. 4.11: Obálková metoda - závady v raném stadiu [9]

Měřené spektrum na obrázku 4.12 se zvětšenými složky amplitud, odpovídá signálu v časové oblasti filtrovaného s pásmovou propustí překrývajícího kmitočtového pásma. Závady jsou vybuzené impulsy, vibrace zobrazeny jako signál na výstupu pásmové propusti s vysokými kmitočty. Důležité jsou výchozí impulsy u nich, obnovení opakovací kmitočet vzhledem ke zpracovanému signálu.



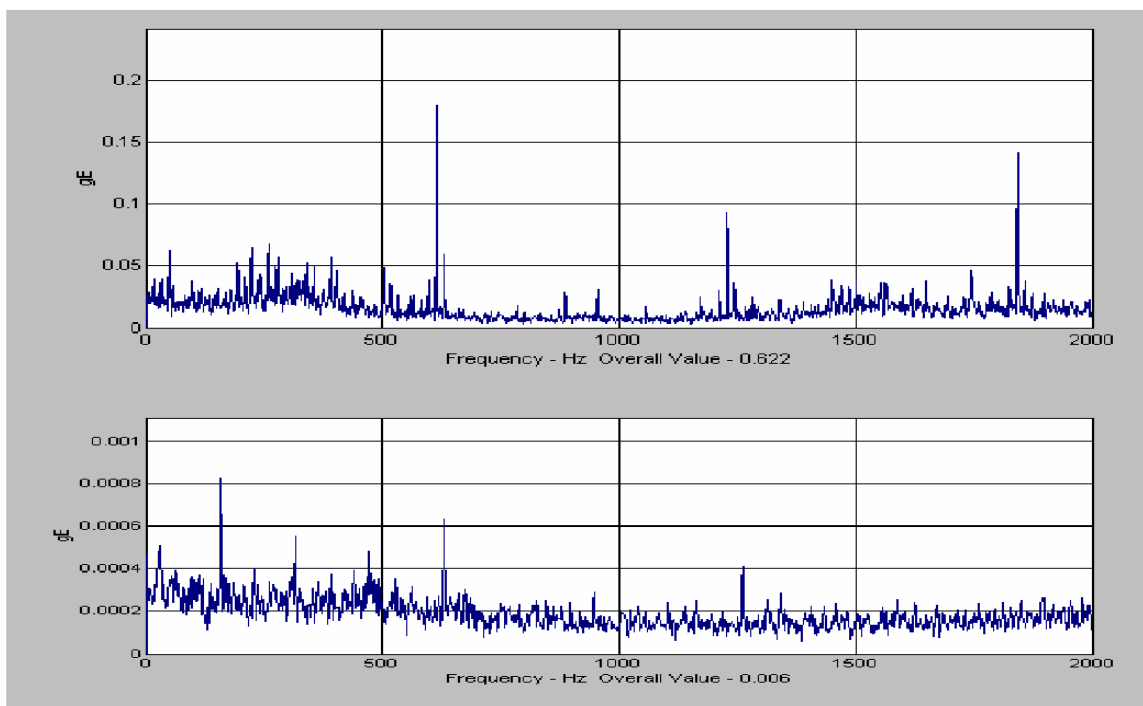
Obr. 4.12: Obálková metoda – spektru obálky[9]

Rychlou Furierovou transformací a za pomoci analyzátoru se přesně tento kmitočet určí. Výsledné hodnoty opakovacího kmitočtu impulsů odpovídají závadám ložiska. Za pomoci výpočtu kmitočtů a následným porovnáním kmitočtů získaných z analyzátoru se dají přesně odhalit poškozené součásti.

Zjednodušeně tedy obálková metoda je zvýraznění malých signálů. Ložiskové signály o vyšší frekvenci jsou odděleny od nižších frekvencí vibrací. Je to tedy odfiltrování vibrací s nízkými kmitočty a zvýraznění signálů od vad ložisek. Aplikace této metody je nejčastěji použita pro závady valivých ložisek, kde amplituda opakujícího signálu může být skryta ve vibračním šumu stroje a ostatních součástí.

4.2.5 Ukázka měření valivého ložiska

V tomto měření bylo provedeno měření na automobilové převodovce se začínajícím poškozením valivého ložiska na pastorku uloženého v brýlích převodovky. Na obrázku 4.13 vidíme obálku zrychlení valivého ložiska. Jsou zde vidět dvě spektra, horní spektrum odpovídá před výměnou ložiska a druhé spektrum je po výměně valivého ložiska pastorku.

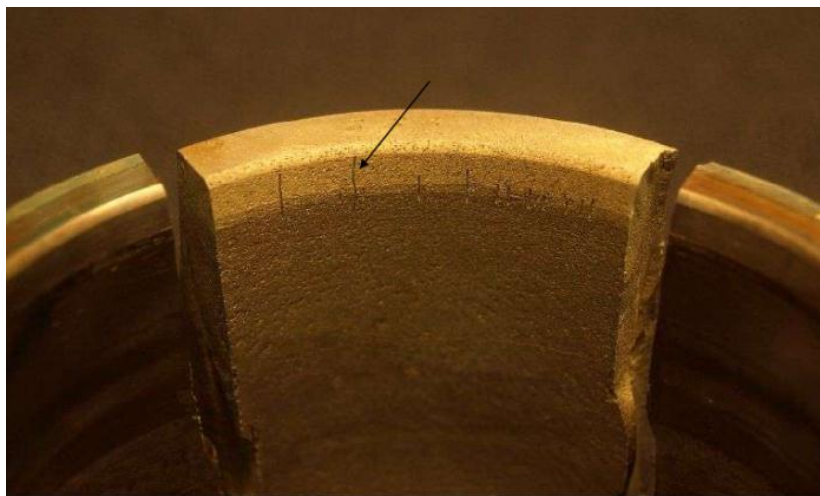


Obr. 4.13: Měření vibrací valivého ložiska[6]

4.2.6 Možné poruchy ložisek

Vady ložisek při výrobě

Spálení povrchu – například při brusných operacích může dojít k brusným trhlinám na vnitřním nebo vnějším kroužku. Brusná trhlinka poté způsobí při zatížení nebo při montáži lom a dojde k poškození ložiska. Na obrázku 4.14 a 4.15 je vidět rozvoj trhlin, jejichž vznik byl při broušení.

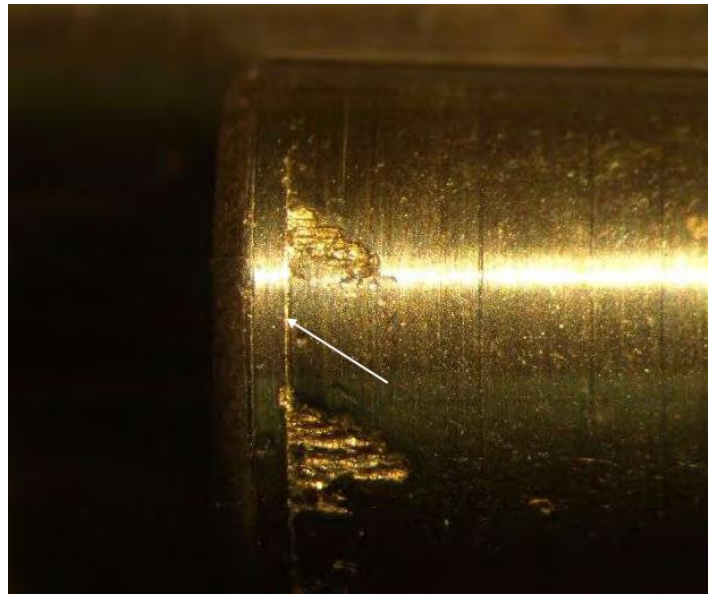


Obr. 4.14: Spálení povrchu ložiska – rozvoj trhlin 1[11]



Obr. 4.15: Spálení povrchu ložiska – rozvoj trhlin 2[11]

Nesprávný tvar – Různé tvarové výstupky mají za následek nárůst napětí právě v tomto místě a dojde k vytvoření pittingu, tedy k povrchové únavě. Další možností nesprávného tvaru je nedodržení předepsaných tolerancí tvaru, jenž je důsledkem nezvyklého pohybu valivých tělísek. Na obrázku 4.16 vidíme tvarový výstupek, který měl za následek vysoký nárůst povrchového napětí, díky němuž nastal rozvoj pittingu.



