



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

# CHARAKTERISTIKA DIFERENCIÁLU MOTOROVÉHO VOZIDLA

CHARACTERISTIC OF VEHICLE'S DIFFERENTIAL

## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Tomáš Málek

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Petra Ohnišťová

BRNO 2021

# Zadaní bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie  
Student: **Tomáš Málek**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Strojírenská technologie  
Vedoucí práce: **Ing. Petra Ohnišťová**  
Akademický rok: 2020/21

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

## Charakteristika diferenciálu motorového vozidla

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Teoretický rozbor funkce diferenciálu je doplněn autorským návrhem, který je realizován na 3D tiskárně. Návrh je porovnán s konkrétním diferenciálem motorového vozidla.

### Cíle bakalářské práce:

- Rozbor funkčnosti diferenciálu
- 3D model (autorský návrh)
- Vygenerování dat pro 3D tisk
- Proces 3D tisku
- Porovnání modelu s reálným diferenciálem

### Seznam doporučené literatury:

FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky. 3. vyd. Úvaly: ALBRA, 2006. 914 s. ISBN 80-7361-033-7.

PÍŠKA, Miroslav et al. Speciální technologie obrábění. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2009. 252 s. ISBN 978-80-214-4025-8.

Příručka obrábění, kniha pro praktiky. 1. vyd. Praha: Sandvik CZ, s. r. o. a Scientia, s. r. o., 1997. 857 s. ISBN 91-972299-4-6.

PTÁČEK, Luděk et al. Nauka o materiálu I. 2. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2003. 516 s. ISBN 80-72-4283-1.

PTÁČEK, Luděk et al. Nauka o materiálu II. 2. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2003. 516 s. ISBN 80-72-4283-1.

SHAW, Milton Clayton. Metal Cutting Principles. 2nd ed. Oxford: Oxford University Press, 2005. P. 651. ISBN 0-19-514206-3.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

---

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá charakteristikou různých typů diferenciálů u motorových vozidel. Představuje jejich funkce, různá provedení a porovnání. Součástí je také kapitola o vozidlech s pohonem všech čtyř kol. Hlavní náplní je technologie výroby ozubení jednotlivými metodami, ke kterým se řadí i 3D tisk. V programu Solid Works 2016 byl vymodelován diferenciál, který byl následně vytisknut na 3D tiskárně. Tento výtisk byl posléze porovnán s reálným modelem.

### Klíčová slova

diferenciál, pohon, ozubení, obrábění, 3D tisk

## ABSTRACT

This bachelor thesis deals with characteristic of various types of differentials in motor vehicles. It represents their functions, various designs and comparisons. It also includes all wheel drive chapter. The main part is the technology of gear production which involves 3D print. There is model of differential, which was created in Solid Works 2016 specifically for this thesis. It is also printed on 3D printer and the printout is compared with a real model of differential.

### Key words

differential, drive, gearing, machining, 3D print

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MÁLEK, Tomáš. *Charakteristika diferenciálu motorového vozidla* [online]. Brno, 2021 [cit. 2021-05-20]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/129588>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Ing. Petra Ohniš'ová.

FSI VUT	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	List	5
---------	------------------	------	---

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Charakteristika diferenciálu motorového vozidla** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

20.5.2021

-----  
Datum

-----  
Tomáš Málek

FSI VUT	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	List	6
---------	------------------	------	---

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto děkuji Ing. Petře Ohnišřové za její cenné připomínky a rady při vypracování mé bakalářské práce.

## OBSAH

ABSTRAKT .....	4
PROHLÁŠENÍ.....	5
PODĚKOVÁNÍ .....	6
OBSAH.....	7
ÚVOD.....	9
1 CHARAKTERISTIKA DIFERENCIÁLU .....	10
1.1 Základní popis.....	10
1.2 Uzávěrka diferenciálu .....	11
2 SOUČASNĚ POUŽÍVANÉ DIFERENCIÁLY .....	12
2.1 Kuželový diferenciál .....	12
2.2 Čelní diferenciál .....	12
2.3 Jednoduchý otevřený diferenciál .....	13
2.4 Samosvorný diferenciál .....	13
2.4.1 Vačkový diferenciál .....	13
2.4.2 Samosvorný diferenciál s třecí lamelovou spojkou .....	15
2.4.3 Torsen .....	16
3 POHON VŠECH KOL .....	17
3.1 Připojitelný pohon všech kol s rozdělovací převodovkou .....	17
3.2 Stálý pohon všech kol .....	17
3.3 Samočinně připojitelný pohon všech kol s elektronickou regulací .....	18
4 ROZBOR VÝROBY OZUBENÍ.....	19
4.1 Frézování .....	19
4.1.1 Stopkovou frézou dělicím způsobem.....	19
4.1.2 Kotoučovou frézou dělicím způsobem .....	20
4.1.3 Odvalovací frézou.....	20
4.2 Obrážení .....	21
4.2.1 Dělicím způsobem .....	21
4.2.2 Odvalovacím způsobem (MAAG).....	21
4.2.3 Odvalovacím způsobem (FELLOWS).....	22
4.3 Protahování .....	22
4.4 3D tisk z kovu .....	23
4.4.1 Metoda PBF .....	23
4.4.2 Metoda DED .....	24
4.4.3 Metoda WAAM.....	24

4.5 3D tisk z plastu .....	24
4.5.1 Metoda SLA.....	25
4.5.2 Metoda SLS .....	26
4.5.3 Metoda FDM.....	27
5 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST .....	28
5.1 Základní popis reálné předlohy.....	28
5.2 3D tisk dle reálné předlohy .....	28
5.2.1 Tvorba 3D modelu .....	29
5.2.3 Úprava a generování dat .....	31
5.2.1 3D tiskárna .....	32
5.2.4 Shrnutí dat tisku .....	33
5.2.5 Dokončovací operace součástí .....	34
5.2.6 Porovnání modelu s reálným diferencíálem .....	35
ZÁVĚR .....	36
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....	37
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....	39
SEZNAM PŘÍLOH.....	40



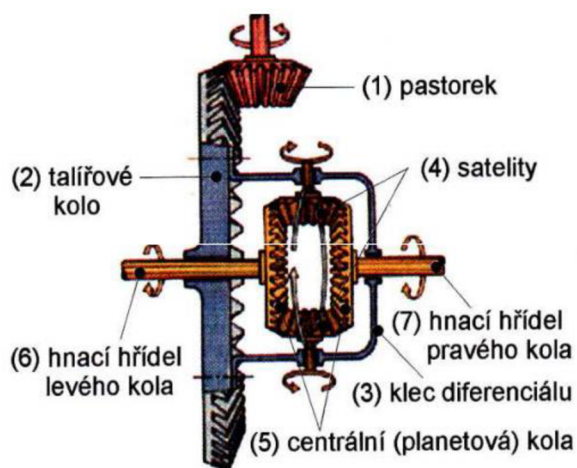
## ÚVOD

Dvoustopá vozidla se využívají k přesunu každý den. Nepohybujeme se pouze po přímých vozovkách, ale projíždíme i zatáčkami, kde se liší otáčky jednotlivých kol. Z tohoto důvodu je potřeba mezi nápravy vložit diferenciál, který rozloží otáčky na jednotlivé výstupní hřídele, a tedy i kola, což umožní hladké projetí zatáčky. Jelikož se automobil využívá v řádu desítek let, je nutné, aby byl diferenciál odolný a zaručoval dlouhou životnost. K tomu by měl dopomoci správně zvolený materiál a vhodná technologie výroby. Jedná se o díl, který je vyráběn sériově, a tedy na konvenčních univerzálních strojích. Vzhledem k nárokům na výrobu se v dnešní době využívají také nekonvenční technologie k výrobě prototypů a funkčních vzorků v podobě 3D tisku. Vzhledem k pořizovací ceně stroje a materiálu je výhodnější model vytisknout z plastu než z kovu. Plastový výtisk z 3D tiskárny sice nelze využít v reálném vozidle, ale může sloužit ke studijním účelům, výstavám a kontrole funkčnosti prototypu v chodu, pokud bude mít totožné rozměry.

# 1 CHARAKTERISTIKA DIFERENCIÁLU

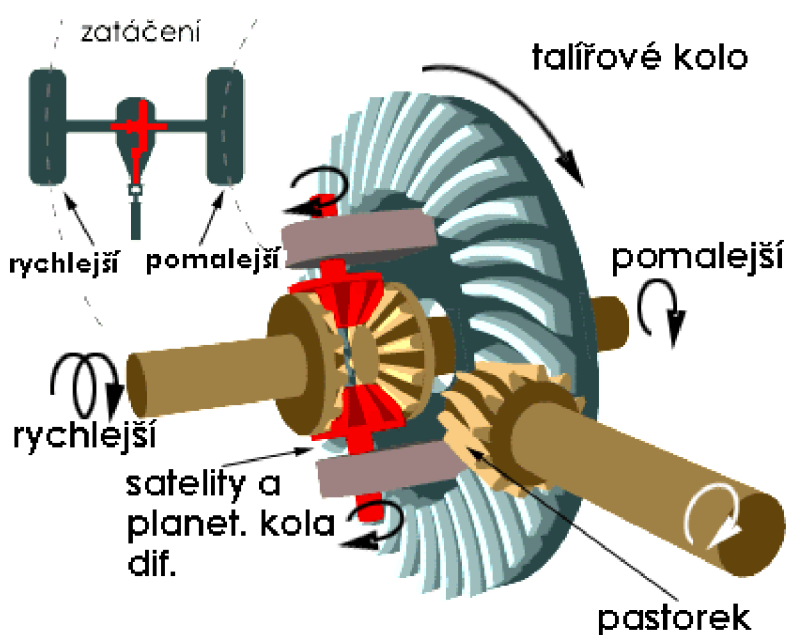
## 1.1 Základní popis

Diferenciál je nedílnou součástí každého motorového vozidla. Nachází se pouze na hnací nápravě, jelikož u hnané nápravy jsou kola volně otočná. Rozděluje rovnoměrně točivý moment na obě hnací kola i v případě, že se jejich otáčky liší. Točivý moment se přenáší pastorkem na talířové kolo, přes skříň diferenciálu na čep satelitu (Obr. 1). Pomocí ozubení na satelitu se přenáší točivý moment na planetová kola diferenciálu, která jsou spojena s hnacím hřídelem a přenáší tak točivý moment na hnací kola [1].



Obr. 1 Schéma kuželového diferenciálu s kuželovým stálým převodem [1].

Jestliže vozidlo projíždí zatáčkou, tak vnější kolo má větší rychlost než kolo vnitřní a to znamená, že má i větší otáčky a tím pádem i dráhu (Obr. 2). Hnací kola mohou konat rozdílnou dráhu i vlivem různého zatížení kol, nerovné vozovky nebo při rozdílném tlaku [1,2].

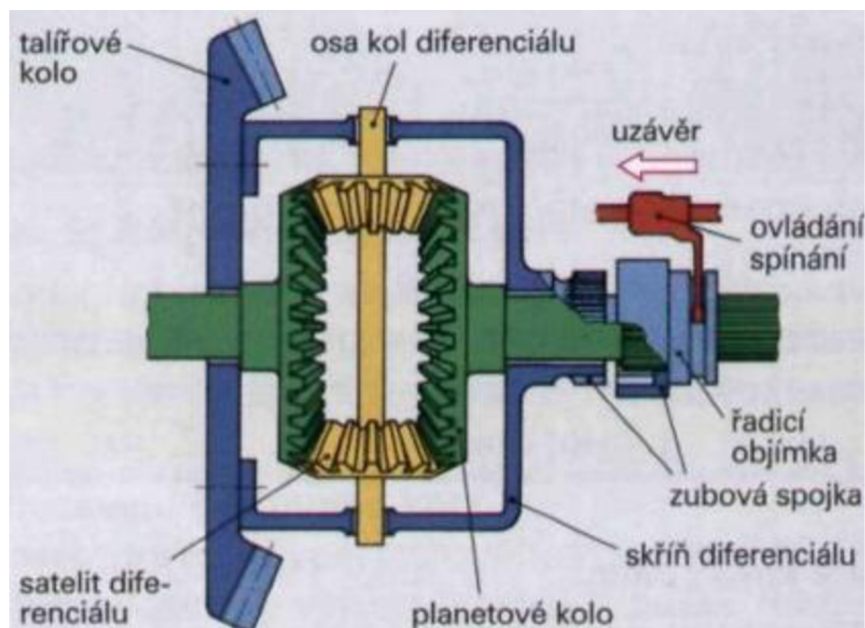


Obr. 2 Schéma diferenciálu při zatáčení [2].

Pokud by byla obě kola posazena pevně na hřídeli, který je poháněný přes stálý převod, tak by hnací kola měla stejné otáčky. Nastal by tedy zákonitě prokluz některého z kol na nápravě. Prokluz kola zhoršuje boční vedení pneumatiky a zvyšuje opotřebení pneumatik a namáhání převodového ústrojí [1,3].

## 1.2 Uzávěrka diferenciálu

Nastane-li stav, kdy se vozidlo nachází na vozovce se špatnou přilnavostí (led, bláto, sníh atd.), tak je nutné vyřadit diferenciál z činnosti. K tomu slouží závěrka diferenciálu (Obr. 3). Ve své podstatě se jedná o zubovou spojku, která přesunutím po drážkované části hřídele hnacího kola spojí centrální kolo s klecí diferenciálu. Diferenciál se potom pohybuje jako jeden pevný celek. Zařazení závěrky diferenciálu se používá pouze při vyprošťování uvíznutého vozidla nebo při přejezdu kluzkého terénu. Po projetí překážky na volné vozovce musí být závěrka vypnuta. V opačném případě by docházelo k nadměrnému namáhání převodového ústrojí vozidla, opotřebovávání pneumatik a snížení bezpečnosti jízdy vozidla [1,3,4].



Obr. 3 Kuželový diferenciál se závěrem a zubovou spojkou [3].

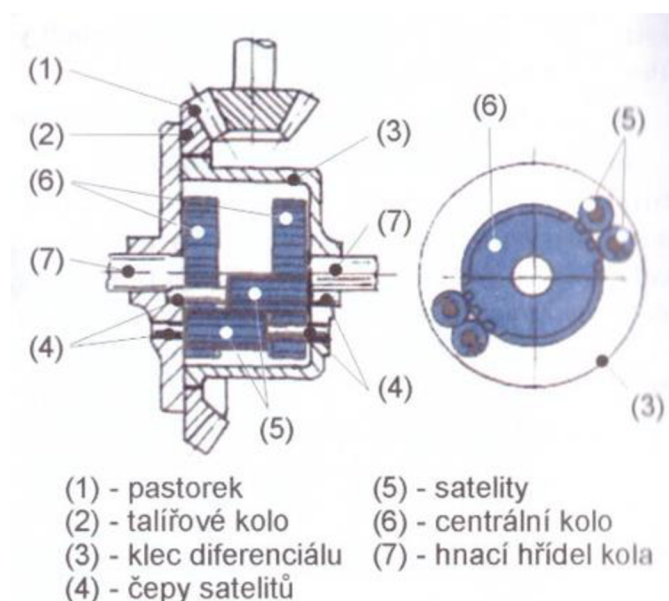
## 2 SOUČASNĚ POUŽÍVANÉ DIFERENCIÁLY

### 2.1 Kuželový diferenciál

Diferenciál se skládá z kuželového hnacího pastorku, jenž je v záběru s talířovým kolem, ke kterému je přišroubovaná skříň diferenciálu (Obr.3). Otočně uložená kola s přímým ozubením tzv. satelity jsou ve stálém záběru s planetovými koly a jsou uloženy přes čep, který je pevně spojen se skříní diferenciálu. Čep může být jeden průchozí (pro dva satelity) nebo křížový (pro čtyři satelity). Jeden čep se používá nejčastěji u osobních automobilů. Křížový čep se využívá u převodů, které jsou více namáhané (závodní nebo těžké užitkové vozy). Kuželový diferenciál je jeden z nejčastěji používaných typů mezi diferenciály [1,3].

### 2.2 Čelní diferenciál

Jak už i název napovídá, tak se jedná o diferenciál, který se skládá ze satelitů a planetových kol, která mají čelní ozubení (Obr. 4). Konstrukčně ho tvoří klec, která je poháněna soukolím stálého převodu rozvodovky, kde jsou uloženy čepy čelních satelitů s přímým ozubením. Satelity jsou v záběru s přímým ozubením centrálních kol a jsou rozmístěna tak, aby každý satelit zabíral pouze s jedním centrálním planetovým kolem. Bývá zpravidla čtyři nebo šest satelitů, které jsou vzájemně pootočené o 180°. Vnější průměr klece diferenciálu je menší než u kuželového diferenciálu, ale naopak má větší délku [1,3,4].



Obr. 4 Schéma čelního diferenciálu [1].

### 2.3 Jednoduchý otevřený diferenciál

Je to nejrozšířenější typ u motorových vozidel. Obvykle ho tvoří klec s kuželovými ozubenými koly, která jsou volně otočná a zabírají současně s ozubenými koly na výstupních hřídelích (Obr 5). Převodovka pohání celou klec. Točivý moment, který je přiveden z převodovky se rozděluje na výstupní ozubená kola vždy ve stejném poměru (50:50). Pokud jedno kolo začne prokluzovat, čímž se sníží odpor a tím i přiváděný moment, tak se na druhém neprokluzujícím kole sníží moment na stejnou hodnotu. Znamená to tedy, že obě kola mají stejný moment, ale prokluzující kolo má vyšší otáčky. Snížením tažné síly na jednom kole se projeví dvojnásobně a celkový tah vozidla výrazně poklesne, což je nežádoucí [5].



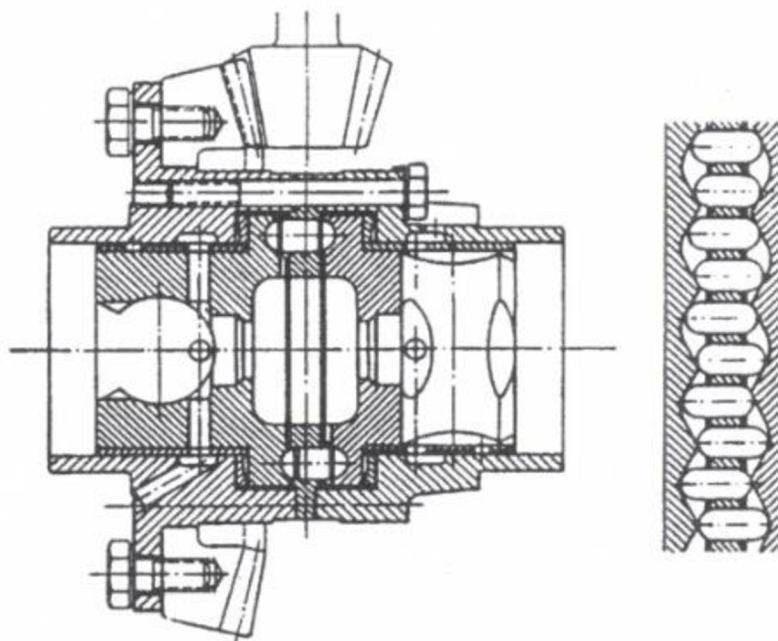
Obr. 5 Schéma čelního diferenciálu [5].

### 2.4 Samosvorný diferenciál

Ovládat závěr diferenciálu během řízení je obtížné. Z tohoto důvodu se používá u některých osobních automobilů samosvorný diferenciál, který plní svou funkci při jízdě na vozovce s dostatečnou přilnavostí stejně jako normální diferenciál čelní nebo kuželový. Pokud jedno kolo začne prokluzovat a v tom případě bude jeho rychlost větší než na kole druhém, tak vznikne zvýšené tření, které dovolí pouze určitý rozdíl mezi otáčkami pravého a levého hnacího kola. Zabrání se tím volnému protáčení kol vůči sobě. Rozdělování točivého momentu už není rovnoměrné, ale neprokluzující kolo dostává větší část točivého momentu. Mezi nejčastěji používané samosvorné diferenciály patří: s třecí lamelovou spojkou, Torsen – šnekový a vačkový (kolíkový) [1,3].

#### 2.4.1 Vačkový diferenciál

Hnací moment je přenášen přes kolíky na jednotlivé hřídele. V kleci diferenciálu jsou volně uloženy vačkové kotouče s vybroušenými kluznými dráhami po vnitřních stranách pro kolíky (Obr.6). Unášecí kotouč, který je pevně spojen s klecí je vložen mezi planetová centrální kola (vačkové kotouče). Tento kotouč má vyvrtné díry, ve kterých se pohybují kolíky ve směru své osy [6,7,8].

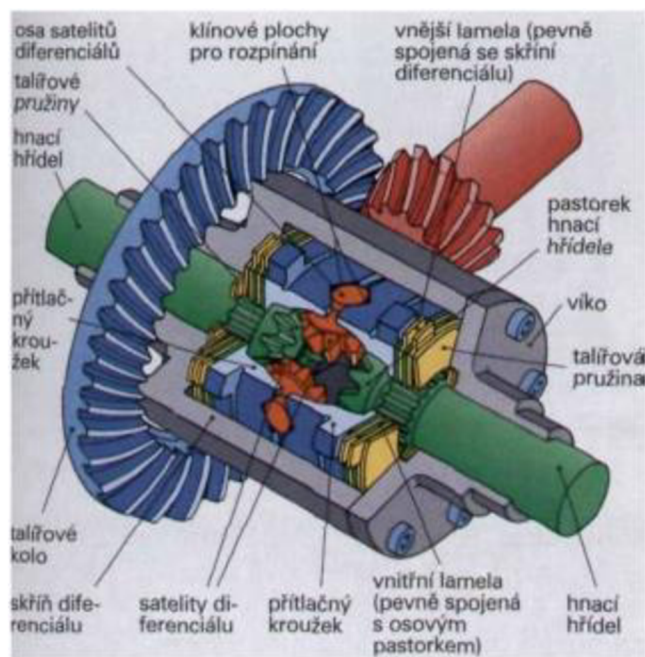


Obr. 6 Princip vačkového diferenciálu [8].

Pokud automobil jede stejným směrem, tak se vačkové kotouče společně s klecí otáčejí jako celek. Při průjezdu zatáčkou vzniká větší odpor na vnitřním kole a tím se vačkový kotouč zpomalí a to způsobí, že unášecí kolíky prokluzují. Ovšem na druhém vačkovém hřídeli se přes kolík vyvíjí větší tlak a urychluje se tím jeho otáčení vůči kleci. Tento účinek vzniká při čtenějších rozdílech mezi otáčkami kol [6,7,8].

### 2.4.2 Samosvorný diferenciál s třecí lamelovou spojkou

Tento diferenciál obsahuje mimo obvyklých částí i dva přitlačné kotouče a dvě lamelové spojky. Přitlačné kotouče mají unášecí výstupky, které jsou na obvodu a zasahují tak do podélných drážek v kleci diferenciálu (Obr. 7). Klec tedy pohání přitlačné kotouče. Kotouče se mohou vůči kleci axiálně pohybovat. Mezi čelními plochami klece a vnější plochou přitlačných kotoučů jsou vloženy lamely, které mají unášecí výstupky a zasahují tak do podélných drážek v kleci. Centrální kola jsou spojena pomocí ozubení s vnitřními lamelami. Oba přitlačné kotouče mají vyfrézovány na vnitřních čelních plochách čtyři klínové výřezy. V těchto výřezech jsou uloženy čepy satelitů. V lamelách je vytvořeno předpětí pomocí talířových pružin [1,3,4,5].



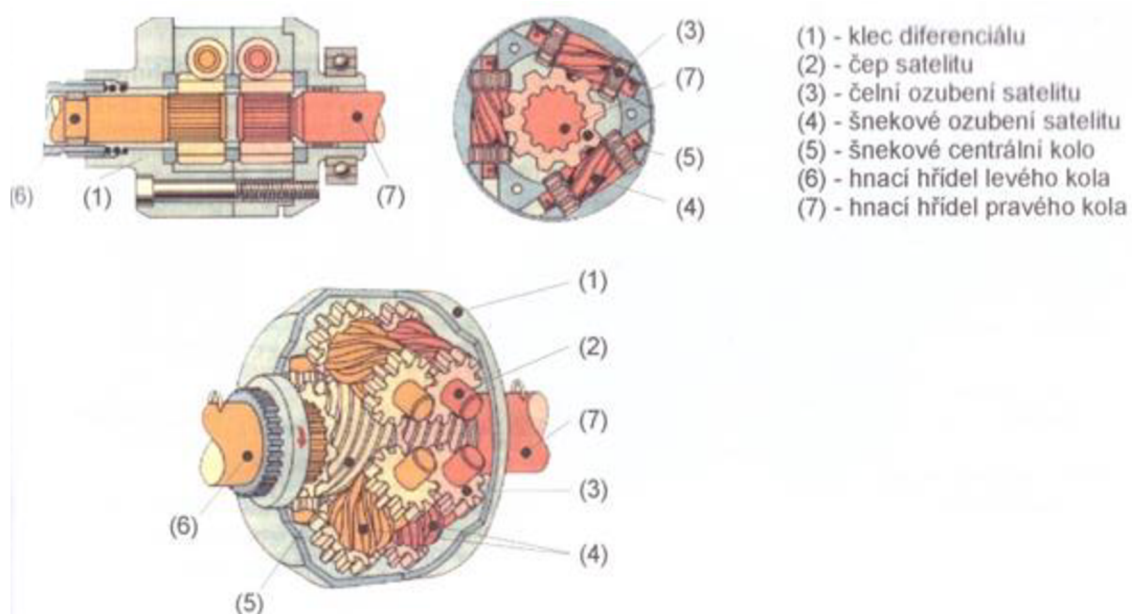
Obr. 7 Samosvorný diferenciál s třecí lamelovou spojkou [3].

Točivý moment je přiváděn z převodovky. Zvětší se pomocí stálého převodu, který je veden přes klec diferenciálu na přitlačné kotouče. U osobních automobilů je samočinně ovládaný svorný účinek do 40 % [4]. Na rozdíl od elektrohydraulicky ovládaných, kde je až 100% svorný účinek, ale je omezený rychlostí do 35 km/h. Tento diferenciál se nazývá samočinný samosvorný diferenciál ASD [1,3,5].

Pokud nastane prokluz pravého hnacího kola, otáčí se i satelity a jejich čepy sunou přitlačné kotouče proti lamelám obou spojek [1]. Vytvoří se zde třecí moment mezi vnějšími lamelami a rychlejšími vnitřními lamelami vlivem přitlačné síly. Rozdíl otáček lamel uvádí velikost třecího momentu, který je veden klecí diferenciálu levou lamelovou spojkou na ozubení levého hnacího hřídele a levé hnací neprokluzující kolo [4,5].

### 2.4.3 Torsen

Tento diferenciál pracuje se třemi páry satelitů, které jsou obstarány šnekovým a čelním ozubením s přímými zuby (Obr. 8). Satelity jsou uloženy na čepech satelitů rotační vazbou. Šnekové ozubení satelitu zabírá se šnekovým centrálním kolem a zároveň zabírá s čelním ozubením párového satelitu. Z převodovky je přiváděn, přes stálý převod, točivý moment na talířové kolo a klec diferenciálu a přes satelity na šnekové centrální kola [1,3,5,8].



Obr. 8 Šnekový samosvorný diferenciál Torsen [1].

V závislosti na adhezních podmínkách tento diferenciál rozděluje hnací moment na obě hnací kola a umožňuje jim rozdílné otáčky. Pokud tedy nastane protáčení jednoho z kol, tak se zvýší tření a odpor ve šnekovém ozubení. Prokluzující kolo začne přibrzďovat a větší točivý moment se převádí na neprokluzující kolo (s větší adhezí) [1,3,5,8].



### 3 POHON VŠECH KOL

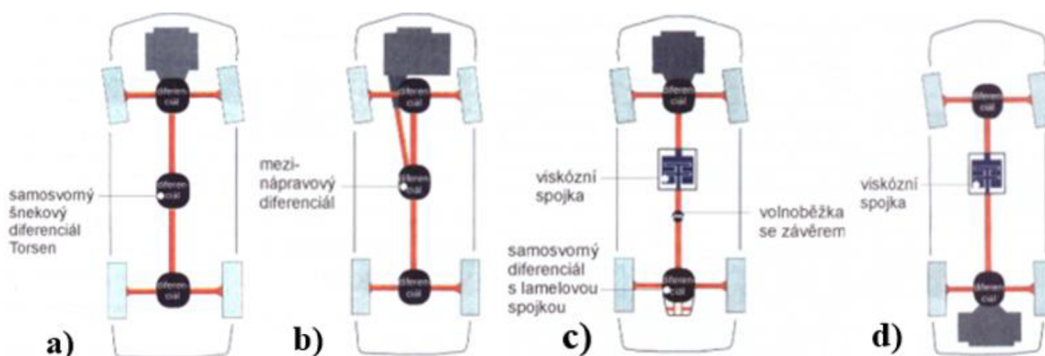
Pohon všech kol označovaný také jako 4x4, 4WD (z anglického Four Wheel Drive) nebo AWD (z anglického All Wheel Drive). Jízdní vlastnosti vozidla jsou lepší, pokud je hnací síla na jednotlivém kole menší. Pokud tedy máme vozidlo jen s jednou poháněnou nápravou, tak se hnací síla dělí pouze mezi dvě kola. U 4x4 se hnací síla dělí rovnoměrně mezi nápravy na všechna čtyři kola. Vozidlo má lepší záběr kol, což je výhodou na vozovce s nízkou adhezí. Druhy pohonu všech kol se dnes rozdělují do tří skupin: připojitelný pohon všech kol s rozdělovací převodovkou, stálý pohon všech kol a samočinně připojitelný pohon všech kol [1,7].

#### 3.1 Připojitelný pohon všech kol s rozdělovací převodovkou

Rozdělovací převodovka přenáší hnací moment na přední a zadní nápravový diferenciál. Pokud je vozidlo poháněno pouze na jednu nápravu, je možné zařadit pohon všech kol a tím se propojí přední a zadní náprava napevno. V případě využití rozdělovací převodovky s kuželovým diferenciálem se hnací moment rozděluje mezi nápravy rovnoměrně. Pokud je použit planetový diferenciál, tento poměr hnacího momentu jde rozdělit nerovnoměrně (např. 33:67). Toto uspořádání má nevýhodu v tom, že pokud automobil nemá mezinápravový diferenciál, tak rozdílné otáčky přední a zadní nápravy zvyšují namáhání kloubových hřídelů. Zhorší se jízdní vlastnosti a dochází i ke zvýšenému opotřebení pneumatik [1,9].

#### 3.2 Stálý pohon všech kol

Všechna kola jsou trvale poháněna. Vzájemné propojení přední a zadní nápravy může být pomocí mezinápravového diferenciálu. Diferenciál může být šnekový, kuželový nebo může být použita viskózní spojka nebo volnoběžka se závěrem. Variant, jak propojit přední a zadní nápravu je hodně a každá automobilka má svoji konstrukci (Obr. 9) [1,3,4,6,8].



Obr. 9 Varianty pohonu všech kol a) Audi, b) Mercedes-Benz, c) Volvo, d) Porsche [1].

### **3.3 Samočinně připojitelný pohon všech kol s elektronickou regulací**

Jedná se o systémově řízenou regulaci. Točivý moment je přenášen na kola s lepší adhezí pomocí viskózní spojky, která dodává stálý pohon na přední a zadní nápravu. Pokud jsou rozdílné otáčky, systém nedokáže rozpoznat, jestli se jedná o prokluz způsobený nadměrně rychlou jízdou v zatáčce nebo o prokluz zapříčiněný malou adhezí pneumatik. Tyto nevýhody jsou odstraňovány pomocí systémů s elektronickou regulací propojení pohonu všech kol. Mezi tyto systémy patří mezinápravová rozvodovka Viscomatic nebo mezinápravová lamelová spojka Haldex [1,4,6,7].

## 4 ROZBOR VÝROBY OZUBENÍ

Výroba ozubených kol je z technologických důvodů poměrně složitá. Především kvůli tvaru ozubení se vyžadují kvalitní obráběcí stroje i nástroje. Ozubená kola se vyrábí různými způsoby, v závislosti na přesnosti, produktivitě, nákladech a možnosti nároků na speciální stroje. Ozubené kolo se obrábí především frézováním, obrážením, protahováním, ale může se i nahrubo předlít. Jako dokončovací operace je broušení a ševingování [10,11,12].

### 4.1 Frézování

Metody obrábění ozubeného kola pomocí frézování jde rozdělit na několik druhů. Podle kinematiky obrábění ozubení je rozdělení metod způsobem odvalovacím, která je přesnější výkonnější a vhodná pro hromadnou a sériovou výrobu a způsobem dělicím, která je méně přesná a je vhodná spíše pro kusovou výrobu [11]. Dělicí způsob má však malou přesnost [10,12].

#### 4.1.1 Stopkovou frézou dělicím způsobem

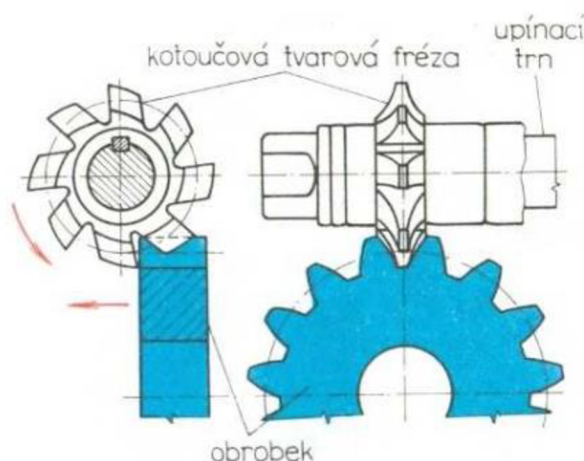
Dělicí přístroj pootočí obrobek po vyfrézování jedné zubové mezery o jednu zubovou rozteč. Tvar zubové mezery je určen profilem frézy (Obr. 10). Stopková fréza se využívá nejčastěji na výrobu čelních ozubených kol s šikmým, přímým a šípovým ozubením s velkými moduly [10]. Šikmé ozubení se frézuje tak, že se natočí stůl univerzální frézky o úhel stoupání šroubovice. Frézování se tak provádí při posuvném pohybu stolu a otočném pohybu dělicího přístroje. Nástroj se upíná letmo, jelikož jen náchylný na ohyb. Používají se krátké posuvy a z toho vyplývají dlouhé výrobní časy [11,12].



Obr. 10 Stopková fréza [13].

#### 4.1.2 Kotoučovou frézou dělicím způsobem

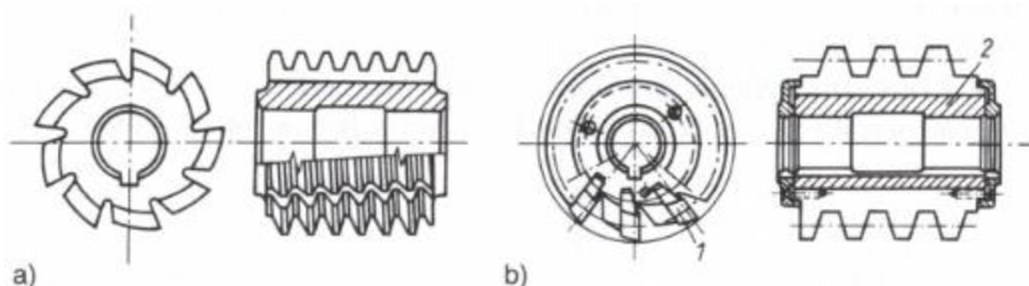
Tvar zubové mezery je určen profilem frézy (Obr.11). Kotoučová fréza má stejný princip jako fréza stopková, ale frézování kotoučovou frézou je výkonnější. Stejně jako stopkovou, tak i kotoučovou frézou se vyrábí válcová čelní kola s šikmým i přímým ozubením [12]. Pro daný modul a počet zubů ozubeného kola se vyrábí sada kotoučových fréz s daným modulem a úhlem záběru. Jednotlivá fréza v sadě má určený stanovený rozsah. Tento způsob obrábění ozubených kol je málo přesný a použitelnost pro ozubení je do rychlosti 5 m/s [10,11].



Obr. 11 Kotoučová fréza [13].

#### 4.1.3 Odvalovací frézou

Odvalovací způsob je nejčastěji používaný způsob na výrobu ozubení, který má vysokou přesnost a velkou produktivitu. Válcová tvarová fréza má zuby uspořádané do šroubovice podobně jako u šnekového kola (Obr 12). Zuby vznikají vyfrézováním drážek na fréze, které mohou být rovnoběžné s osou nebo ve šroubovici. Jednotlivé drážky vytváří zubové mezery, které odvádí třísku. Nástroj se při frézování odvaluje po obrobku, který se plynule otáčí. Pro přímé ozubení se osa nástroje vůči rovině obrobku naklání, kvůli vyrovnání stoupání šroubovice. U šikmého ozubení se ještě naklání o  $\pm$  úhel sklonu zubů. Tento způsob se liší od dělicího tím, že všechny zuby vznikají zároveň [10,11,12].



Obr. 12 Odvalovací fréza a) celistvá z rychlořezné oceli, b) s vestavěnými hřebeny s RO nebo SK  
1 - hřeben, 2 - těleso frézy [11].

## 4.2 Obrázení

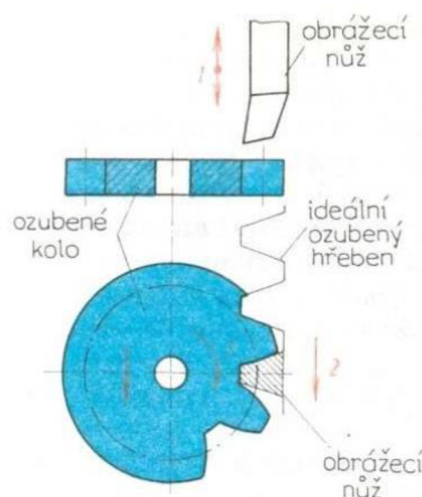
Nástrojem na obrázení je tvarový nůž, který má základní tvar zubu. Hlavní řezný pohyb koná nástroj, a to je přímočarý vratný [11]. Vedlejší pohyb koná obrobek a může být přímočarý nebo kruhový. Obrázení ozubených kol se dělí na způsob dělicí a odvalovací. Způsob odvalovací se dále dělí podle toho, jestli se obráží hřebenovým nožem (MAAG) nebo kotoučovým nožem (FELLOWS) [10,12].

### 4.2.1 Dělicím způsobem

Nejčastěji se pro tento způsob obrázení používá svíslá obrážekka s dělicím stolem. Nástroj má tvar zubové mezery. Obrobek je upnut na dělicím přístroji, který vykoná otočení o zubovou rozteč, po obražení jednotlivé zubové mezery. Dělicím způsobem se dají vyrobit i kola s vnitřním ozubením. Tento způsob však není moc produktivní a přesný, proto se na zlepšení přesnosti a povrchu zubů využívá dokončovací operace ševingování [10,11,12].

### 4.2.2 Odvalovacím způsobem (MAAG)

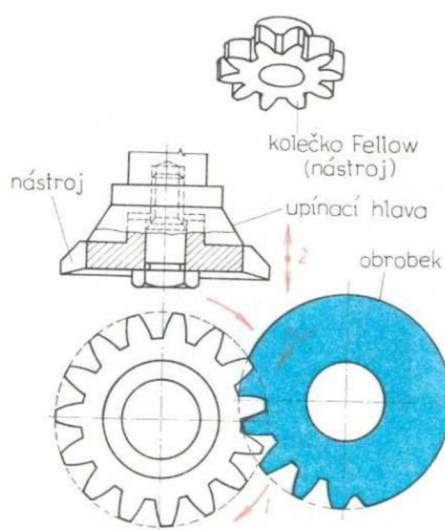
Odvalovací způsob je produktivnější, přesnější a rychlejší než dělicí způsob. Nástrojem je obrážecí hřebenový nůž, který má zuby o tvaru lichoběžníkového základního profilu [12]. Hřeben může být levý nebo pravý, přímý nebo šikmý. Obráběné kolo se odvaluje po nástroji (Obr. 13). Nástroj koná přímočarý vratný pohyb ve směru sklonu zubů. Při zpětném zdvihu se hřeben pohybuje mimo obrobek, aby nedocházelo k tření a tím se hřeben neopotřeboval. Hloubka zubové mezery se obráží celou hloubkou zároveň a při tom i na několika zubech najednou [13]. Výhodou tohoto způsobu je, že se dá dělat velmi přesné ozubení na hřídeli až k osazení a cena nástroje je relativně levná. Nevýhody odvalovacího způsobu obrázení MAAG jsou dlouhé výrobní časy a potřeba speciálního obrážecího stroje [10,11,14,15].



Obr. 13 Obrázení hřebenovým nožem – MAAG [13].

### 4.2.3 Odvalovacím způsobem (FELLOWS)

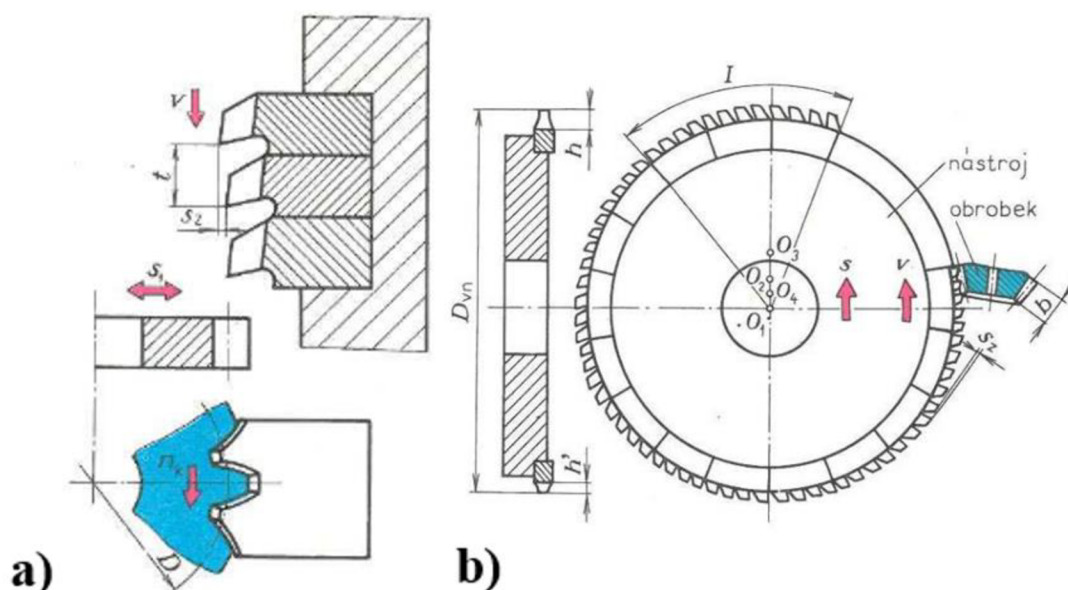
Nástrojem je obrážecí kotoučový nůž, který připomíná ozubené kolo. Nástroj koná přímočarý vratný pohyb a zároveň pomalý rotační pohyb (Obr. 14). Stejnou velikostí rotačního pohybu se pohybuje i obráběné kolo, ale opačným směrem [11]. Přisuv zajišťuje posunutí nože k obrobku. Do plného posunutí se mezitím kolo otočí o  $\frac{1}{4}$  své otáčky. To znamená, že celé kolo se vyrobí za 1 a  $\frac{1}{4}$  otáčky. Pokud má kolo velký modul, tak se hloubka zubové mezery dosahuje až po několika otáčkách obrobku. Při zpětném zdvihu se nástroj pohybuje mimo obrobek, aby nedocházelo k tření a tím se neopotřebovávalo ostří. K tomu slouží vačka pro odsouvání obrobku. Pokud se vyrábí kolo s šikmým ozubením, tak nástroj vykonává navíc šroubový pohyb během pracovního zdvihu a musí mít šikmé ozubení. FELLOWS jde obrábět i vnitřní ozubení. Upínání nástroje se dělí na stopkové a miskové [12,13,14].



Obr. 14 Obrážení kotoučovým nožem – FELLOWS [13].

### 4.3 Protahování

Na protahování vnějšího ozubení se používá protahovací trn nebo kotoučový protahovák (Obr. 15). Protahovací trn je sada tvarových nožů postupně odstupňovaných za sebou, které mají profil jedné nebo více zubových mezer [11]. Kotoučový protahovák má rozmístěny po obvodu kola zuby o tvaru jedné zubové mezery. Oba tyto způsoby využívají dělicí stůl, na kterém je upnut obrobek a po protáhnutí jedné zubové mezery se pootočí o jednu zubovou rozteč. Na obvodu je kvůli tomu vynechaná část bez zubů [14]. Na protahování vnitřního ozubení se používá válcový protahovák, který má tvar zubu stejný jako zubová mezera obrobku. Každý protahovací nástroj má jako poslední kalibrovací část zajišťující přesný tvar zubové mezery. Materiál bývá celistvý z RO nebo je tělo z KO, se segmenty z RO nebo SK. Kvůli vysoké ceně nástroje se protahování používá pouze v hromadné a velkosériové výrobě [12,13,15].



Obr. 15 a) Protahovací trn, b) Kotoučový protahovák [13].

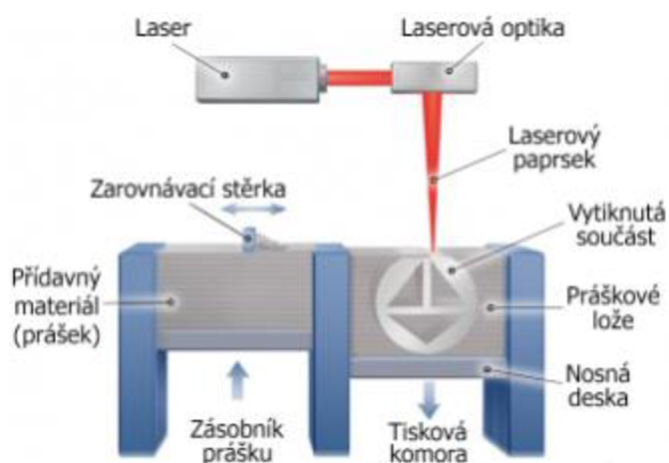
#### 4.4 3D tisk z kovu

Mezi moderní konvenční technologie se již několik let řadí 3D tisk kovu. Tento výrobní postup vnáší nové možnosti mezi návrhy, ale i ve výrobě a vývoji kovových součástí. Tato technologie se řadí k technologii Rapid Prototyping, která má za úkol pomocí generace fyzického objektu z CAD databáze uspořít výrobní čas prototypových součástek a modelů. 3D tiskárna následně pracuje s těmito daty. Díl může mít finální tvar jako sériový díl, případně prototypový díl, ale většinou se vytváří složitá součást, která je nevyrobitelná nebo těžce vyrobitelná jinými technologiemi [16].

3D tisk má různé metody, ale jsou postaveny na podobném základu a tou je aditivní technologie. To znamená, že materiál je přetaven pomocí tepelného zdroje a vrství se do tvaru dílu v konstantní tloušťce. Metody se zpravidla liší stylem, jakým je podáván přídavný materiál ke zhotovovanému dílu. Můžeme je rozdělit do tří hlavních skupin: Powder bed fusion (PBF), Directed energy deposition (DED) a Wire arc additive manufacturing (WAAM) [16,17].

##### 4.4.1 Metoda PBF

Metoda PBF neboli tisk z práškového lože, využívá prášek jako přídavný materiál a to tak, že je nanášen ze zásobníku na základní nosnou platformu ve velice tenké vrstvě (Obr. 16). Tepelný zdroj zajistí, aby se jednotlivá zrnka prášku sjednotila v selektivních bodech a tím vznikla jedna vrstva vyráběného dílu. Po vzniku vrstvy se nosná platforma sníží o výšku dané vrstvy a celý proces se může opakovat až do vzniku daného navrženého dílu. Prášek ležící v neovlivněné zóně slouží jako podpora a je mechanicky odstraněn po dokončení tisku. Použitý prášek se dá recyklovat a použít pro další tisk [16,17].



Obr. 16 Metoda PBF [16].

#### 4.4.2 Metoda DED

Metoda DED neboli řízená energetická depozice, taktéž pracuje s práškem. Tato metoda se podobá metodě PBF. Laser roztaví prášek a výsledný tvar se získá spečením této taveniny do výsledného tvaru [16,17].

#### 4.4.3 Metoda WAAM

Metoda WAAM neboli aditivní výroba drátěným obloukem, která využívá podobný princip jako je u obloukového svařování s drátem. Drát je tedy přídavný materiál a je umístěn na cívce, ze kterého vznikne namodelovaný díl. Jedna z výhod této metody je v rychlosti tisku a efektivitě. [17].

#### 4.5 3D tisk z plastu

Jelikož je 3D tisk z kovu nákladný a mnohdy je zapotřebí jen vyzkoušet, zda daný model bude vyhovovat velikostí nebo v jiných ohledech, využívá se místo kovu plast, který je méně nákladný. K tisku se využívají různé materiály např.: PLA, ABS, PET-G, PC a mnoho dalších. Mezi nejrozšířenější metody patří Fused Deposition Modeling (FDM), Stereolitografie (SLA) a Selective Laser Sintering (SLS) [18].

Jelikož každý materiál se liší různým způsobem, tak je podstatné, jaké má vlastnosti při obrábění. Dva nejčastěji používané materiály jsou PLA a ABS. PLA se využívá na výtisky, u kterých je důležitá estetika. Nižší teplota tisku zapříčiní snazší tisk, a proto je vhodnější na výtisky s jemnými detaily. Materiál ABS se zase využívá u výtisků, kde je potřeba vyšší tažnost, pevnost, tepelná stabilita a obrobitelnost. Nevýhoda ABS je náchylnost ke zkroucení. Materiál PET-G je podobný ABS, ale nemá takovou náchylnost ke zkroucení a popraskání [18,19].

Při tisku modelu, který bude dál upravován, nezáleží moc na počtu podpor nebo jaké nastavení se použije. Výška vrstvy také není moc důležitá. Použití optimálního nastavení od výrobce zajistí, aby se dosáhlo potřebných nezbytných výsledků např.: použití výplně (infill) od 20 % výš, aby při opracovávání nebyl poškozen finální tvar [19].

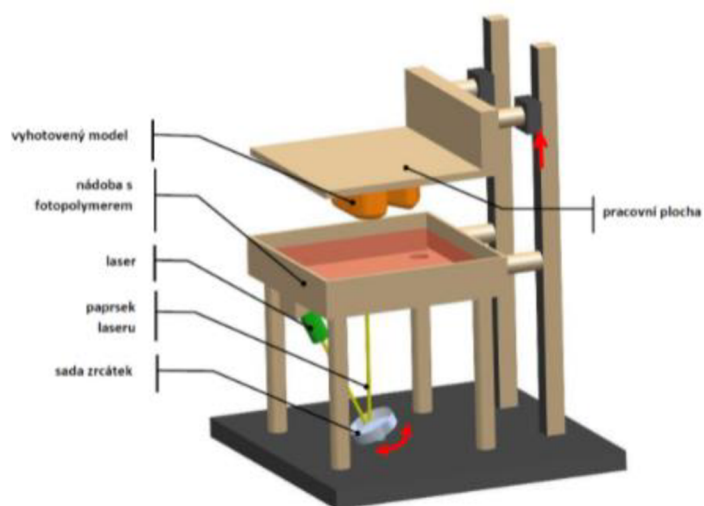


Většina vytištěných dílů nemůže pracovat bez návaznosti na jiné díly. Spojení dílů může být mechanické, lepené, svařované a konstrukčním způsobem. Mechanické, svařované a konstrukční spoje se využívají u funkčních modelů při mechanickém pohybu a lepené spoje se používají spíše pro modely, kde není tak velké namáhání na spoj. Pokud jsou některé části hodně namáhané používají se armatury k dosažení vyšší pevnosti. Armatury mohou být kovové profily vloženy do modelu tak, aby se nezměnila funkčnost modelu. Profily mohou být různé šrouby, tyče, dráty, trubky, ale i špejle nebo jiné pevné nekovové materiály, které se k modelu hodí [19].

#### 4.5.1 Metoda SLA

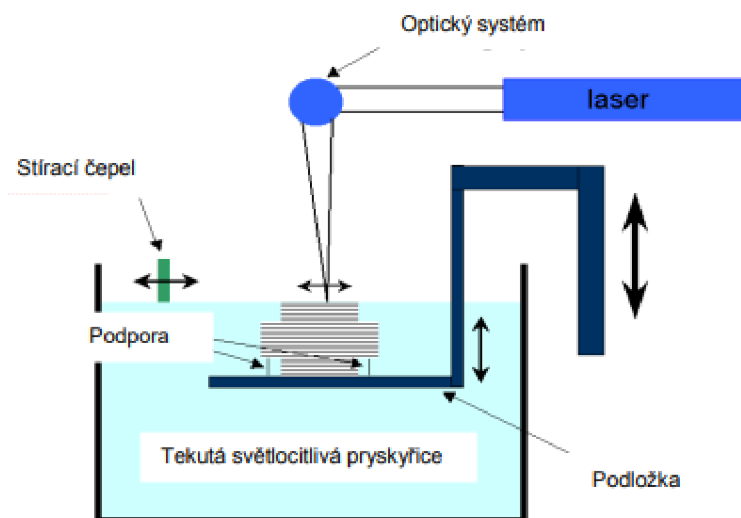
U této metody se pracuje s vytvrzováním tekutého fotopolymeru a dá se rozdělit na dva principy, jakým způsobem tiskárna pracuje.

První princip je založen na tom, že pracovní plocha je kompletně ponořena do nádoby s tekutým fotopolymerem (Obr. 17). Laser vytváří UV záření, které působí na pracovní plochu ze spodní části skrz nádobu. Pracovní plocha se posouvá směrem od nádoby vzhůru a tím postupně vytahuje model z nádoby [18,20,21].



Obr. 17 Metoda SLA s laserem ze spodní části [18].

Druhý princip se liší od prvního tím, že laserový paprsek působí shora na pracovní plochu, která je postupně ponořována do fotopolymeru (Obr. 18). V místě modelu na pracovní ploše vzniká vytvrzování fotopolymeru laserem. Po vytvoření jedné vrstvy modelu se pracovní plocha i s již vytvořenými vrstvami ponoří o výšku následující vrstvy a proces se opakuje [18,20,21].

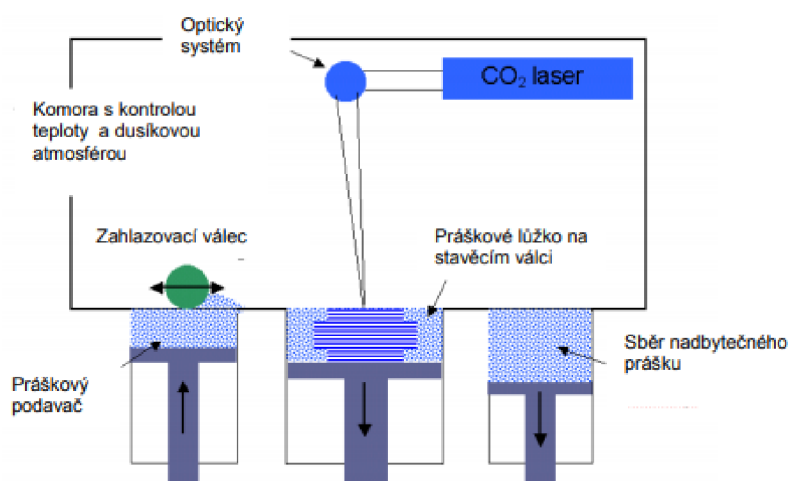


Obr. 18 Metoda SLA s laserem z horní části [22].

Jako výrobní materiál se dá použít např. fotopolymerická pryskyřice. Mezi největší výhody této metody patří jednoznačně výborná přesnost, a to v řádech mikrometrů. Další předností této metody je, že může obsahovat tenké stěny a otvory v řádech mm. Nevýhoda je ve výběru materiálu, který musí být fotocitlivý (fotopolymery) a následně po tisku se model musí dát nechat dotvrdit, kvůli zlepšení mechanických vlastností. Další nevýhodou této metody je pořizovací cena, která se pohybuje v řádech statisíců a cena materiálu se pohybuje od 10.000 Kč/kg [18,21,22].

#### 4.5.2 Metoda SLS

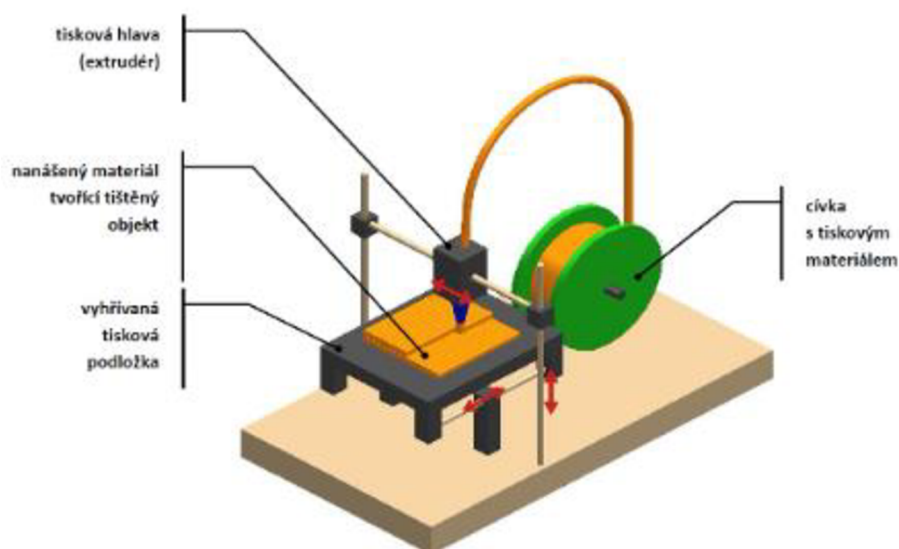
U této metody se práškový materiál spéká pomocí tepelné energie, která je vyvinuta laserovým paprskem (Obr. 19). Práškový materiál je pomocí podavače nanesen na pracovní plochu v tenké vrstvě. Minimální vrstva je cca 0,06 mm. Laser sjednotí jednotlivá zrnka prášku v selektivních bodech a tím vznikne jedna vrstva vyráběného dílu. Po vytvoření vrstvy se pracovní plocha sníží o výšku následující vrstvy a celý proces se opakuje do vytvoření kompletního modelu [21]. Mezi výhody této metody patří využití prášku ležícího mimo model, který zůstává jako podpora pro následující vrstvu, není tak potřeba řešit jiné podpory. Další z výhod je nízká pořizovací cena materiálu, který může být i kovový. Naopak pořizovací cena tiskárny se pohybuje v řádech milionů Kč. Mezi další nevýhody patří nedokonalost povrchu, což způsobí pórovitost modelu [18,22].



Obr. 19 Metoda SLS [22].

#### 4.5.3 Metoda FDM

Materiál je u této metody uložen na cívce, ze které směřuje ve formě struny (filamentu) do tiskové hlavy (extrudér) (Obr. 20). V extrudéru se daný materiál roztaví a pomocí trysky se nanáší na pracovní stůl ve vrstvách. Jednotlivé vrstvy mohou mít minimální velikost 0,05 mm. Pokud se tiskne složitější model, používá se podpůrný materiál. Tato metoda má výhodu nejen v pevnosti modelu, ale také i v minimálním odpadu. Naopak hrubá struktura, rozdílné mechanické vlastnosti v různých směrech a odstraňování podpůrného materiálu patří mezi nevýhody. Pořizovací ceny tiskáren začínají na třinácti tisících Kč. Cena se navyšuje s technickými parametry tiskárny a může se pohybovat ve stotisících Kč [18,20].



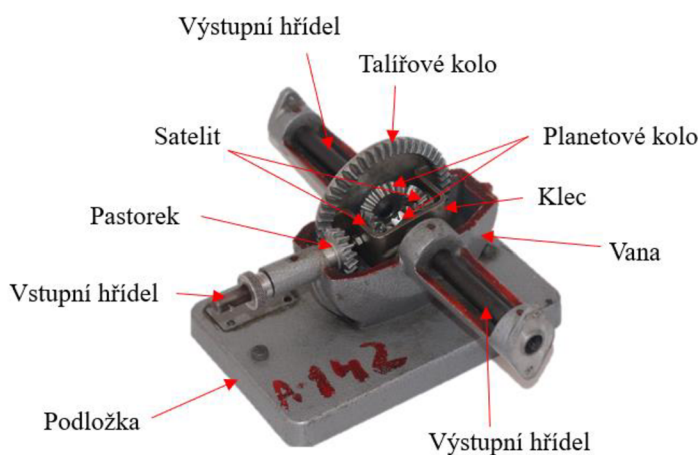
Obr.20 Metoda FDM [18].

Této metody bylo dále využito v experimentální části. Materiál, který byl použit je PLA a PET-G.

## 5 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

### 5.1 Základní popis reálné předlohy

Jako reálná předloha byl vybrán čelní diferenciál. Jelikož nebylo možné zajistit reálný model čelního diferenciálu, tak byl zvolen tento model, který neslouží jako funkční diferenciál z vozidla, ale slouží jako učební pomůcka k názorné ukázce funkce čelního diferenciálu. Skládá se ze vstupní hřídele, pastorku, talířového kola, klece, dvou satelitů, dvou planetových kol, dvou výstupních hřídelů, vany, kotvící pásoviny (ze spodu podložky) a spojovacího materiálu (Obr. 21).



Obr. 21 Čelní diferenciál – reálná předloha.

### 5.2 3D tisk dle reálné předlohy

Pro tisk diferenciálu dle reálné předlohy byla vzhledem k potřebné pevnosti na ozubených převodech a také kvůli nízkým nákladům vybrána technologie FDM. Stroj pro tuto metodu byl vybrán Creality Ender 5 plus, který je popsán v kapitole 5.2.1. Pro tento model byly zvoleny dva druhy filamentu z důvodu porovnání funkčnosti a vzhledu. Materiál PET-G je použit na planetových kolech a kotvící desce. Ostatní součástky jsou z materiálu PLA. Kvůli lepší rozeznatelnosti jednotlivých přechodů mezi součástkami byly součástky, které na sebe navazují vytisknuty jinou barvou (Obr. 22). Procesu 3D tisku musí předcházet vytvoření 3D modelu. Následně probíhá úprava a generování dat.



Obr. 22 Použité filamenty.

### 5.2.1 Tvorba 3D modelu

Základní rozměry součástí reálné předlohy byly změřeny pomocí digitálního posuvného měřítka s přesností na setinu mm. Součet úhlu roztečných kuželů soukolí modelu je dohromady 90°. Jednotlivé úhly roztečných kuželů byly dopočítány dle rovnice (1.1) [23]. Po změření přibližné hodnoty vnější roztečné kružnice byl pomocí rovnice (1.2) zjištěn přibližný modul. Ten slouží pro určení modulu normalizovaného. Z normalizovaného modulu jsou následně dopočítány rozměry ozubení dle rovnic (1.3, 1.4 a 1.5) [23], které jsou uvedeny v Tab. 1. Ozubená kola, která spolu zabírají, mají stejný modul. Úhel záběru byl zvolen na hodnotu 20°. Zbylé parametry byly určeny pro zachování stejné funkce. Spojovací materiál nebyl modelován a bude dokoupen jako kovový normalizovaný díl, který je znázorněn v tabulce Tab. 2. Vytvoření modelu bylo provedeno v programu Solid Works 2016 (Obr. 24). Tímto programem byly zároveň zkontrolovány veškeré kolize soukolí a jednotlivých součástí. Tištěný model nezahrnuje přechod výstupních hřídelí na jednotlivá kola.

$$\delta_1 = \arctg \frac{d_1}{d_2} \quad (1.1)$$

$$m_p = \frac{d_{ep}}{z} \quad (1.2)$$

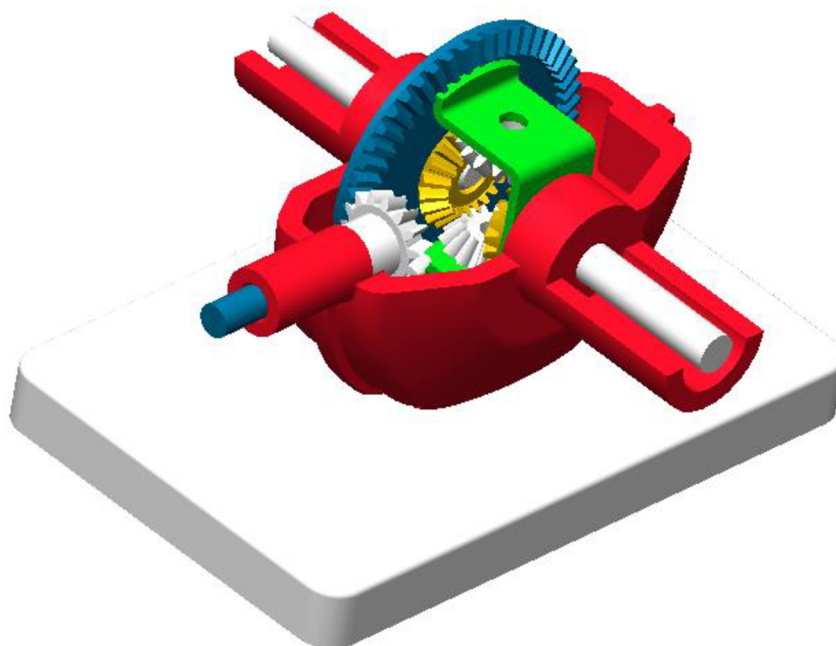
$$d_{en} = m_n \cdot z \quad (1.3)$$

$$h_a = m_n \quad (1.4)$$

$$d_{aen} = d_{en} + 2 \cdot h_a \quad (1.5)$$

Tab. 1 Základní údaje součástí s ozubením.

Součást:	Úhel roztečné kružnice $\delta_1$ [°]	Přibližný průměr vnější roztečné kružnice $d_{ep}$ [mm]	Počet zubů $z$ [-]	Modul přibližný $m_p$ [-]	Modul normalizovaný $m_n$ [-]	Průměr vnější roztečné kružnice $d_{en}$ [mm]	Výška hlavy zubu $h_a$ [mm]	Průměr vnější hlavové kružnice $d_{aen}$ [mm]
Satelit	36,9	27,1	15	1,8	1,75	26,25	1,75	29,75
Planetové kolo	53,1	34,1	20	1,7	1,75	35,00	1,75	38,50
Vstupní pastorek	16,7	27,3	15	1,8	1,75	26,25	1,75	29,75
Talířové kolo	73,3	94,4	50	1,9	1,75	87,50	1,75	91,00



Obr. 24 Model diferenciálu vygenerovaný programem Solid Works 2016.

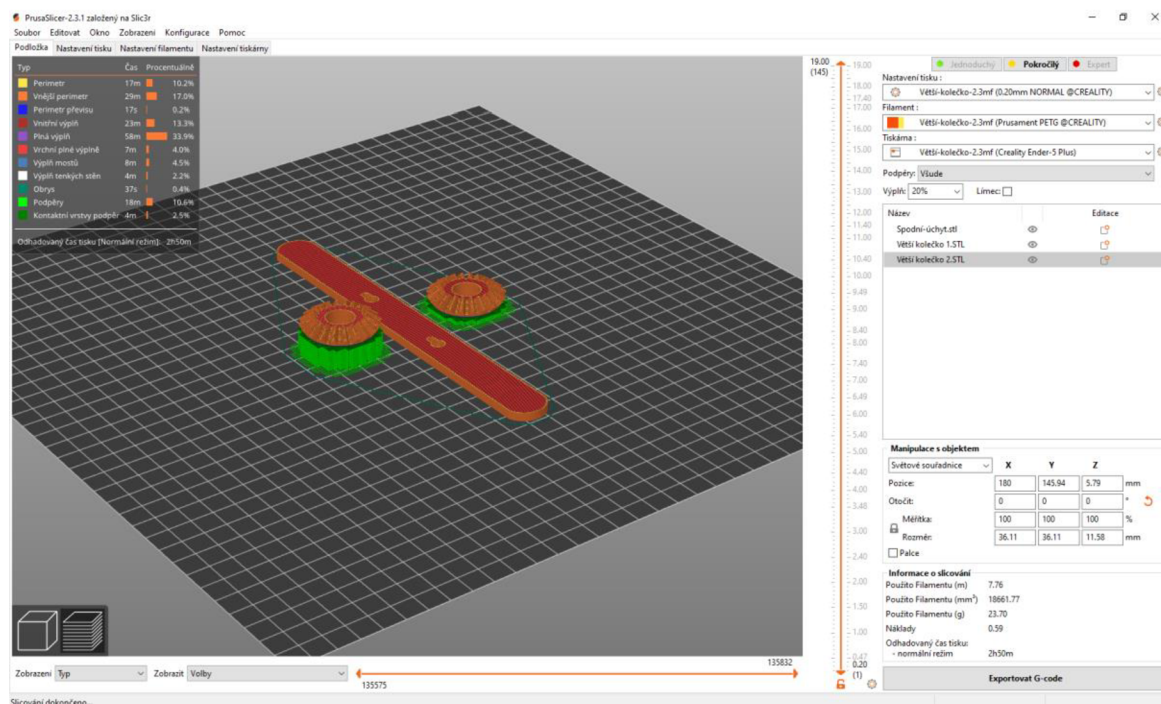
Tab.2 Použitý spojovací materiál.

Spojovací materiál:	Počet kusů [-]	Cena [Kč/ks]
Vrut se zápusťnou hlavou 3x16	8	0,09
Šroub s válcovou hlavou s drážkou M6x24	2	0,89
Podložka M6x1,6	2	1,07
Matice s podložkou M6	2	5,08

Celková cena spojovacího materiálu je 14,80 Kč.

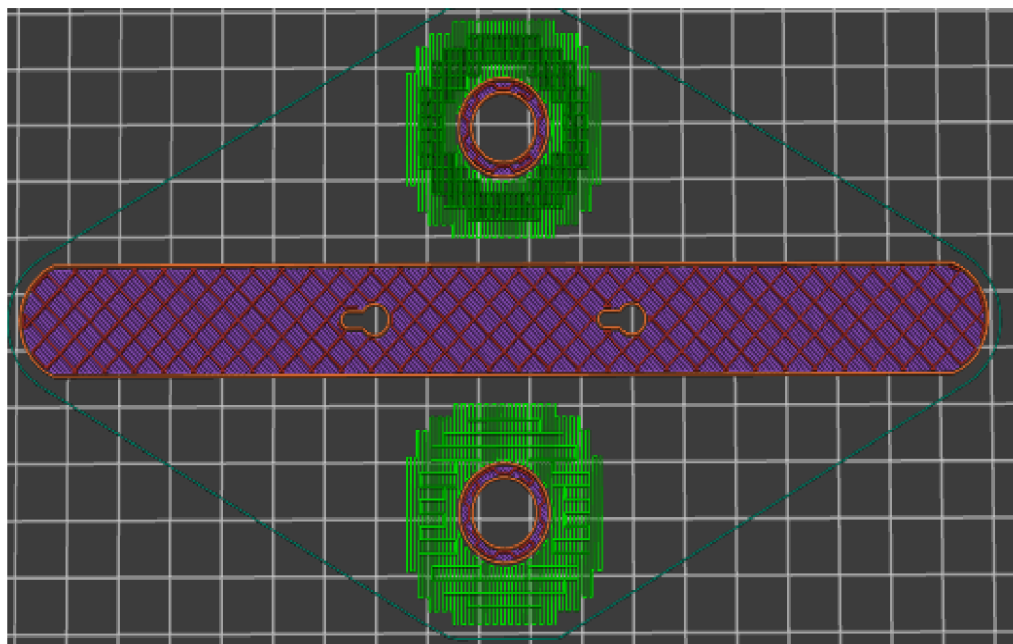
### 5.2.3 Úprava a generování dat

Po vytvoření modelu v programu Solid Works 2016 byly jednotlivé součástky převedeny do formátu STL. Tento formát je možno otevřít v programu na vytváření g-kódu, který potřebuje 3D tiskárna na vytvoření modelu. V tomto případě byl využit program PrusaSlicer 2.3.1 (Obr. 25).



Obr. 25 program PrusaSlicer 2.3.1.

Model ve formátu STL se vloží na pracovní plochu programu. V záložce „Podložka“ byl v pravém horním rohu nastaven režim pokročilý, ve kterém bylo dále určeno nastavení tisku na 0,2 mm NORMAL, které je předdefinováno. Nastavení filamentu na PET-G, kterým bude tisknut model. V tomto případě byly vybrány 3 modely stejné barvy. Následovně byla zvolena tiskárna Creality Ender 5 Plus. Dále byly nastaveny podpěry na „všude“ a výplň 20 %. Červeně je zvýrazněna výplň materiálu a zeleně jsou zvýrazněny podpěry (Obr. 26).

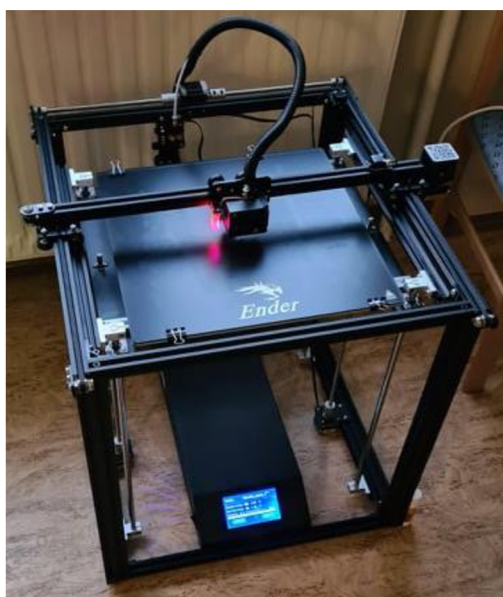


Obr. 26 20% výplň modelu.

V nastavení tisku jde určit jednotlivé vlastnosti jako výplň, obrys a límec, podpěry, rychlost, více extruderu a pokročilé nastavení, které se vzhledem k předdefinovanému profilu nemusely měnit. Vygenerování jednotlivých g-kódů viz přílohy 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7.

### 5.2.1 3D tiskárna

Pro výrobu jednotlivých součástek byla zvolena tiskárna Creality Ender 5 Plus (Obr. 27). Tato tiskárna využívá technologie FDM, která je popsána v teoretické části v kapitole 4.5.1. Parametry tiskárny jsou uvedeny v Tab.3.



Obr. 27 FDM tiskárna Creality Ender 5 Plus.



Tab. 3 Parametry tiskárny Creality Ender 5 Plus.

Technologie 3D tisku:	FDM
Tiskový materiál:	PLA, ABS, PET-G, Nylon a další.
Pracovní prostor:	Šířka: 350x350 mm Hloubka: 350 mm
Průměr filamentu:	1,75 mm
Min. tloušťka vrstvy:	0,1 mm
Max. tloušťka vrstvy:	0,4 mm
Max. Doporučená rychlost tisku:	180 mm/s

### 5.2.4 Shrnutí dat tisku

Barevně odlišné součásti mají nejen rozdílné materiály, ale i hmotnost filamentu, procenta výplně a doby tisku. Shrnutí těchto hodnot je uvedeno v Tab. 4.

Tab. 4 Porovnání hodnot tisku u součástí.

Součást	Materiál	Výplň [%]	Teplota tisku [°C]	Doba tisku [hod]	Použito filamentu [g]	Celkové náklady [Kč]
Planetová kola Kotvící pásovina	PET-G	20	245	2,8	23,70	23
Výstupní hřídele Satelity Vstupní pastorek	PLA	20	210	4,8	23,19	21
Vana	PLA	20	210	8,8	97,75	82
Podložka	PLA	20	210	8,3	116,11	95
Klec	PLA	50	210	1,5	10,14	9
Talířové kolo	PLA	20	210	3,0	22,31	19
Vstupní hřídel	PLA	20	210	0,9	3,23	3

1 kg materiálu PET-G má cenu 699 Kč. 1 kg materiálu PLA má cenu 599 Kč. Hodinová sazba byla vzhledem k dlouhodobé spolupráci s majitelem tiskárny vyčíslena na 30 % ceny použitého filamentu. Průměrná hodnota spotřeby energie je 100 W při ceně 6 Kč/kWh. Celková cena všech vymodelovaných dílů je 252 Kč. Pokud se připočte i cena spojovacího materiálu, hodnota stoupne na 266,80 Kč.

### 5.2.5 Dokončovací operace součástek

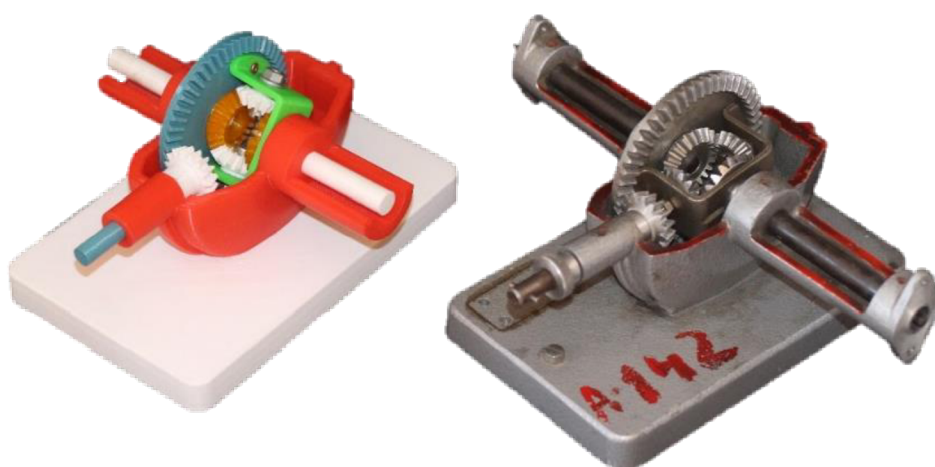
Vzhledem k tomu, že vrstva byla u většiny součástek zvolena 0,2 mm, tak je hrubost povrchu na některých částech modelu větší, než je žádoucí. Hlavně v místě podpěr se materiál musí zbrousit hrubým a následně jemným smirkovým papírem. V tomto případě byla využita ruční bruska PARKSIDE PFBS 12 B3 se smirkovým papírem P120 a P400 (Obr. 28).



Obr. 28 Broušení hrubého povrchu v místě podpěr.

### 5.2.6 Porovnání modelu s reálným diferenciálem

Model z programu Solid Works 2016 byl na 3D tiskárně vytištěn ve stejném měřítku jako reálná předloha (Obr. 29). Průměr talířového kola byl zmenšen z důvodu zachování stejného modulu soukolí a počtu zubů. Tato změna zachovala funkčnost tištěného modelu. