

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství

Katedra materiálů a technologií pro automobily



**VYUŽITÍ OPTICKÉ EMISNÍ SPEKTROSKOPIE PRO ANALÝZU  
CHEMICKÉHO SLOŽENÍ MATERIÁLU POLOOSY**

**UTILIZATION OF OPTICAL EMISSION SPECTROSCOPY FOR  
ANALYSIS OF CHEMICAL COMPOSITION OF SHAFT**

Autor práce: Ondřej Harabiš

Vedoucí práce: Ing. Jiřina Vontorová, Ph.D.

Ostrava 2015

## Zadání bakalářské práce

Student: **Ondřej Harabiš**

Studijní program: B3923 Materiálové inženýrství

Studijní obor: 3911R034 Materiály a technologie pro automobilový průmysl

Téma: **Využití optické emisní spektroskopie pro analýzu chemického složení materiálu poloosy**  
**Utilization of optical emission spectroscopy for analysis of chemical composition of shaft**

Jazyk vypracování: čeština

### Zásady pro vypracování:

1. Popis hnacích hřídelí (poloos), jejich druhy.
2. Použití hnacích hřídelí v automobilovém průmyslu.
3. Materiály pro hnací hřídele.
4. Stanovení obsahů základních chemických prvků materiálů pomocí GDOES a elementárních analyzátorů.
5. Vyhodnocení získaných výsledků.

### Seznam doporučené odborné literatury:

1. VLK, František; Převody motorových vozidel. Vydání 1. Brno 2006. ISBN 80-239-6463-1
2. VLK, František; Podvozky motorových vozidel. Vydání 3. Brno 2006. ISBN 80-239-7474-X
3. JAN, Zdeněk; ŽDÁNSKÝ, Bronislav; ČUPERA, Jiří; Automobily – Převody. Vydání 1. Brno: Avoid, spol. s.r.o., 2009. MŠMT čj. 15 296/2007-23
4. JAN, Zdeněk; ŽDÁNSKÝ, Bronislav; ČUPERA, Jiří; Automobily – Motory. Vydání 1. Brno: Avoid, spol. s.r.o., 2009. MŠMT čj. 15 296/2007-23
5. VONTOROVÁ, J., MATĚJKA, V., DOBIÁŠ, V., MOHYLA, P. Metody stanovení chemického složení chromových modifikovaných ocelí pro energetiku. Sborník konference PROMATTEN 2013, s. 88-95, ISBN: 978-80-260-5250-0.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jiřina Vontorová, Ph.D.**

Datum zadání: 28.11.2014

Datum odevzdání: 30.04.2015



---

doc. Ing. Petr Tomčík, Ph.D.  
vedoucí katedry



---

prof. Ing. Jana Dobrovská, CSc.  
děkanka fakulty

# Zásady pro vypracování bakalářské práce

## I.

Bakalářskou prací (dále jen BP) se ověřují vědomosti a dovednosti, které student získal během studia, a jeho schopnosti využívat je při řešení teoretických i praktických problémů.

## II.

### Uspořádání bakalářské práce:

- |  |                              |
|--|------------------------------|
| 1. Titulní list                              | 6. Obsah BP                  |
| 2. Originál zadání BP                        | 7. Textová část BP           |
| 3. Zásady pro vypracování BP                 | 8. Seznam použité literatury |
| 4. Prohlášení + místopřísežné prohlášení     | 9. Přílohy                   |
| 5. Abstrakt + klíčová slova česky a anglicky |                              |

ad 1) Titulní list je koncipován podle požadavků příslušné oborové katedry.

ad 2) Originál zadání BP obdrží student na oborové katedře.

ad 3) Tyto „Zásady pro vypracování bakalářské práce“ následují za originálem zadání BP. („Zásady pro vypracování bakalářské práce“ jsou ke stažení na webových stránkách fakulty).

ad 4) Prohlášení + místopřísežné prohlášení napsané na zvláštním listu (ke stažení na webových stránkách fakulty) a vlastnoručně podepsané studentem s uvedením data odevzdání BP. V případě, že BP vychází ze spolupráce s jinými právníckými a fyzickými osobami a obsahuje citlivé údaje, je na zvláštním listě vloženo prohlášení spolupracující právnické nebo fyzické osoby o souhlasu se zveřejněním BP.

ad 5) Abstrakt a klíčová slova jsou uvedena na zvláštním listu česky a anglicky v rozsahu max. 1 strany pro obě jazykové verze.

ad 6) Obsah BP se uvádí na zvláštním listu. Zahrnuje názvy všech číslovaných kapitol, podkapitol a statí textové části BP, odkaz na seznam příloh a seznam použité literatury, s uvedením příslušné stránky. Předpokládá se desetinné číslování.

ad 7) Textová část BP obvykle zahrnuje:

- Úvod, obsahující charakteristiku řešeného problému a cíle jeho řešení v souladu se zadáním BP;
- Vlastní rozpracování BP (včetně obrázků, tabulek, výpočtů) s dílčími závěry, vhodně členěné do kapitol a podkapitol podle povahy problému;
- Závěr, obsahující celkové hodnocení výsledků BP z hlediska stanoveného zadání.

BP nemusí obsahovat experimentální (aplikační) část.

BP bude zpracována v rozsahu min. 25 stran (včetně obsahu a seznamu použité literatury).

Text musí být napsán vhodným textovým editorem počítače po jedné straně bílého nelesklého papíru formátu A4 při respektování následující **doporučené** úpravy - písmo Times New Roman (nebo podobné) 12b; řádkování 1,5; okraje – horní – 2,5 cm, levý – 3 cm, pravý 2 cm. Fotografie, schémata, obrázky, tabulky musí být očíslovány a musí na

ně být v textu poukázáno. Budou zařazeny průběžně v textu, pouze je-li to nezbytně nutné, jako přílohy (viz ad 9).

Odborná terminologie práce musí odpovídat platným normám. Všechny výpočty musí být přehledně uspořádány tak, aby každý odborník byl schopen přezkoušet jejich správnost.

U vzorců, údajů a hodnot převzatých z odborné literatury nebo z praxe musí být uveden jejich pramen - u literatury citován číselným odkazem (v hranatých závorkách) na seznam použité literatury.

Nedostatky ve způsobu vyjadřování, nedostatky gramatické, neopravené chyby v textu mohou snížit klasifikaci práce.

ad 8) BP bude obsahovat alespoň 10 literárních odkazů, z toho nejméně 3 v některém ze světových jazyků.

Seznam použité literatury se píše na zvláštním listě. **Citaci literatury je nutno uvádět důsledně v souladu s ČSN ISO 690.** Na práce uvedené v seznamu použité literatury musí být uveden odkaz v textu BP.

ad 9) Přílohy budou obsahovat jen ty části (speciální výpočty, zdrojové texty programů aj.), které nelze vhodně včlenit do vlastní textové části, např. z důvodu ztráty srozumitelnosti.

### III.

Bakalářskou práci student odevzdá ve dvou knihařsky svázaných vyhotoveních, pokud katedra garantující studijní obor neurčí jiný počet. Vnější desky budou označeny takto:

nahore: *Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava*  
*Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství*  
*Katedra . . . . .*

uprostřed: *BAKALÁŘSKÁ PRÁCE*

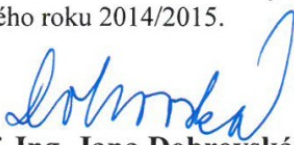
dole: *Rok* *Jméno a příjmení*

Kromě těchto dvou knihařsky svázaných výtisků odevzdá student kompletní práci také v elektronické formě do IS EDISON. Práce vložená v elektronické formě do IS EDISON se musí zcela shodovat s prací odevzdanou v tištěné formě.

### IV.

Nesplnění výše uvedených zásad pro vypracování bakalářské práce může být důvodem nepřijetí práce k obhajobě. O nepřijetí práce k obhajobě rozhoduje v tomto případě garant příslušného studijního oboru. Tyto zásady jsou závazné pro studenty všech studijních programů a forem bakalářského studia fakulty metalurgie a materiálového inženýrství Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava od akademického roku 2014/2015.

Ostrava 4. 11. 2014

  
**Prof. Ing. Jana Dobrovská, CSc.**  
děkanka fakulty metalurgie a materiálového inženýrství  
VŠB-TU Ostrava

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou (bakalářskou) práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou (bakalářskou) práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová (bakalářská) práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou (bakalářskou) práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

**Místopřísežně prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci vypracoval samostatně.**

V Ostravě : .....<sup>30.4.2015</sup>.....

Podpis studenta: .....*Ondřej Karabíj*.....

## **Abstrakt**

Tématem bakalářské práce je analýza chemického složení materiálu hnacích hřídelí v automobilovém průmyslu. Bakalářská práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část.

V teoretické části jsou hnací hřídele popsány a jsou vysvětleny jejich funkce. Dále je uvedeno jejich rozdělení na spojovací a kloubové hřídele. Hnací hřídele jsou podle složení dále děleny do třech skupin, z nichž nejvyužívanější v automobilovém průmyslu jsou hřídele ocelové.

V praktické části bylo chemické složení hnacích hřídelí z automobilů Škoda Felicia, Citroen Xsara a Peugeot 206 stanoveno optickou emisní spektrometrií s doutnavým výbojem na přístroji GDA 750A, provozovaném na Katedře chemie, Fakultě metalurgie a materiálového inženýrství, VŠB-TU Ostrava.

## **Klíčová slova**

Hnací hřídel, hnací ústrojí automobilu, chemická analýza, GDOES

## **Abstract**

The theme of this bachelor thesis is analysis of the chemical composition of the material used in production of the drive shafts in the automobile industry. The bachelor thesis is divided into theoretical and practical parts.

The theoretical part describes the drive shafts and their functions. Their division into connecting and joint drive shafts is also mentioned. According to their composition drive shafts are further divided into three groups, of which the most frequently used in the automobile industry are steel shafts.

In the practical part, the chemical composition of the drive shafts in *Škoda Felicia*, *Citroen Xsara* and *Peugeot 206* was determined by optical emission spectrometry with smoke discharge on the GDA 750A machine which is operated by the Department of Chemistry, Faculty of Metallurgy and Materials Engineering, at the *Technical University of Ostrava*.

## **Keywords**

Driveshaft, Powertrain, Chemical Analysis, GDOES

### **Poděkování**

Rád bych poděkoval vedoucí bakalářské práce Ing. Jiřině Vontorové, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.



## OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD</b> .....	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>5</b>
2.1	Pohon automobilu .....	5
2.2	Hnací hřídele .....	6
2.3	Rozdělení hnacích hřídelí .....	7
2.3.1	Spojovací hřídele bez kloubů .....	8
2.3.2	Spojovací kloubové hřídele .....	8
2.3.3	Podélné spojovací hřídele .....	9
2.3.4	Příčné hnací hřídele .....	11
2.4	Hnací klouby .....	12
2.4.1	Křížové klouby .....	13
2.4.2	Homokinetické klouby .....	14
2.5	Materiály hnacích a spojovacích hřídelí .....	18
2.5.1	Ocelové hnací hřídele .....	18
2.5.2	Hliníkové spojovací hřídele .....	21
2.5.3	Kompozitní spojovací hřídele .....	21
<b>3</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>22</b>
3.1	Experimentální materiál .....	22
3.2	Experimentální metody .....	23
3.2.1	Termoevoluční a spalovací elementární analýza .....	23
3.2.2	Stanovení uhlíku a síry v pevných vzorcích .....	25
3.2.3	Optická emisní spektrometrie s doutnavým výbojem (GDOES) .....	27
<b>4</b>	<b>VÝSLEDKY A DISKUZE</b> .....	<b>29</b>
<b>5</b>	<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>32</b>
<b>6</b>	<b>SEZNAM LITERATURY</b> .....	<b>33</b>
<b>7</b>	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b> .....	<b>36</b>
<b>8</b>	<b>SEZNAM TABULEK</b> .....	<b>37</b>

# 1 ÚVOD

Automobily dnešní doby používají pro pohon klasickou koncepci spalovacího motoru s převodovkou. Hnací soustava je tvořena motorem, spojkou, převodovkou, rozvodovkou, spojovacími a hnacími hřídeli (poloosy). Tento celek vytváří stálé spojení. Dochází k přenosu hnacího momentu od převodovky na hnací hřídele nápravy. Slouží k přenosu točivého momentu mezi dvěma převodovými ústrojími od sebe oddělenými. V průběhu let došlo k výrazným změnám požadavků na výkon různých vozidel. Důležité je zachování základních vlastností hnací hřídele a to je tuhost, síla, nízká hmotnost, přesná vyváženost. Jedním z předních aspektů je zajištění dlouhodobé životnosti. Musí odolat těžkým provozním zatížením a rovněž si udržet komfortní jízdní vlastnosti. Výroba hnacích hřídelí by se měla soustředit především na snížení hmotnosti, které se docílí volbou vhodných materiálů a kloubů a také na odolnost vůči nárazu.

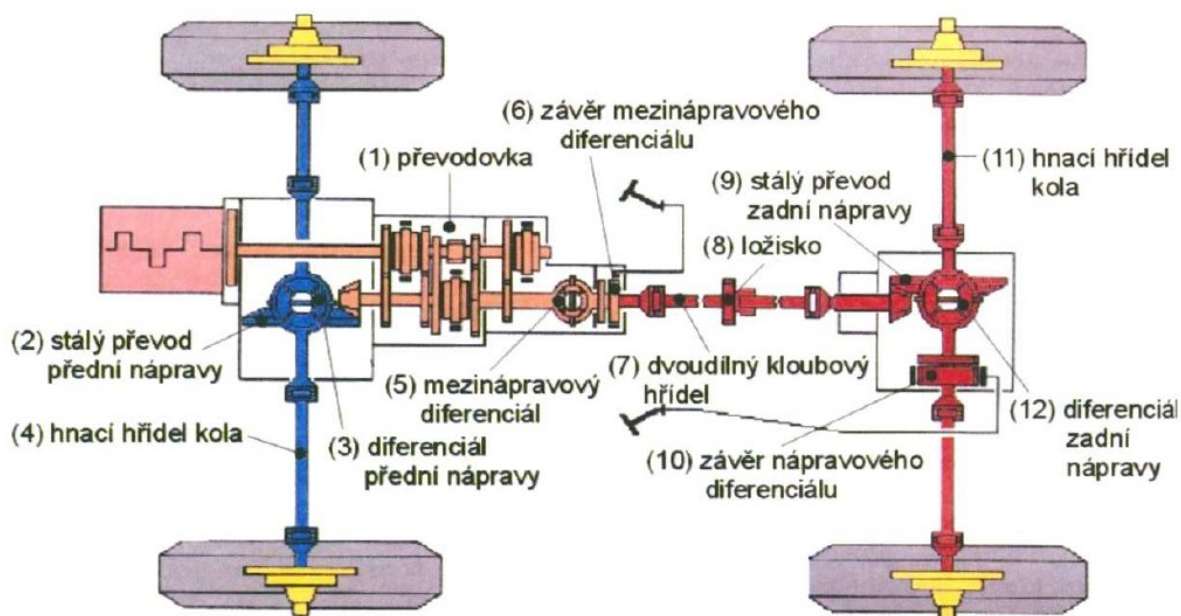
Cílem práce je popis pohonu automobilů a především hnacích hřídelí. Hnací hřídele jsou rozděleny a jsou porovnány materiály, ze kterých se hnací hřídele vyrábějí. Jedním z bodů předkládané práce jsou ocelové hnací hřídele. V praktické části je zjišťováno chemické složení tří druhů hnacích hřídelí. Také jsou určeny materiály, ze kterých jsou hřídele vyrobeny.

## 2 TEORETICKÁ ČÁST

### 2.1 Pohon automobilu

V dnešní době se používají k pohonu automobilů spalovací motory, elektromotory nebo také hybridní motory. Největší zastoupení mají stále spalovací čtyřdobé motory zážehové a vznětové, které spalují plynná nebo kapalná paliva. Nejčastější kapalná paliva jsou benzín a nafta, v menším zastoupení pak biopaliva a metanol. Plynné jsou propanbutan (LPG) a zemní plyn (CNG). U těchto motorů s vnitřním spalováním se energie získává spalováním paliva a tato energie je převedena na mechanickou práci.

Poháněcí soustava se skládá z hnacího a převodového ústrojí (viz Obr. 1). Hnací ústrojí se myslí motor vozidla a jeho příslušenství. Převodová ústrojí spojují motor s hnacími koly automobilu a mají za úkol přenášet točivý moment. Také umožňují přerušování a změnu velikosti točivého momentu. Převodové ústrojí se skládá ze spojky, převodovky, řadicího ústrojí, spojovacích kloubových hřídelí, převodové skříně (rozvodovka) s diferenciálem a hnacích hřídelí.



**Obr. 1** Převodová ústrojí automobilu s pohonem všech čtyř kol [1]

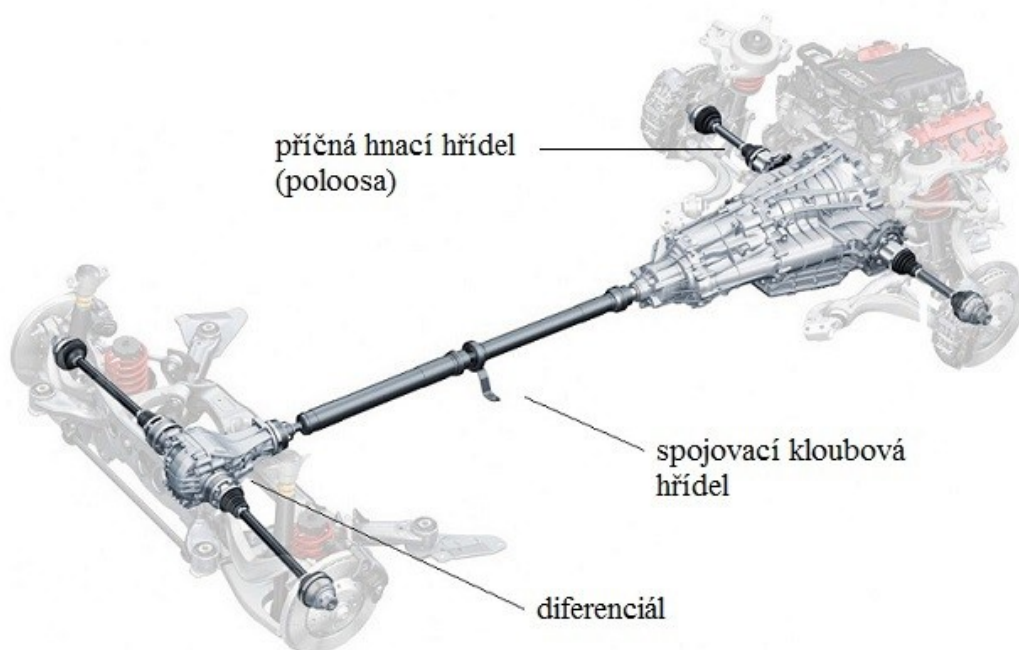
## 2.2 Hnací hřídele

Hnací hřídel je hřídel, která přenáší točivý moment z převodovky do rozvodovky popřípadě diferenciálu a odtud na kola hnací nápravy. Tyto hřídele jsou součástí téměř každého automobilu. Na hnací nápravě jsou vždy dvě hnací hřídele. U pohonu 4x4 tedy obou náprav jsou čtyři. Nejpoužívanější druh hnací hřídele je se dvěma klouby na obou koncích. Hnací hřídele jsou tyče nebo odlehčené trubky a na jejich výrobu se používají různé materiály od klasických ocelí až po kompozitní materiály.

Požadavky kladené v současné době na hnací hřídele jsou [8]:

- přenos krouticího momentu s vysokou účinností,
- dlouhá životnost,
- přenesení konstantního převodu,
- provoz s minimální údržbou,
- nízký moment setrvačnosti.

Podle druhu uspořádání hnacího ústrojí tedy motoru, převodovky a zavěšení hnacích kol je točivý moment předáván pomocí spojovací kloubové hřídele, dvou hnacích hřídelí a kloubů na kola automobilu. Hnací hřídele a klouby musí zajistit stálé spojení mezi od sebe odděleným převodovým ústrojím, které vlivem odpružení od nerovnosti vozovky nebo natáčení řídicích kol mění svou vzájemnou polohu. U klasické koncepce uspořádání pohonu automobilu s motorem u přední nápravy a pohonem zadních kol je zapotřebí pro překonání různé vzájemné polohy převodovky a rozvodovky kloubových hřídelí. U této koncepce, kde hnací hřídel spojuje převodovku s rozvodovkou, se hřídel nazývá spojovací kloubová hřídel. Pokud se rozvodovka nachází na nápravě, kloubová hřídel musí umožňovat i axiální posuv. Tento problém vyřeší kloubové hřídele mezi rozvodovkou a koly [1].



**Obr. 2** Koncepce uspořádání hnacího ústrojí [7]

Při dnes velmi oblíbené konstrukci hnacího ústrojí s motorem vepředu a hnací přední nápravou není potřeba spojovacích kloubových hřídelí z důvodů umístění rozvodovky přímo ve skříni převodovky. Toto uspořádání se vyskytuje i u motoru v zadní části automobilu a pohonem zadní nápravy.

Důležitým aspektem spojovacích kloubových hřídelí jsou jejich klouby, které zajišťují nesouosé uspořádání. Dovolují spojení součástí, které vůči sobě při jízdě mění svou polohu, díky nerovnostem či natáčení kol na řídicí nápravě. U spojovacích hřídelí se nejčastěji využívají křížové klouby.

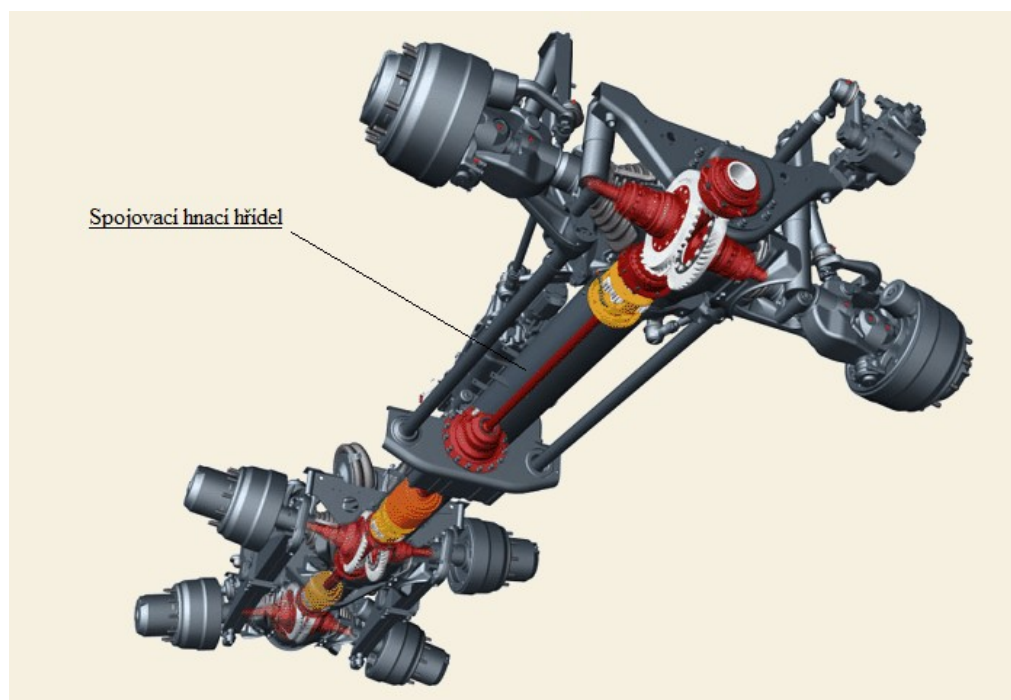
### 2.3 Rozdělení hnacích hřídelí

Rozdělení hnacích hřídelí, které přenášejí krouticí momenty z převodového ústrojí motorového vozidla, spočívá v umístění hřídelí a jejich funkci [2]:

- spojovací hřídele,
- spojovací kloubové hřídele,
- podélné spojovací hřídele,
- příčné hnací hřídele.

### 2.3.1 Spojovací hřídele bez kloubů

První skupina spojovacích hřídelí má za úkol spojit části převodového ústrojí, které se nachází v jedné rovině. Toto spojení se nazývá sousé. Převodovka s rozvodovkou jsou v jedné rovině a během jízdy vozidla nemění svou polohu. Tato skupina se využívá hlavně u nákladních vozidel s páteřovým rámem. Části převodového ústrojí jsou pevně spojeny a tvoří část nosného rámu (viz Obr. 3). Tuto koncepci využívají nákladní automobily Tatra [2].



**Obr. 3** Podélné uspořádání spojovací hřídele [2]

### 2.3.2 Spojovací kloubové hřídele

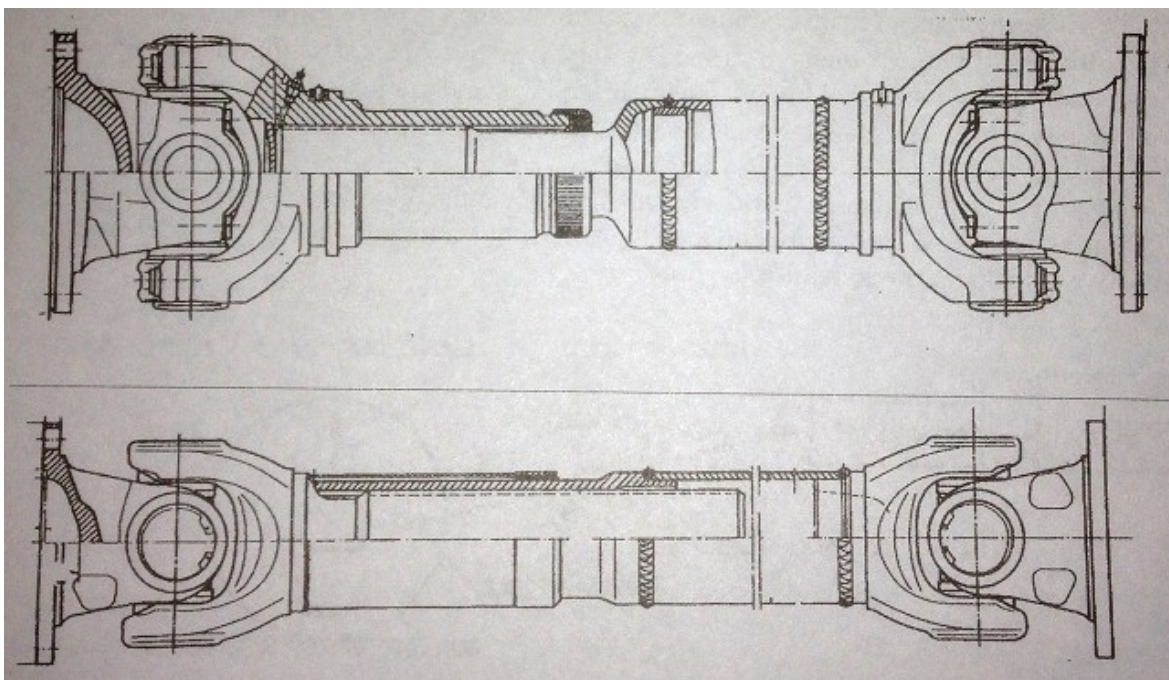
Spojovací kloubové hřídele jsou v dnešní době nejpoužívanější propojení hnací soustavy v automobilech. Musí zajistit stálé spojení převodového ústrojí, i když při jízdě mění svou vzájemnou polohu. Změna polohy je umožněna díky kloubům. Rozdělují se podle počtu kloubů na jednokloubové, dvoukloubové a trojkloubové uspořádání. Největší zastoupení tvoří dvoukloubové hřídele. Hřídele s jedním kloubem mají jednoduchou konstrukci, ale jsou málo využívané z důvodu nerovnoměrného otáčení výstupní hřídele. I za podmínek, že se vstupní hřídel otáčí rovnoměrně, se úhlová rychlost

mění a velikost nerovnoměrnosti otáčení závisí na úhlu sklonu spojovaných hřídelí. Spojovací kloubové hřídele se podle polohy umístění dělí na [3]:

- podélné spojovací hřídele,
- příčné hnací hřídele.

### 2.3.3 Podélné spojovací hřídele

Podélné spojovací hřídele, které se nacházejí v ose automobilů ve směru jízdy, jsou používány u klasické koncepce automobilů a také u nákladních vozidel. Propojují části, které mění svou polohu. Jelikož je zadní náprava odpružená, musí tyto hřídele překonávat jak axiální tak radiální posuv. Při jízdě se mění vzdálenosti a úhly mezi převodovkou a rozvodovkou či diferencíálem na zadní nápravě. Tento problém vyřešily klouby, zároveň musí měnit i svou délku v závislosti na odpružení. Změny délky hřídele jsou realizovány systémem dvou trubek, které se do sebe zasouvají a vysouvají. Vnitřní i vnější trubky jsou vybaveny drážkováním.



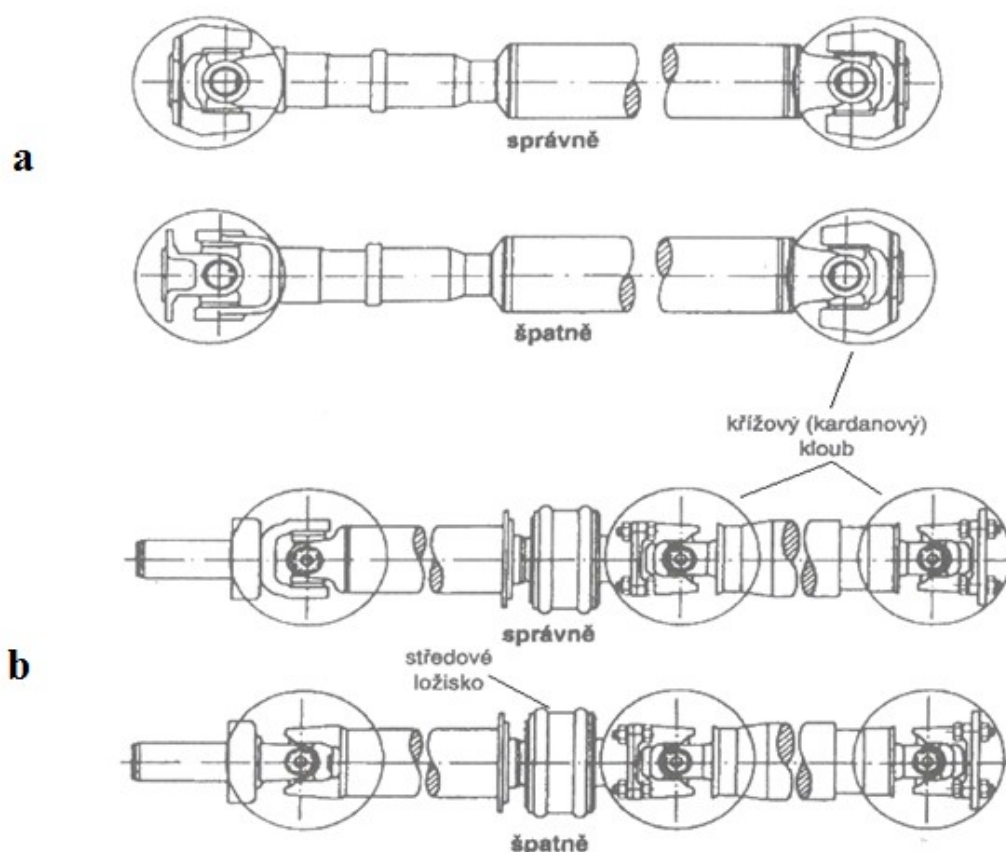
**Obr. 4** Podélná spojovací hřídel s drážkováním a dvěma křížovými klouby [1]

Podélné spojovací hřídele jsou většinou vyráběny z tenkostěnných trubek z důvodu odlehčení. Používají se s dvěma nebo třemi křížovými klouby. Křížové klouby jsou velice efektivní a jednoduché a také vykazují vysokou životnost. Při použití dvoudílné hřídele

se kvůli větší délce opatřují opěrným ložiskem. Velké délky způsobují ohybové kmity a ty mohou nastat v určitých otáčkách. Tento problém mají zejména podélné hřídele vybavené dvěma klouby. Z tohoto důvodu se klade velký důraz na přesnost vyvážení u těchto typů podélných hřídelí.

Podélné hřídele se třemi klouby jsou rozděleny křížovými klouby na tři kratší části. Zmenšení délky hřídelí má kladný vliv na omezení kmitů. Také nejsou tak vysoké nároky na vyvážení. Díky této konstrukci je zabráněno nevyváženosti a tím i omezení dunivé hlučnosti hřídelí při kmitání. Při sestavování a montáži je zapotřebí správné umístění polohy křížových kloubů. Tyto klouby musí vždy být umístěny ve stejné vzájemné poloze.

Hlavní a rozhodující vliv na hlučnost a kritické otáčky hřídele má její délka. V automobilech s vysokootáčkovými motory se dnes využívají dělené podélné hřídele. Tyto hřídele jsou navíc vybaveny středovým opěrným ložiskem. Ložisko se nachází ve středu a tím jsou podepřeny obě strany hřídele. Ložisko je vulkanizovaným gumokovovým šroubovým spojením pružně spojeno s karoserií automobilu [1, 4].



**Obr. 5** Spojovací hřídele se dvěma a třemi klouby a opěrným ložiskem [1]  
a – kloubová hřídel se dvěma klouby, b – kloubová hřídel se třemi klouby



#### 2.3.4 Příčné hnací hřídele

Příčné hnací hřídele se nacházejí u kol vozidla, propojují rozvodovku a diferenciál s hnacími koly (viz Obr. 6). Mají za úkol přenášet hnací moment na hnací kola. Také musí vyrovnávat rozdíly v délkách při odpružení nápravy. Při dnešní konstrukci pohonu s motorem vpředu a pohonem předních řídicích kol vznikají další problémy, které musí hnací hřídel překonávat. Příčné hnací hřídele pro přední kola musí splňovat tyto hlavní funkce [6]:

- přenos hnacího momentu z diferenciálu na hnací kola,
- stejné otáčky předních kol při jejich natočení do rejdu,
- vyrovnávání délek při propružení (odpružení).

Jako řešení pro vyrovnávání délek nápravy při propružení se využívají vnitřní klouby tzv. zásuvné klouby. Tyto klouby dovolují posuvný pohyb v ose až o 25 – 50 mm. V tomto případě se může hřídel přizpůsobovat změnám délky, ke kterým dochází následkem řízení a propružení.

V minulosti byly používány dvojité křížové klouby. Tato konstrukce se dnes využívá pouze u nákladních automobilů s pohonem všech kol. Hnací hřídele pro automobily dnešní doby využívají výhradně homokinetické neboli stejnoběžné klouby. Homokinetické klouby mají výhodu v tom, že umožňují přenášet rovnoměrnou rotaci mezi různoběžnými hřídeli pouze jedním kloubem. Vyznačují se velmi lehkým chodem a tím je zajištěno, aby se reakce pohonu nepřenášely do řízení automobilu. Převážná většina automobilů využívá pevný homokinetický kloub na straně kola. Na straně s diferenciálem se využívá posuvný homokinetický kloub (viz Obr. 6).

V závislosti na konstrukci mají příčné hnací hřídele různé rozměry, a proto i jiné vlastnosti a chování. Při koncepci automobilu s pohonem předních kol se mohou různé délky příčných hřídelí projevovat negativně v říditelnosti a jízdních vlastnostech. Protože delší hřídele mají nižší tuhost než kratší hřídele, mají i větší náchylnost ke kmitání. To se může projevat ve formě hlučnosti a zhoršenými jízdními vlastnostmi [1, 6].

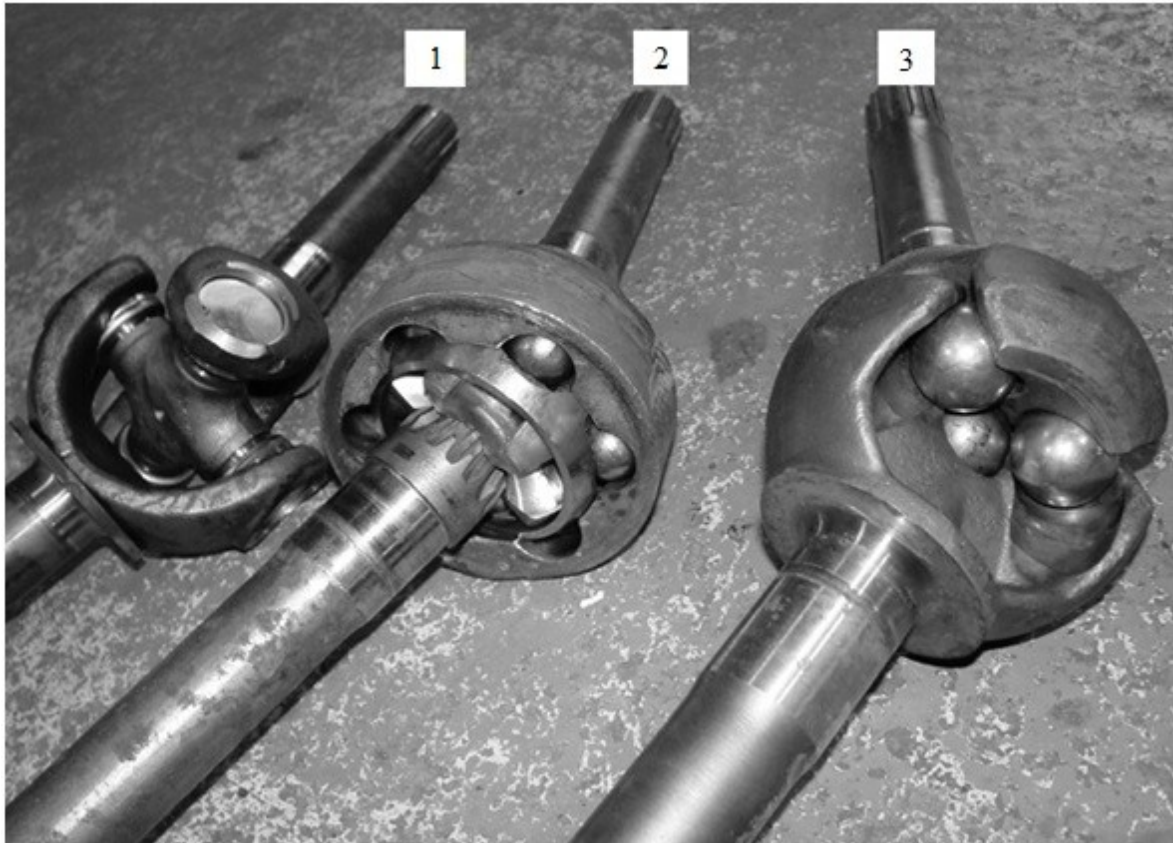


**Obr. 6** Čtyři druhy příčných hnacích hřídelí [9]

## 2.4 Hnací klouby

Hnací klouby jsou velice důležité pro správnou funkci hnacích hřídelí všech druhů. Bez spojení hnacími klouby by nebylo možné trvalé spojení mezi hnacím a převodovým ústrojím, které mezi sebou mění svou polohu v průběhu jízdy automobilu. Prakticky se většina hřídelí bez hnacích kloubů neobejde. Jednou z velice důležitých vlastností kloubů dnešních automobilů je jejich stejnoběžnost, která zajistí, aby otáčky vstupní hřídele byly stejné jako otáčky za kloubem na výstupní hřídeli. Tuto základní vlastnost pro komfort jízdy postrádá zastaralý křížový kloub 1 (viz Obr. 7). Nedovoluje ani velké natočení kol do rejdu. Proto se využívá prakticky jen u starších nákladních vozidel.

Druhý kloub (viz Obr. 7) je nejvíce využívaný homokinetický kloub. Díky své unikátní konstrukci dovoluje velké úhly náklonu a také stejnoběžnost. To vše při jednoduché konstrukci a dlouhé životnosti. Poslední kloub (viz Obr. 7) je homokinetický kloub starší konstrukce, který využívá čtyři kuličky [10].



**Obr. 7** Hnací klouby [11]

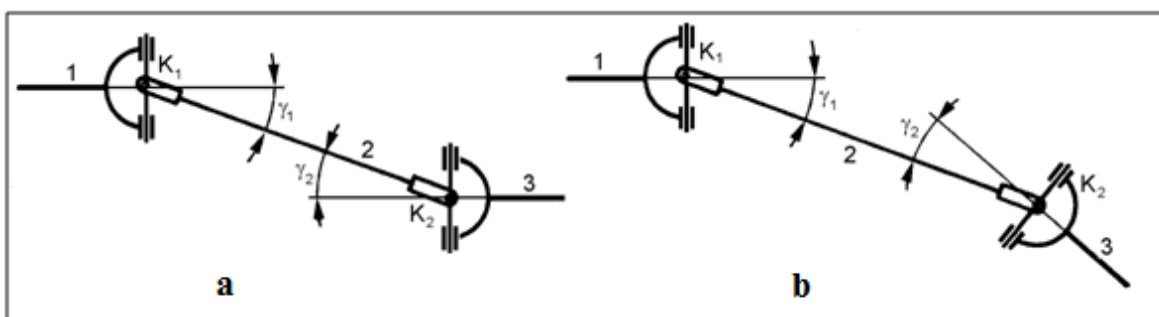
- 1 – křížový kloub, 2 – homokinetický kloub šesti kuličkový,  
3 – homokinetický kloub čtyř kuličkový

#### 2.4.1 Křížové klouby

Křížový kloub umožňuje rotační spojení dvou různoběžných hřídelí. Tento kloub se také nazývá Kardanův. Jedná se o jeden z nejstarších konstrukčních prvků v automobilech. Skládá se ze dvou kloubových vidlic, kovaného kříže a čtyř ložiskových pouzder. Čepy kloubového kříže jsou nejčastěji uloženy v jehlových válečkových ložiscích. Tento kloub umožňuje osovou výchylku, která může být až 15°. Kloubové hřídele s jedním křížovým kloubem se otáčí rovnoměrně pouze v případě, kdy není osově vychýlen. Při osovém vychýlení dochází k nerovnoměrnosti přenosu úhlové rychlosti. To znamená, že hřídel nacházející se za křížovým kloubem se během jedné otáčky zpomaluje a zrychluje vzhledem k hřídeli před kloubem. V případě malého vychýlení je nerovnoměrnost zanedbatelná. Tento typ hřídelí s jedním křížovým kloubem se v dnešní době nevyužívá.

K odstranění nerovnoměrnosti otáčení se používají dva křížové klouby na každém konci hřídele. Pro dosažení stejnoběžnosti (homokinetiky) je nutné, aby úhlové rychlosti a úhly pootočení hřídelí na vstupu a výstupu byly stejné. Stejnoběžnost je docílena pokud se rovnají úhly natočení hřídele vůči kloubu:  $\gamma_1 = \gamma_2$  (viz Obr. 8). Nerovnoměrně se otáčí pouze vložený hřídel, který musí mít malou hmotnost a malý moment setrvačnosti, aby nevznikaly velké síly v hnacím ústrojí.

Hnací hřídele s dvěma křížovými klouby se rozdělují podle uspořádání do dvou skupin. První skupina jsou hřídele do tvaru písmene Z a druhá jsou do tvaru V. Nejčastěji používaný typ konstrukčního řešení je uspořádání do tvaru Z [4, 8].



**Obr. 8** Uspořádání křížových kloubů [12]

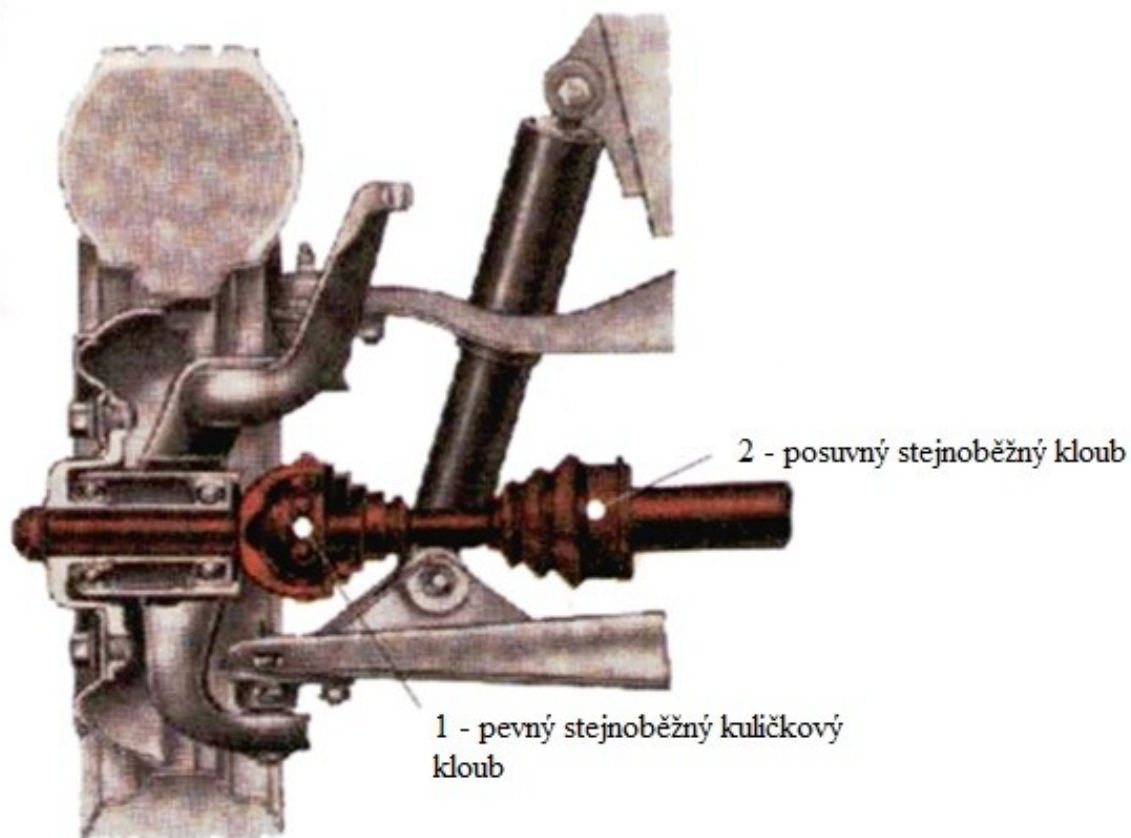
a – uspořádání do Z, b – uspořádání do V

#### 2.4.2 Homokinetické klouby

Stejnoběžné (homokinetické) klouby se používají výhradně u osobních automobilů s předním i zadním pohonem. U automobilů s předním pohonem je při řízení zapotřebí, aby kloub hnacího hřídele překonal velký úhel zalomení. Proto není vhodné použití křížového kloubu, který dovoluje jen malé úhly zalomení. Zároveň je důležité, aby kloub nepřenašel nerovnoměrnosti mezi otáčkami hnacího a hnaného hřídele.

Konstrukcí stejnoběžných kloubů existuje několik druhů. U většiny dochází k přenosu sil prostřednictvím kuliček, které se odvalují po kruhových drahách a nacházejí se ve vidlicích kloubů. Zaručují tak rovnoměrnou úhlovou rychlost na výstupu kloubové hřídele při velkém úhlu zalomení hřídele. Při jejich určité možnosti posuvu není při použití dvou stejnoběžných kloubů na rozdíl od hřídelí se dvěma křížovými klouby požadován žádný dodatečný posuvný díl. Homokinetické klouby umožňují přenos točivého momentu

při úhlech až 50°. Také lze dosáhnout axiálního posuvu v rozsahu do 55 mm. Umístění kloubů na hnacích hřídelích pro přední kola se nejčastěji využívá v tomto pořadí (viz Obr. 9). Na straně kola se využívá pevný stejnoběžný kuličkový kloub. Na opačné straně, tedy na straně rozvodovky se používá posuvný stejnoběžný kloub nebo také posuvný kloub Tripode [1, 8, 14].



**Obr. 9** Homokinetické klouby přední nápravy [1]

1 – strana kola, 2 – strana rozvodovky

Dnešní stejnoběžné klouby lze podle konstrukce rozlišit na tři základní typy [14]:

- Rzeppův – Birfieldův kloub,
- Bendixů – Weissův kloub,
- hvězdicový kloub – Tripode.

### **Rzeppa – Birfield**

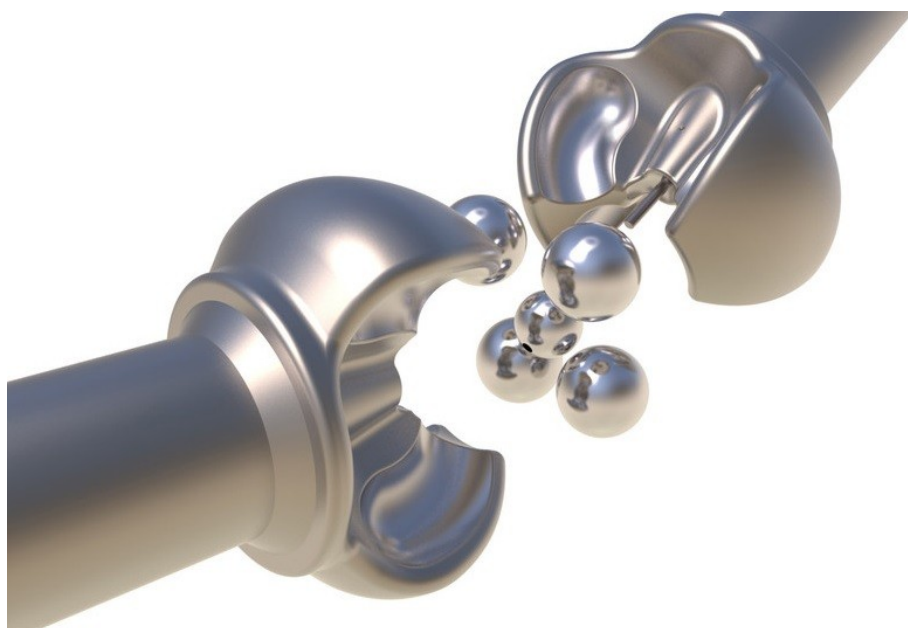
První kloub Rzeppův – Birfieldův je v současnosti nejvíce využívaný typ homokinetického kloubu. Kloub využívá šest kuliček, ty se pohybují po kruhových drahách zhotovených ve vidlicích kloubu (viz Obr. 10). Tímto způsobem přenášejí točivý moment. Tento typ kloubů se vyrábí v pevném i posuvném provedení.



**Obr. 10** Rzeppův – Birfieldův kloub[15]

### **Bendix – Wiess**

Tento kloub má velmi podobnou konstrukci jako Rzeppův – Birfieldův, ale využívá jen čtyři kuličky (viz Obr. 11). Dráhy pro jejich odvalování jsou skloněny pod určitým úhlem. Rovněž jsou umístěny na dvou naproti sobě ležících plochách vidlicových koncích hřídelí. Kuličky se tak nacházejí ve svých rovinách, které odpovídají půlícímu úhlu kloubu. Tato konstrukce umožňuje snadný axiální posuv, ale je omezena malým úhlem zalomení do 20° [1, 16].



**Obr. 11** Bendixův – Weissův kloub [17]

#### **Hvězdicový kloub – Tripode**

Tento kloub je charakteristický svým tvarem připomínající trojramennou hvězdičou (viz Obr. 12). Třecí síly jsou minimalizovány sférickými válečky v jehlových ložiscích. Vyznačuje se malým axiálním namáháním, z tohoto důvodu má kloub dlouhou životnost. Hvězdicové pevné klouby dovolují úhel zalomení až  $45^\circ$  a axiální posuv až 55 mm.



**Obr. 12** Hvězdicový kloub – Tripode [18]

## 2.5 Materiály hnacích a spojovacích hřídelí

Volba materiálů pro hnací nebo spojovací hřídele v menší míře ovlivňuje celkové chování automobilu. Tyto materiály musí překonávat těžké provozní zatížení a také odolat velkému namáhání krutem a často i ohybem. Proto je velice důležité, aby byl materiál co nejkvalitnější a vyznačoval se dobrou pevností, tuhostí, vyvážeností a to vše při zachování malé hmotnosti. Také jejich výroba musí být co nejvíce efektivní z ekonomického hlediska.

Pro běžné osobní automobily se používají klasické ocelové slitiny. Spojovací hřídele v sportovních a supersportovních automobilech jsou často z hliníkových slitin. Kompozitní materiály pro hnací a spojovací hřídele nacházejí uplatnění pouze u supersportovních vozů a ve Formuli 1.

V automobilovém průmyslu se dnes využívají tři hlavní skupiny hnacích a spojovacích hřídelí [10]:

- ocelové hnací hřídele,
- hliníkové spojovací hřídele,
- kompozitní spojovací hřídele.

### 2.5.1 Ocelové hnací hřídele

V současné době se pro výrobu hnacích hřídelí nejčastěji využívají oceli s přísadovými prvky. Ocelové hřídele jsou velice rozšířené, z důvodů dobré dostupnosti materiálů, poměrně levné výroby a dlouhé životnosti.

Ocelové hřídele pro osobní vozidla se používají jako plné tyče (viz Obr. 13) nebo tenkostěnné trubky. Nejčastěji se používají ušlechtilé uhlíkové oceli. Velmi namáhané hřídele se vyrábí z nízko a středně legovaných ocelí.

Hnací hřídele vybrané pro experimentální část byly z oceli třídy 12 a 14.

#### Oceli třídy 12

Ušlechtilé uhlíkové konstrukční oceli, které mají zaručeno kompletní chemické složení. Vyznačují se obsahem uhlíku od 0,07 – 0,9 % dále obsahují fosfor, síru, mangan a křemík. Oceli jsou uklidněné a neobsahují žádné legury. Mají široký rozsah použití a tepelným zpracováním lze pozměnit vlastnosti materiálu. S nízkým obsahem uhlíku jsou



určeny pro cementování, s vyšším obsahem pro zušlechťování. Tyto oceli se používají pro hřídele, ozubená kola, frézovací trny a další [26].

### Oceli třídy 14

Oceli třídy 14 jsou nízkolegované a určené k tepelnému zpracování. Nejčastěji jsou legovány chromem a manganem nebo také křemíkem a hliníkem. Dosahují velmi dobrých vlastností bez použití nedostatkových prvků. Tepelným zpracováním se obvykle zušlechťují, kalí a cementují. Některé slitiny jsou určeny pro nitridování. Nacházejí využití jako součásti automobilů, motorů, méně namáhaných leteckých motorů a další [27].



**Obr. 13** Hnací hřídele z oceli [19]

Vlastnosti čistých kovů lze ovlivnit slitinovými příměsemi tzv. legováním. Legování je přidávání přísad do taveniny při výrobě ocelí. Nejčastější přísady při legování jsou kovy. Tyto kovy se přidávají z důvodu zlepšení mechanických vlastností materiálů.

Slitina má většinou nižší bod tání, než samotné kovy převažující ve slitině. Nejčastěji používané legující kovy jsou mangan, chrom, křemík, nikl, molybden, vanad a wolfram.

V praktické části byla provedena GDOES analýza třech ocelových hnacích hřídelí. Ve větší míře obsahovaly tyto legující prvky:

### **Mangan**

Mangan se velmi často využívá k legování konstrukčních ocelí, především s kombinací dalších prvků. U dostupných konstrukčních ocelí se používá až do 2 % obsahu. Při legování manganem je nezbytné počítat s jeho sklonem k odměšování a malou difuzní rychlostí. Oceli s větším obsahem manganu jsou citlivé na zhrubnutí zrna. Proto je nutné při tepelném zpracování dodržet austenitizační teplotu. Mangan je hodně používán díky své dobré dostupnosti a nízké ceně.

### **Chrom**

Chrom má kladný vliv na tvrdost a prokalitelnost oceli. Patří do skupiny nepoužívanějších legujících prvků. Zvyšuje odolnost proti korozi.

### **Křemík**

Do obsahu 0,5 % se křemík nepovažuje jako legující prvek, ale jako dezoxidační přísadu. Větší množství křemíku způsobuje náchylnost ke křehkému lomu.

### **Nikl**

K legování niklem se používá granulovaný nikl nebo katody niklu. Při tepelném zpracování zvyšuje prokalitelnost, ale zvýšení je menší než v případě manganu nebo chromu. Nikl zvyšuje pevnost, ale je poměrně drahý. Používá se v ocelích, které mají mít vysokou houževnatost při nízkých teplotách.

### **Molybden**

Patří mezi feritotvorné prvky. U zušlechtěných ocelí snižuje přísada molybdenu vysokoteplotní popouštěcí křehkost [13].

### 2.5.2 Hliníkové spojovací hřídele

Spojovací hřídele z lehkých slitin hliníku nacházejí uplatnění u vozidel upravených pro sportovní nebo závodní účely. Jejich hlavní výhodou je v ušetření hmotnosti při zachování celkové pevnosti hřídelí. Také jsou poměrně ekonomicky dostupné vzhledem ke vláknovým kompozitním materiálům. Nejčastěji využívaná slitina pro výrobu spojovacích hřídelí je 6061-T6.



Obr. 14 Hliníková hřídel [23]

### 2.5.3 Kompozitní spojovací hřídele

Hřídele z kompozitních materiálů jsou zatím používány jen u vozidel s nejnovějšími technologiemi. Jedná se hlavně o kompozity s uhlíkovými vlákny. Nejčastěji nacházejí uplatnění ve Formuli 1, která potřebuje extrémní pevnost a co nejmenší hmotnost. V současnosti se začínají používat i ve sportovních automobilech, ale jejich cena je stále vysoká.



Obr. 15 Hřídel z uhlíkových vláken [24]

### 3 PRAKTICKÁ ČÁST

Praktická část bakalářské práce se skládala z analýzy a porovnávání materiálů hnacích hřídelí. Samotné měření probíhalo v laboratořích Katedry chemie, Fakulty metalurgie a materiálového inženýrství, VŠB-TU Ostrava.

#### 3.1 Experimentální materiál

Pro praktickou část byly zvoleny tři hnací hřídele, které pocházely z automobilů rozdílných značek (viz Obr. 16). Jednalo se o vozy Škoda Felicia, Citroen Xsara a Peugeot 206. Tyto automobily jsou řazeny do kategorie nižší – střední třídy. V této třídě je naprostá většina vozů vybavena ocelovými hřídeli.



**Obr. 16** Hnací hřídele – vzorky

1 – Citroen Xsara, 2 – Peugeot 206, 3 – Škoda Felicia

Hnací hřídele byly očištěny a zbaveny homokinetických kloubů. Z důvodů experimentálního měření musely být hřídele zkráceny. Z každé byly nařezány válečky (viz Obr. 17) o rozměru cca 25 mm. Ze zbylé části byly nařezány krychle o rozměru 5 x 5 x 5 mm (viz Obr. 19). Pro tuto operaci byla použita úhlová bruska Hitachi G23SS. Povrchy vzorků musely být zbaveny nečistot a případné koroze. K tomuto kroku byl použit

smirkový papír. Po dokonalém očištění povrchu všech zkušebních vzorků, byly vzorky připraveny na následnou analýzu.



**Obr. 17** Vzorky pro GDOES analýzu

C2 – Citroen Xsara, P2 – Peugeot 206, F1 – Škoda Felicia

## 3.2 Experimentální metody

### 3.2.1 Termoevoluční a spalovací elementární analýza

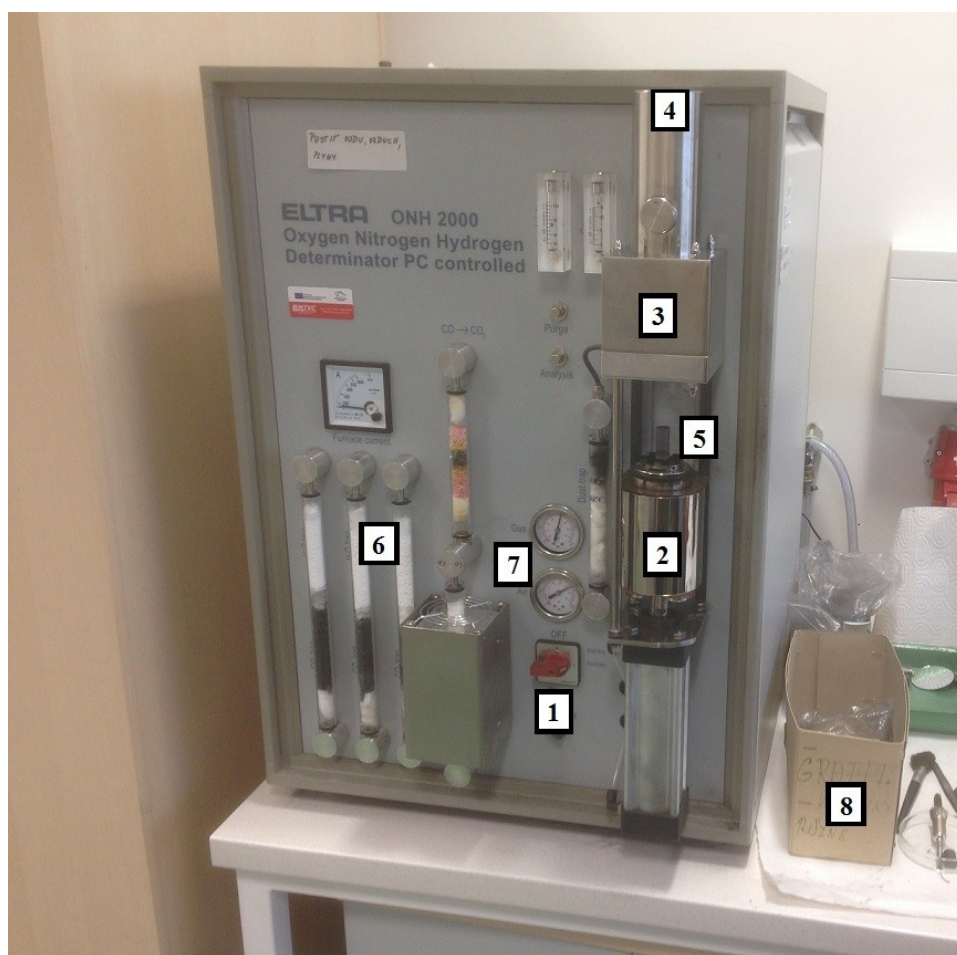
Důležité prvky v oceli jsou dusík, kyslík, vodík, síra a uhlík. Nejpřesněji lze tyto prvky stanovit pomocí termoevoluční (O, N, H) a spalovací (C, S) techniky.

Dusík a kyslík se v ocelích vyskytují jen ve velmi malých koncentracích, ale i přes malé množství mění mechanické vlastnosti. V menším množství se dusík nachází v tuhém roztoku (cca 10 ppm) zbytek je v nitrídech. Dusíkem se legují chromniklové oceli. Zvětšuje se oblast austenitu a stabilizuje se. V oceli je kyslík hlavně ve formě oxidů. V atomární formě se v ocelích vyskytuje vodík, který vyvolává tzv. vodíkovou křehkost.

Kyslík, dusík a vodík lze stanovit také jinými technikami, jako je například optická emisní spektrometrie. Termoevoluční metoda je dnes nejpoužívanější a nejcitlivější. Tato metoda je také označována jako fúze v inertním plynu. Měřený vzorek musí být umístěn v grafitovém kelímku, který je odporově zahříván v peci. Do pece je vháněn nosný inertní plyn, například helium. V peci dochází k ohřevu na teploty přesahující 2000 °C a dochází k roztavení vzorku. Při tomto procesu se uvolňují plyny, které vstupují do nosného plynu a poté jsou analyzovány. Dusík a vodík se při ohřevu uvolňují

v elementární formě jako  $N_2$  a  $H_2$ . Kyslík ve vzorku se uvolňuje a reaguje s uhlíkem, jako zdroj uhlíku se využívá grafitový kelímek. Následně vzniká oxid uhličitý a oxid uhelnatý.

Oxidy uhlíku jsou detekovány infračerveným detektorem. Detektor pracuje na principu využívající absorpci infračerveného záření, oxidy uhlíku absorbují infračervené záření určitých vlnočtů. Zdroj detektoru vysílá polychromatické infračervené záření, které prochází měrnými drahami přes nosný plyn a spaliny. Záření oxidu uhličitého je absorbováno v oblasti cca  $2350\text{ cm}^{-1}$ . U oxidu uhelnatého je to cca  $2150\text{ cm}^{-1}$ . Velikost absorpce záření je úměrná koncentraci oxidů uhlíku. Výsledky analýzy nemohou být ovlivňovány jinými plyny, protože ostatní plyny neabsorbují infračervené záření [5].



**Obr. 18** Analyzátor ELTRA ONH 2000

- 1 – hlavní vypínač, 2 – spodní těleso pícky, 3 – horní těleso pícky,  
4 – vsyp vzorku, 5 – podstavec spalovacího kelímku, 6 – lapače a katalyzátory,  
7 – měřiče tlaku, 8 – grafitové kelímky

### 3.2.2 Stanovení uhlíku a síry v pevných vzorcích

Stanovení obsahu uhlíku a síry se v dnešní době provádí spalovací analýzou, pomocí optické emisní spektrometrie nebo zařízením rentgenové spektrometrie. Spalovací metodou lze dosáhnout nejvyšší citlivosti a přesnosti stanovení. V indukční peci se provádí analýza uhlíku a síry v kovech. Zařízení stanovuje simultánně obsah celkového uhlíku (Total Carbon – TC) a celkové síry (Total Sulphur – TS). V indukční peci se provádí spalování vzorku, který je v keramickém spalovacím kelímku vystaven vysokofrekvenční indukci. Do keramického spalovacího kelímku je navážen wolfram, ten slouží jako akcelerátor hoření, poté je do kelímku vložen vzorek a zvážen; navážka je zadána do řídicího počítače. Indukcí je v kovovém vzorku umístěném v kelímku generováno teplo, současně pecí proudí kyslík. Při tomto procesu dochází ke spalování vzorku. Uhlík a síra se oxidují na  $\text{CO}_2$  a  $\text{SO}_2$  a jsou detekovány v infračervených detektorech. Tato indukční pec je také schopna analyzovat nekovové materiály. Pro zvýšení elektrické vodivosti se ke vzorku s wolframem přidává čisté železo.

Stejné zařízení umožňuje analýzu také organických látek, tyto jsou spalovány v odporové peci (viz Obr. 20). Obsah celkového anorganického uhlíku (Total Inorganic Carbon – TIC) v nekovových materiálech se stanovuje v samostatném TIC modulu.



**Obr. 19** Vzorek pro elementární analýzu



**Obr. 20** Analyzátor ELTRA CS 2000

- 1 – hlavní vypínač, 2 – kryt spalovací pícky, 3 – kelímek se vzorky,  
 4 – lapače a katalyzátory, 5 – měřiče tlaku, 6 – vypínač,  
 7 – displej teploty, 8 – platforma pro spalovací lodičky



### 3.2.3 Optická emisní spektrometrie s doutnavým výbojem (GDOES)

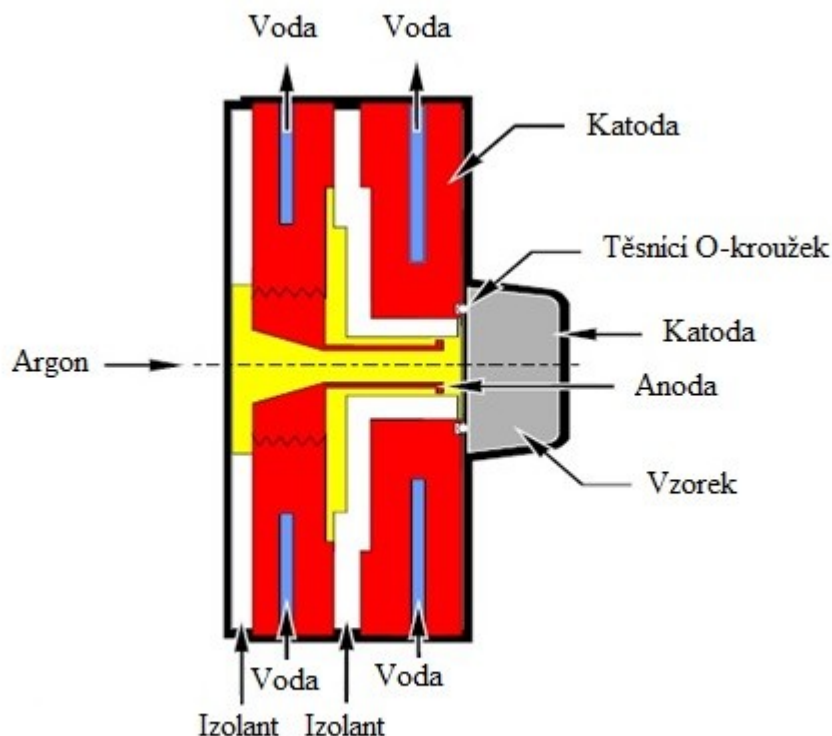
Optická emisní spektrometrie s doutnavým výbojem (Glow Discharge Optical Emission Spectrometry viz Obr. 21) je jednou z metod přímé chemické analýzy z pevného vzorku. Využívá se ke kvalitativnímu a kvantitativnímu stanovení kovových a nekovových prvků ve vzorcích. Využívají se dva druhy programu analýz [25]:

- BULK – analýza objemového složení materiálu,
- QDP – analýza hloubkového koncentračního profilu.



**Obr. 21** Spektrometr Spectruma Analytik GDA 750 [20]

K analýze se využívají vzorky materiálů, které musí mít jednu rovinnou plochu o rozměru několika milimetrů. Vzorek je vložen do excitačního zdroje s názvem Grimmova výbojka (viz Obr. 22). Při vložení se vzorek vodivě dotýká katody a také rozděluje vnitřní prostor výbojky od okolní atmosféry. Nejčastěji se využívá jako pracovní plyn argon, který je přiveden do výbojky. Při pracovním tlaku se přivede vysoké napětí (700 – 1200 V). Uvnitř výbojky vznikne doutnavý výboj. V tomto výboji slouží vzorek jako katoda. Proudové hustoty dosahují hodnoty 200 – 500 mA/cm<sup>2</sup> a anoda má průměr cca 4 mm. Ionty argonu z plazmatu jsou elektrickým proudem směřovány k povrchu vzorku, na který dopadají s velkou energií. Při dopadu uvolňují atomy vázané v krystalové mřížce. Atomy vnikají do plazmatu s velmi velkou koncentrací volných elektronů a zde dochází k excitaci. Následně při deexcitaci vysílají charakteristické záření – atomové emisní spektrum složené ze spekter prvků, které jsou přítomny ve vzorku. Dané spektrum se analyzuje optickým spektrometrem.



**Obr. 22** Grimmova výbojka vytvářející doutnavý výboj [21]

Tento způsob atomizace vzorků se nazývá katodové rozprašování (sputtering). Povrchy vzorků jsou odbourávány v postupném pořadí, v jakém jsou uloženy směrem do hloubky. Pokud je signál na jednotlivých detektorech zaznamenáván jako funkce času, dostáváme informaci o rozložení daného prvku v závislosti na hloubce pod povrchem. Tento postup umožňuje změřit hloubkový koncentrační profil všech prvků vyskytujících se ve vzorku.

Obdobně jako další spektrometrické metody je GDOES metoda relativní. Kalibrace probíhá pomocí referenčních spektrometrických materiálů. Dnešní přístroje pro analýzu metodou GDOES mají proces kalibrace a samotné analýzy do značné míry automatizován. Průběh jedné analýzy trvá od několika vteřin do několika minut a také závisí na tloušťce měřeného materiálu a celkové hloubce analýzy.

Pro zjištění složení základního materiálu byla provedena BULK analýza GDOES. Měření bylo provedeno spektrometrem GDA 750A za budících podmínek 700 V a 35 mA. Výsledky jsou uvedeny v tabulce, kde jsou uvedeny prvky obsažené v základním materiálu a jejich průměrná hmotnostní koncentrace v procentech [21, 22].

## 4 VÝSLEDKY A DISKUZE

Úkolem předkládané bakalářské práce bylo porovnat chemické složení hnacích hřídelí ze třech automobilů nižší – střední třídy. Chemické složení bylo zjištěno pomocí dvou analytických metod – a to metody optické emisní spektrometrie s doutnavým výbojem a metody instrumentální elementární analýzy.

GDOES dává informaci o průměrném zastoupení všech základních minoritních prvků vyskytujících se v oceli (s výjimkou O, N, H); pomocí elementární analýzy lze stanovit pouze obsahy uhlíku, síry, kyslíku, dusíku a vodíku, který ale při řešení BP stanovován nebyl.

V následující tabulce (viz Tab. 1) jsou uvedeny výsledky elementárních analýz hnacích hřídelí z automobilů Citroen Xsara, Peugeot 206 a Škoda Felicia. Jak z tabulky vyplývá, mezi vzorky hnacích hřídelí Škoda Felicia a Peugeot 206 nejsou rozdíly v naměřených hodnotách tak velké. Zato Citroen Xsara měl více rozdílné hodnoty, a to hlavně v obsahu kyslíku a dusíku.

**Tab. 1** Výsledky elementárních analýz

	C	S	O	N
	%	ppm		
<b>Citroen Xsara</b>	0,52	266	59	75
<b>Peugeot 206</b>	0,44	359	160	86
<b>Škoda Felicia</b>	0,46	314	138	131

V následující tabulce (viz Tab. 2) jsou uvedeny výsledky analýz optické emisní spektrometrie s doutnavým výbojem pro hnací hřídele z automobilů Citroen Xsara, Peugeot 206 a Škoda Felicia. Z tabulky vyplývá, že hnací hřídele z automobilů Peugeot 206 a Škoda Felicia mají podobné chemické složení, zatímco Citroen Xsara se liší, a to hlavně v obsahu chromu a niklu.

**Tab. 2** Výsledky GDOES analýz

	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo
	%							
<b>Citroen Xsara</b>	0,49	0,82	0,24	0,017	0,024	0,18	0,095	0,036
<b>Peugeot 206</b>	0,40	0,65	0,27	0,020	0,029	0,99	0,146	0,051
<b>Škoda Felicia</b>	0,44	0,69	0,21	0,016	0,029	0,98	0,093	0,039
	Cu	Ti	Co	B	Pb	V	W	Al
	%							
<b>Citroen Xsara</b>	0,086	0,002	0,012	<0,001	<0,001	0,002	<0,001	0,038
<b>Peugeot 207</b>	0,111	0,023	0,011	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,020
<b>Škoda Felicia</b>	0,096	0,002	0,010	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,053

V následující tabulce (viz Tab. 3) jsou uvedeny výsledky obou experimentálních analýz pro všechny hnací hřídele. Z literatury [5] vyplývá, že elementární analýza dává přesnější výsledky obsahů uhlíku a síry než analýza GDOES.

**Tab. 3** Porovnání výsledků GDOES a elementárních analýz

	GDOES		EA	
	C	S	C	S
	%			
<b>Citroen Xsara</b>	0,49	0,024	0,46	0,031
<b>Peugeot 206</b>	0,40	0,029	0,52	0,027
<b>Škoda Felicia</b>	0,44	0,029	0,44	0,036

Z naměřených hodnot bylo zjištěno přesné chemické složení všech tří hnacích hřídelí. Podle obsahu daných prvků byly určeny materiály, ze kterých byly hřídele vyrobeny:

### **Citroen Xsara – ČSN 12 050**

Hnací hřídel používána pro tento automobil odpovídá obsahem uhlíku, chromu, manganu a křemíku oceli třídy 12 a konkrétně oceli ČSN 12 050. Je to často používaná nelegovaná ocel pro výrobu méně namáhaných strojních dílů. Tato ocel je vhodná k zušlechťování, povrchovému kalení a pro normalizační žíhání. Optimálních mechanických vlastností se dosahuje v zakaleném a následně popuštěném stavu. U tvarově složitých dílů se pro zamezení vzniku trhlin používá kalení do oleje. Tento materiál byl použit pro hnací hřídele z automobilu Citroen Xsara první generace (1997 – 2000).

### **Peugeot 206 a Škoda Felicia – ČSN 14 140**

Hlavním rozdílem oproti první hřídeli z vozidla Citroen Xsara byl v obsahu chromu. Peugeot 206 a Škoda Felicia měli obsah chromu cca 1 %, zatímco Citroen Xsara pouze cca 0,2 %. Podle chemického složení prvků se jedná o nízkolegovanou chromovou ocel ČSN 14 140. Ocel se vyznačuje dobrou tvárností za tepla a je určena k zušlechťování. Větší obsah chromu u této oceli se využívá na zvýšení prokalitelnosti, pevnosti a otěruvzdornosti.

Hnací hřídele pocházely z nižší – střední třídy automobilů, která v naprosté většině využívá hřídele z ocelových slitin. Tyto materiály vykazují dobré mechanické vlastnosti i dobrou ekonomickou dostupnost. Velká část těchto hnacích hřídelí má podobné chemické složení. Jedním z důvodů je ten, že samotní výrobci automobilů využívají stejné dodavatele těchto dílů. Dalším důvodem je, že ocelové hnací hřídele jsou využívány již od prvních automobilů.

## 5 ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo zjištění chemického složení hnacích hřídelí používaných u osobních automobilů.

V teoretické části bylo podrobně popsáno převodové ústrojí automobilu a zejména hnací hřídele. Bylo popsáno jejich využití, rozdělení a detailní popis jejich dílů. V současnosti tvoří ocelové hnací hřídele součást 90 % všech osobních automobilů. Tento stav je dán dostačujícími vlastnostmi ocelových slitin a jejich dobrou ekonomickou dostupností.

Alternativou za ocelové slitiny mohou být v blízké budoucnosti hliníkové slitiny, za předpokladu snížení jejich ceny a zvýšení mechanických vlastností. Kompozitní materiály jsou u běžných vozidel zcela zbytečné, menší výkony osobních vozidel nevyžadují extrémní pevnost kompozitních materiálů.

V experimentální části byly provedeny analýzy k porovnání vzorků tří ocelových hnacích hřídelí. Chemické složení bylo stanoveno pomocí dvou analýz. Měření na optickém emisním spektrometru stanovilo celkové obsahy všech prvků ve vzorcích. Termoevoluční a spalovací analýza stanovila množství uhlíku, síry, kyslíku a dusíku. Výsledky analýz byly následně porovnány v tabulce.

Podle obsahu uhlíku a dalších prvků byl stanoven materiál pro danou hřídel. Citroen Xsara využíval ušlechtilou uhlíkovou ocel 12 050. Hnací hřídele pro Peugeot 206 a Škoda Felicia byly vyrobeny z nízkolegované chromové oceli 14 140. Oba materiály vykazují podobné mechanické vlastnosti.

K provedení statistického vyhodnocení výsledků, by bylo potřeba analyzovat více druhů vzorků z různých automobilů. Toto téma bych rád více rozvedl například v navazující diplomové práci.

## 6 SEZNAM LITERATURY

- [1] VLK, František. *Převody motorových vozidel*. 1. vyd. Brno: 2006, 371 s. ISBN 80-239-6463-1.
- [2] Technická koncepce TATRA. (C) 2014, TATRA TRUCKS A.S., *TATRA* [online]. 2014 [cit. 2015-03-31]. Dostupné z: <http://www.tatra.cz/proc-tatru/technicka-koncepce-tatra/tatrovacka-koncepce/>
- [3] *Hnací hřídele* [online]. 2003 [cit. 2015-03-31]. Dostupné z: [http://www.lowlevel.cz/log/files/04\\_Hridele.pdf](http://www.lowlevel.cz/log/files/04_Hridele.pdf)
- [4] FREIWALD, Anton. *Diagnostika a opravy automobilov: Podvozkové skupiny vozidiel a blok motora*. 1. vyd. Žilina: Žilinská univerzita, 2004. ISBN 80-8070-267-5.
- [5] VONTOROVÁ, J., MATĚJKA, V., DOBIÁŠ, V., MOHYLA, P. *Metody stanovení chemického složení chromových modifikovaných ocelí pro energetiku*. Sborník konference PROMATTEN 2013. s. 88-95, ISBN978-80-260-5250-0
- [6] BODLÁK, Jaroslav. *Spojovací a kloubové hřídele: Klouby, rozvodovky a diferenciály*. Hradec Králové, 2012. Skripta. SOŠ Vocelova 1338.
- [7] Pohon všech kol: hnací ústrojí. SAJDL, Jan. *Www.autolexicon.net* [online]. [cit. 2015-04-21]. Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/4wd-four-wheel-drive/>
- [8] JAN, Zdeněk. *Automobily 2: převody*. 2. vyd. Brno: AVID, 2004, 129 s. ISBN 80-903671-5-1.
- [9] Drive Shaft. *Automobile Parts* [online]. [cit. 2015-04-21]. Dostupné z: <http://www.gasgoo.com/auto-products/driving-system-511/1072607.html>
- [10] VALA, Miroslav a Miroslav TESAŘ. *Teorie a konstrukce silničních vozidel I*. Vyd. 1. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2003, 229 s. ISBN 80-7194-503-X.
- [11] FOURWHEELER. *Drive shafts: JP-magazine* [online]. 2015 [cit. 2015-04-26]. Dostupné z: [http://image.jpmagazine.com/f/9598755/154\\_0305\\_ton\\_13\\_z.jpg](http://image.jpmagazine.com/f/9598755/154_0305_ton_13_z.jpg)
- [12] *Křížové klouby - uspořádání* [online]. 2012 [cit. 2015-04-26]. Dostupné z: <http://dumy.cz/stahnout/113330>

- [13] *ALLOYING ELEMENTS IN STAINLESS STEEL* [online]. 2014 [cit. 2015-03-13].  
Dostupné z: [http://www.ssina.com/overview/alloyelements\\_intro.html](http://www.ssina.com/overview/alloyelements_intro.html)
- [14] *Universal Joints - Automobile: Constant velocity joints* [online]. 2012 [cit. 2015-03-25]. Dostupné z: <http://what-when-how.com/automobile/universal-joints-automobile/>
- [15] CARMENI, Lorenzo. *Mechanical Engineering: Rzeppa – Birfield joint* [online]. 2010 [cit. 2015-04-02]. Dostupné z:  
<http://www.multibody.net/teaching/msms/students-projects-2010/motomacchina-drivetrain/>
- [16] ABDELSALAM, Ahmed. *Weiss Joint* [online]. 2014 [cit. 2015-04-03]. Dostupné z:  
<https://grabcad.com/library/weiss-joint-1>
- [17] Bendix-Weiss [online]. 2014 [cit. 2015-04-20]. Dostupné z:  
<https://d2t1xqejof9utc.cloudfront.net/screenshots/pics/5673c76af1bcada79bcd3c8c303de024/medium.jpg>
- [18] GKN LAND SYSTEMS. Tripoidní posuvný kloub [online]. 2014 [cit. 2015-03-02].  
Dostupné z:  
[http://www.gknservice.com/cz/osobni\\_vozidla/klouby\\_konstantni\\_rychlosti.html](http://www.gknservice.com/cz/osobni_vozidla/klouby_konstantni_rychlosti.html)
- [19] Poloosa-ocel [online]. 2013 [cit. 2015-02-03]. Dostupné z: [http://www.honda-club.cz/forum/files/poloosy\\_136.jpg](http://www.honda-club.cz/forum/files/poloosy_136.jpg)
- [20] TAZ GMBH. GDOES [online]. 2014 [cit. 2015-03-15]. Dostupné z:  
<http://www.tazgmbh.de/leistungen-gdoes.html>
- [21] WEISS, Zdeněk. *Emissionyields in glow discharge optica lemission spectroscopy: GDO-ES*. Plzeň: LECO Instrumente, 2010. ISBN 10.1016/0584-8547(93)80109-8.
- [22] PRAUS, Petr a Jiřina VONTOROVÁ. *Analytická chemie II*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2015. ISBN 978-80-248-3734-5.
- [23] Aluminium driveshaft [online]. 2015. [cit. 2015-04-05]. Dostupné z:  
<http://www.americanmuscle.com/dss-aluminum-driveshaft-1114gt.html>
- [24] BIMMERPOST. 2013. Carbon Fiber driveshaft [online]. [cit. 2015-04-06]. Dostupné z: <http://f80.bimmerpost.com/forums/showthread.php?t=921523>
- [25] KŘÍŽ, Antonín a ŠMÍD. 2012. *Použití metody GD-OES* [online]. [cit. 2015-04-15].  
Dostupné z: [http://www.ateam.zcu.cz/Pouziti\\_metody\\_GD-OES.pdf](http://www.ateam.zcu.cz/Pouziti_metody_GD-OES.pdf)



- [26] *Ocel 12050* [online]. 2012. [cit. 2015-05-01]. Dostupné z:  
[http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/databaze\\_modelu\\_soubory/ocel\\_12050.3.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/databaze_modelu_soubory/ocel_12050.3.pdf)
- [27] FERONA A.S. 2015. *Materiálové normy* [online]. [cit. 2015-05-01]. Dostupné z:  
[http://www.ferona.cz/cze/katalog/mat\\_normy.php](http://www.ferona.cz/cze/katalog/mat_normy.php)

## 7 SEZNAM OBRÁZKŮ

<b>Obr. 1</b>	Převodová ústrojí automobilu s pohonem všech čtyř kol [1] .....	5
<b>Obr. 2</b>	Koncepce uspořádání hnacího ústrojí [7] .....	7
<b>Obr. 3</b>	Podélné uspořádání spojovací hřídele [2].....	8
<b>Obr. 4</b>	Podélná spojovací hřídel s drážkováním a dvěma křížovými klouby [1].....	9
<b>Obr. 5</b>	Spojovací hřídele se dvěma a třemi klouby a opěrným ložiskem [1].....	10
<b>Obr. 6</b>	Čtyři druhy příčných hnacích hřídelí [9] .....	12
<b>Obr. 7</b>	Hnací klouby [11] .....	13
<b>Obr. 8</b>	Uspořádání křížových kloubů [12] .....	14
<b>Obr. 9</b>	Homokinetické klouby přední nápravy [1].....	15
<b>Obr. 10</b>	Rzeppův – Birfieldův kloub[15].....	16
<b>Obr. 11</b>	Bendixův – Weissův kloub [17] .....	17
<b>Obr. 12</b>	Hvězdicový kloub – Tripode [18].....	17
<b>Obr. 13</b>	Hnací hřídele z oceli [19] .....	19
<b>Obr. 14</b>	Hliníková hřídel [23] .....	21
<b>Obr. 15</b>	Hřídel z uhlíkových vláken [24].....	21
<b>Obr. 16</b>	Hnací hřídele – vzorky.....	22
<b>Obr. 17</b>	Vzorky pro GDOES analýzu .....	23
<b>Obr. 18</b>	Analyzátor ELTRA ONH 2000 .....	24
<b>Obr. 19</b>	Vzorek pro elementární analýzu.....	25
<b>Obr. 20</b>	Analyzátor ELTRA CS 2000.....	26
<b>Obr. 21</b>	Spektrometr Spectruma Analytik GDA 750 [20] .....	27
<b>Obr. 22</b>	Grimmova výbojka vytvářející doutnavý výboj [21] .....	28

## **8 SEZNAM TABULEK**

<b>Tab. 1</b>	Výsledky elementárních analýz.....	29
<b>Tab. 2</b>	Výsledky GDOES analýz .....	30
<b>Tab. 3</b>	Porovnání výsledků GDOES a elementárních analýz .....	30