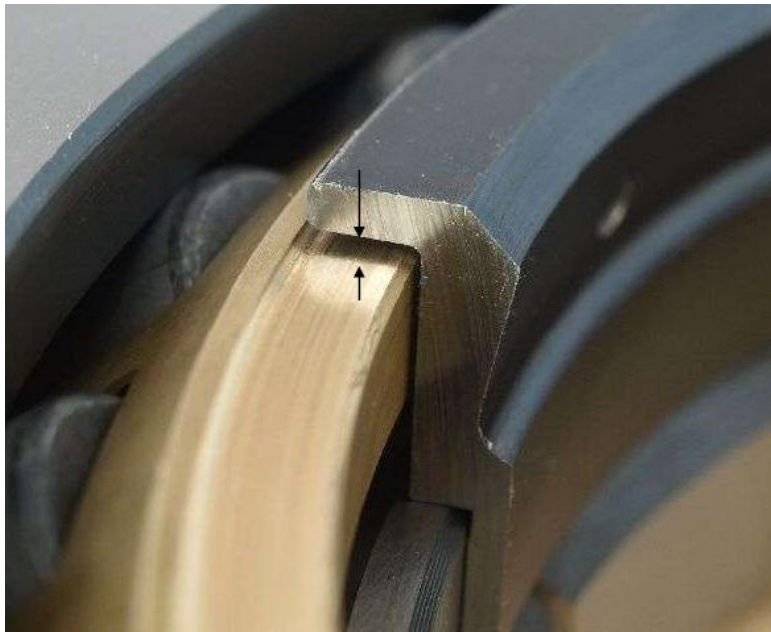
Obr. 4.16: Nesprávný tvar ložiska – výstupek [11]

Obrázek 4.17 ukazuje na rozdílné rádiusy soudečků co má za následek nesprávný pohyb soudečků v oběžné dráze a její vydírání.

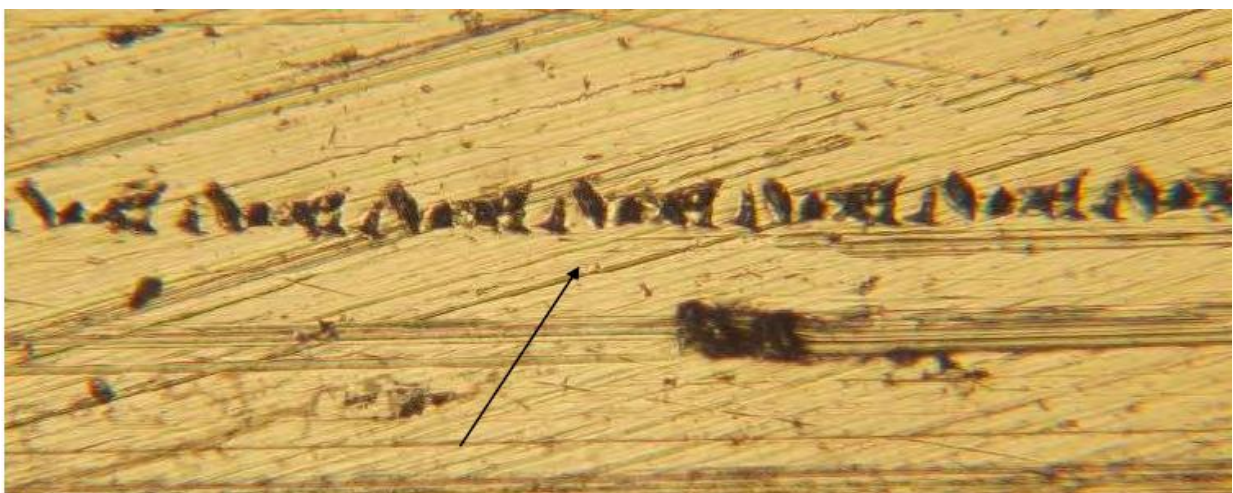


Obr. 4.17: Nesprávný tvar ložiska – rozdílné rádiusy [11]

Čistota při výrobě – je velmi důležitá, aby se cizí tělísko nemohlo při konečné montáži ložiska dostat například mezi valivá tělíska a klec ložiska. Díky nečistotě na pracovišti, vnikla kovová tříška z obrábění mezi vnitřní kroužek a klec ložiska jak je vidět na obrázku 4.18, tato nečistota, zapříčinila vydření stopy na čelu klece, tuto stopu můžeme vidět ve stonásobném zvětšení na obrázku 4.19



Obr. 4.18: Tříška z obrábění v ložisku [11]



Obr. 4.19: Tříška z obrábění v ložisku – 100x zvětšeno [11]

Vady ložisek z vnějších vlivů

Degradace maziva – pokud vlivem polymerizace degraduje mazivo v automobilové převodovce, dojde k ztížení pohybu valivých tělísek v ložisku a tím se začne ložisko více zahřívat, než dojde k jeho úplnému zadření. Na obrázku 4.20 vidíme degradované mazivo a vněm tužší kousky maziva. Co se stane s ložiskem díky degradovanému mazivu je vidět na obrázku 4.21.



Obr. 4.20: Degradované mazivo [11]



Obr. 4.21: Degradované mazivo – valivá tělíška [11]

Znečištění maziva – je-li mazivo znečištěné, může dojít tzv. k pittignu. Jak už z předchozích odstavců víme, je automobilová převodovka složená ze strojních součástí, která se po sobě odvalují, po čase se může v mazivu objevit větší množství kovových třísek a to může mít za následek zadření ložisek.

Nedostatečná vrstva mazacího filmu – nedostatek maziva nebo jeho špatná volba má za následek nepřítomnost nebo malý výskyt elastohydrodynamického mazacího filmu a tím pádem dojde k nežádanému kontaktu valivých tělísek s klecí ložiska a vzniká tzv. pitting.

Nedostatečné vrstva mazacího filmu měla za následek vydření oběžných drah od valivých tělísek, jak je tomu na obrázku 4.22, kde je zobrazen vnější kroužek ložiska. Na obrázku 4.23 vidíme vnitřní kroužek ložiska také s vydřenými oběžnými drahami, ale zde už nastal rozvoj pittingu.

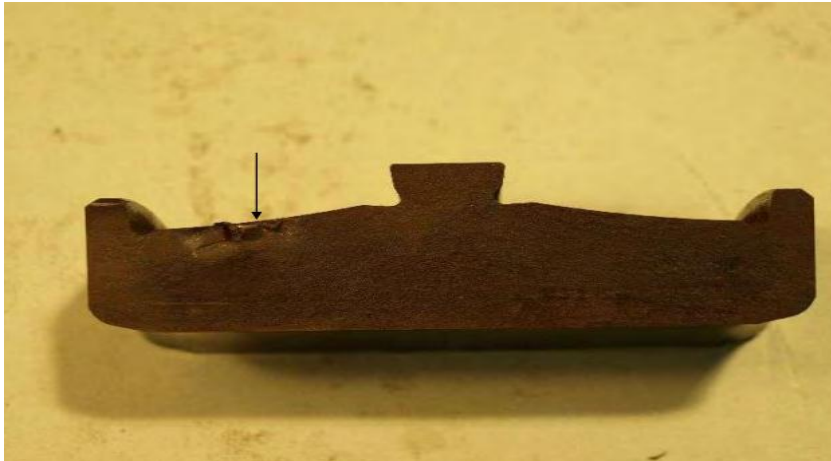


Obr. 4.22: Vydřené oběžné dráhy[11]



Obr. 4.23: Vydřené oběžné dráhy s rozvojem pittingu [11]

Koroze – většinou nastane při dlouhodobé odstavení a nečinnosti mechanismu. Lom může vzniknout stykem narezlých částí, které jsou ve společném styku. Na obrázku 4.24, vidíme v řezu počátek trhliny vlivem koroze. Zkorodovanou část ložiska vidíme na obrázku 4.25.



Obr. 4.24: Řez ložiskem – počátek trhliny[11]



Obr. 4.25: Zkorodované ložisko[11]

Špatná volba ložiska pro dané uložení – ložisko může být zničeno působením axiální síly a tím dojde k vyosení valivých tělísek mimo oběžnou dráhu.

Nevhodně volené ložisko pro zatížení – tímto může dojít k přetížení ložiska. Například vlivem axiálního zatížení, které bylo vyšší než pro zvolené ložisko a tím došlo k poškození oběžné dráhy.

4.3 Odhalení hluku a vibrací vnímáním

Další způsob, který bych chtěl zmínit je odhalení hluku a vibrací lidskými smysly. Podle mě je to jeden z velmi důležitých způsobů jak odhalit špatný mechanický stav automobilové převodovky.

I „lajk“ může „změřit“ hluk a vibrace

I obyčejný „lajk“ může rozeznat neobvyklý hluk, vibrace nebo špatné přeřazování rychlostních stupňů v automobilové převodovce. A i když přesně neví co se právě děje v jeho autě, zajede do nějakého autoservisu, kdy by si s tím měli poradit.

A i tento „lajk“ vlastně provedl své vlastní „měření“. Pokud se mu na svém autě něco nezdálo, určitě několikrát vypínal rádio a byl co nejvíce potichu, aby slyšel co nejvíce hluku od motorového prostoru. Nejednou otvíral kapotu motoru a přidával plyn. Možná i položil ruku na převodovku a motor, jestli se nechvěje.

A právě sledem těchto úkonů, prováděl své vlastní „měření“, kterým došel, že je s největší pravděpodobností něco v nepořádku.

Možné nástroje na změření hluku a vibraci

I když nemáme profesionální měřicí přístroje, jak špičkové servisní střediska nebo laboratorní stanice, můžeme si vystačit s levným nástrojem, který nám díky našich smyslů může pomoci odhalit vibrace nebo hluk uvnitř automobilové převodovky. Takový to nástroj vidíme na obrázku 4.26.



Obr. 4.26: Dílenský stetoskop

Jde o dílenský stetoskop opatřený zesilující membránou. Tento stetoskop se používá stejně jako ten, který se používá u lékařů. Konec stetoskopu přikládáme na automobilovou převodovku (může to být i jiná mechanická součást) a posloucháme hluk a vibrace. Tyto veličiny jsou přenášeny přes zesilující membránu až do našich uší. Vibrace se přemění také na hluk a jsou zesíleny a mi můžeme odhalit například, přídřené ložisko.

Pokud nevlastníme ani tento dílenský stetoskop můžeme ho nahradit například šroubovákem nebo kovovou tyčkou. V příloze č. 2 můžeme vidět tyto různé nástroje a jak je použít.

Závěr

Tato bakalářská práce se věnovala vysvětlení základní funkčnosti automobilových převodovek a důvod proč je používáme. Byla zde podrobněji popsána nejrozšířenější manuální automobilová převodovka, používána ve vozidlech firmy Škoda Auto a.s. Také v teoretické části byl vysvětlen hluk a vibrace se základním popisem měřidel těchto fyzikálních veličin. V druhé části převodovky bylo ukázáno, jak probíhá měření vibrací automobilových převodovek zvláště na ozubených převodech a valivých ložiskách. Měření hluku bylo ukázáno a provedeno přímo na automobilové převodovce v dílenských prostorách, tak jak by si to mohl změřit každý z nás a s následným rozebráním této převodovky a ukázání elementu, který zapříčinil hluk.

Z první části bakalářské práce vyplývá, že převodovka se skládá z mnoha funkčních součástí. Všechny tyto části jsou většinou pohyblivé a při provozu automobilu namáhané. Proto je vždy těžké, určit o jaké poškození se jedná.

Při měření vibrací je možné dnešními používanými metody se co nejvíce přiblížit pravdě, v některých případech, pokud máme i možnost si změřit nebo máme k dispozici hodnoty „nepoškozené“ převodovky a jednotlivých součástí, přímo určit vadnou součástku automobilové převodovky. Ale toto měření je náročné na vybavení a spíše bych ho doporučoval při výrobě automobilových převodovek, kdy je zapotřebí rozhodnout, jestli je převodovka dobře vyrobená a sestavená.

Pro běžnou údržbu vozidla a běžný servis vychází jako levnější a přijatelnější způsob je měření hluku automobilové převodovky. Jak je patrné z části 4.1, potřeboval jsem k tomu pouze „chytrý“ telefon s aplikací na měření decibelů. Nevýhodami této metody je potřeba znát správné hodnoty decibelů dané převodovky a také to, že nemůžeme poznat poškozenou součást převodovky. Je třeba demontáž a podrobné prozkoumání součástí uvnitř automobilové převodovky. Jak můžeme vidět v části 4.1 na obrázku 4.6, ložisko poškodilo i skříň převodovky.

Navrácení takto poškozené převodové skříňe již není možné a oprava by se musela provést s novou částí automobilové převodovky a to by bylo nákladné.

Na závěr bych chtěl podotknout, že mnou námi ukázané metody slouží jen pro přiblížení čtenáře, jak se může postupovat u měření hluku a vibrací automobilových

převodovek. Tyto měření probíhají spíše při výrobě těchto převodovek, nebo u zvláštních převodovek do sportovních vozů, které se dělají na zakázku pro daný automobil.

Ve skutečné praxi a reálném servisu při opravách běžných osobních automobilů, se automobilové převodovky neměří. Většinou se vychází se zkušeností mechaniků. U manuálních převodovek, kde nastane nějaký problém, se v dnešní době u běžně dostupných automobilů ani převodovky neopravují a spíše se mění za jiné. Například při mém měření v části 4.1 byla oprava vyřešena nákupem jiné použité převodovky stejného typu pro danou motorizace. Jen pro zajímavost tato převodovka stála sedm tisíc korun českých. Převodovka byla vyměněna za necelých 6 hodin. To znamená, že zákazník přiveze ráno auto do servisu a odpoledne už s opraveným automobilem zase odjíždí.

Z mého pohledu měření hluku a vibrací je nutné jen tehdy, jeli nezbytně nutné, a spíše u dražších nebo atypických automobilových převodovek.

Seznam použitých zdrojů

- [1] GM Eletronic: Hlukoměry [online]. 2015 [cit. 2015-06-24]. Dostupné z: <http://www.gme.cz/hlukomery>
- [2] ING. JAN, Zdeněk, Bronislav ING. ŽDÁNSKÝ a Ing. Jiří ČUPERA PHD. *Automobily: Převody (2)*. 3. vyd. Brno: Avid, spol. s r. o., 2011, s. 31. ISBN ISBN 987-80-87143-21-6.
- [3] Konstrukce mikrofonů. *Elektroakustika* [online]. 2013 [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: http://www.elektroakustika.cz/types_microphones.html
- [4] M.L.GearDesingns: Převodový poměr. In: *M. L. GearDesingns* [online]. 2013 [cit. 2015-02-16]. Dostupné z: www.mlgeardesingns.blog.cz/1311/prevodovy-pomer
- [5] Manuální nebo automatickou převodovku?: Přes stoletá historie. *Našeinfo: Auto-moto* [online]. [cit. 2015-02-16]. Dostupné z: www.naseinfo.cz/auto-moto/manualni-nebo-automatickou-prevodovku
- [6] *Měření vibrací automobilových převodovek*. Liberec, 2012. Technická zpráva. Technická Univerzita v Liberci.
- [7] Měření vibrací ve vibrodiagnostice: Snímače zrychlení - akcelerometry. ZUTH, Daniel a František VOLEČEK. *Automa: časopis pro automatizační techniku* [online]. Praha: FCC Public, 2010, s. 33 [cit. 2015-04-09]. ISBN ISSN 1210-9592; ISSN 1210-9592.
- [8] MOTEJL, Vladimír a Karel HOREJŠ. *Učebnice pro řidiče a opraváře automobilů*. Brno: Brno, 2004.
- [9] NĚMEČEK, Pavel a Elias TOMEH. *Vibrační diagnostika: základních závad strojů*. Liberec, 2010. Skripta. Technická univerzita v Liberci.
- [10] PARKER, Mike. TheHistoryofManualTransmissions: History. *EHow: Cars* [online]. [cit. 2015-02-16]. Dostupné z: www.ehow.com/about_5163365_history-manual-transmissions.html
- [11] Poruchy ložisek. *Skusobne.sk* [online]. 2008 [cit. 2015-06-24]. Dostupné z: http://www.skusobne.sk/admin/upload_files/08-5-vady-lozisek.pdf

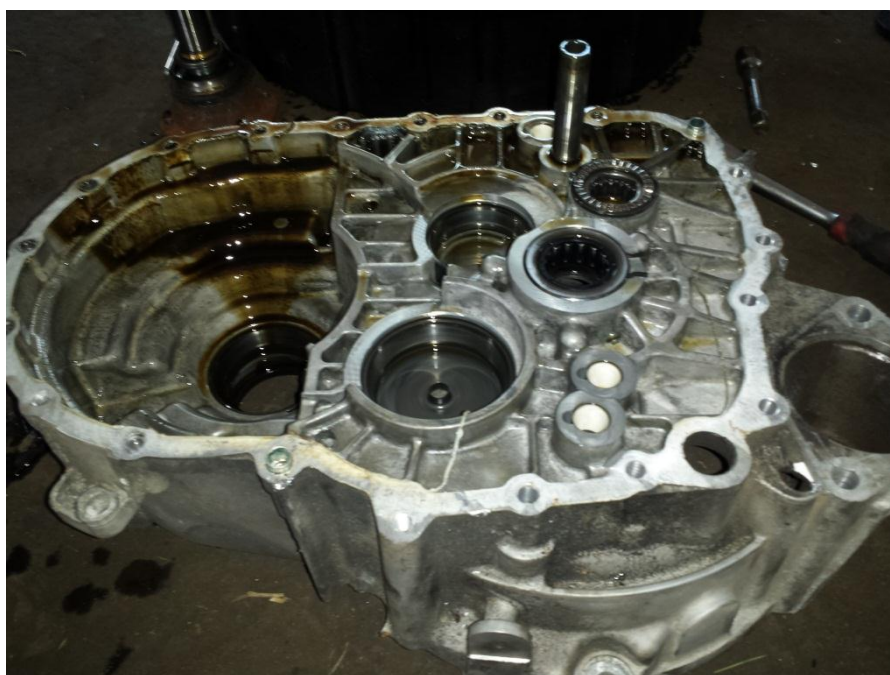
- [12] Převodovky: Princip funkce dvouhřídelové pětistupňové automobilové převodovky 02K automobilu Škoda Octavia. *M. L. Gear Desingns* [online]. 2014 [cit. 2015-04-20]. Dostupné z: <http://mlgeardesigns.blog.cz/1407/princip-funkce-dvouhridelove-petistupnove-automobilove-prevodovky-02k-automobilu-skoda-octavia>
- [13] SMETANA, Ctirad. *Hluk a vibrace. Měření a hodnocení*. 1. vyd. Praha: Sdělovací technika, 1998, s. 72. ISBN 8090193625
- [14] Výkon a kroutící moment. *AutoZnalosti: Víme, co je pod kapotou* [online]. 2010 [cit. 2015-02-16]. Dostupné z: www.autoznalosti.cz/index.php/motor/31-vykon-a-kroutici-moment.html
- [15] Výkon. In: *WIKIPEDIE: Otevřená Encyklopedie* [online]. 2014 [cit. 2015-02-16]. Dostupné z: cs.wikipedia.org/wiki/Výkon
- [16] ZUTH, Daniel a František VDOLEČEK. Měření vibrací ve vibrodiagnostice. *Odborné časopisy*. 2010, (1).

Příloha č. 1 – Fotografie rozebrané automobilové převodovky

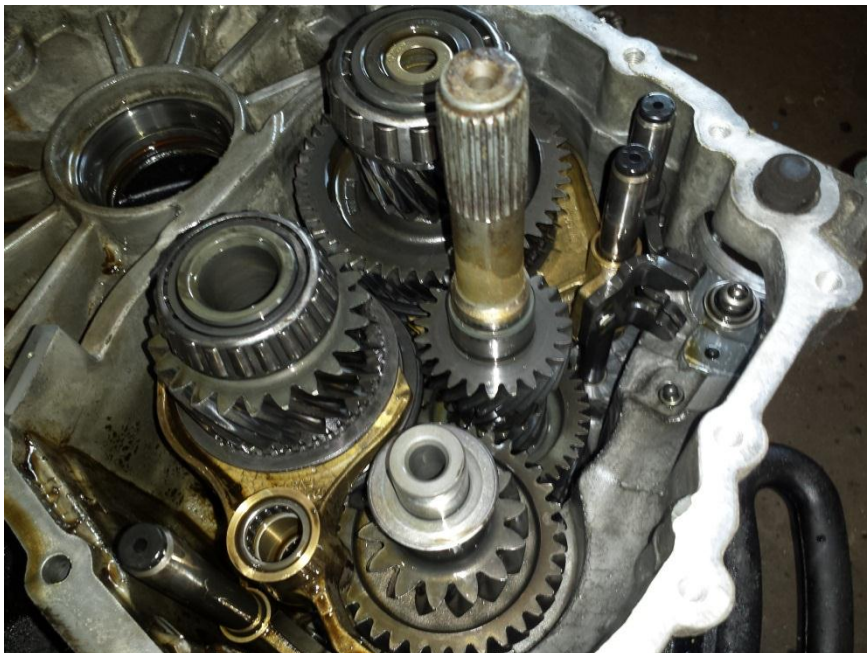
V příloze č. 1 jsou fotografie demontované a rozebrané poškozené převodovky měřeného vozidla.



Obr. 1: Demontovaná převodovka z vozidla



Obr. 2: Pohled na část převodové skříně



Obr. 3: Pohled do ústrojí převodovky



Obr. 4: Demontované hřídele z obuzenými koly a zubovými spojkami



Obr. 5: Detail zubové spojky



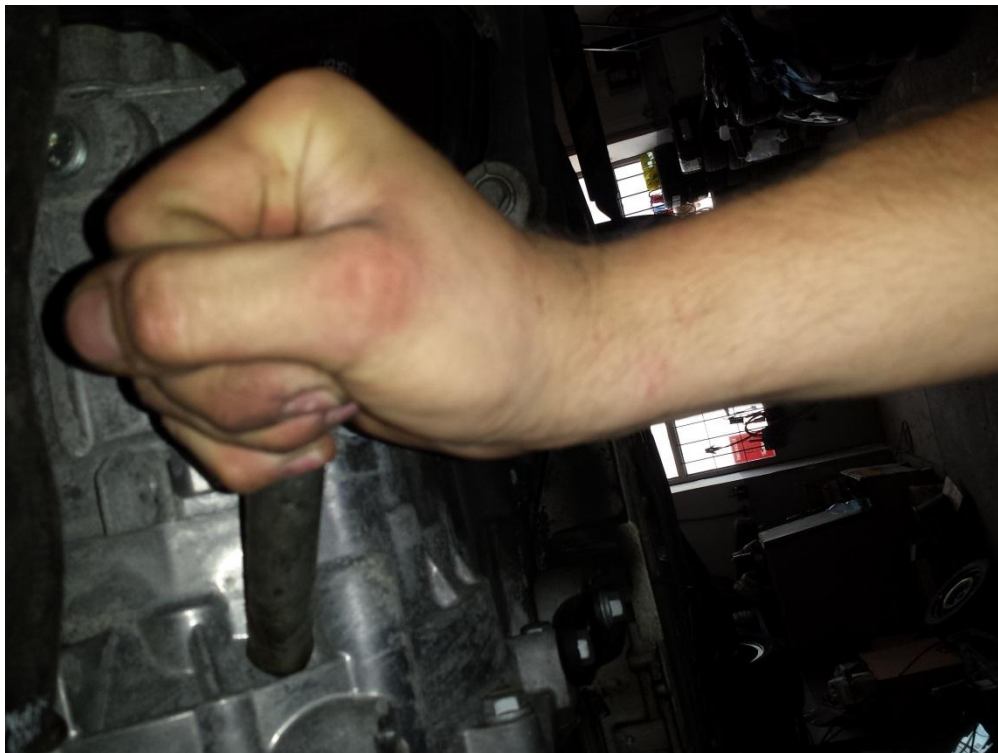
Obr. 6: Pohled na poškozené valivé ložisko

Příloha č. 2 – Dílenské nástroje na měření hluku a vibrací

V této příloze jsou fotografie dílenský nástrojů, které můžeme používat na měření vibrací a hluku.



Obr. 7: Použití šroubováku jako vedení hluku a vibrací



Obr. 8: Použití hliníkové tyčky na měření hluku a vibrací



Obr. 9: Hliníková tyčka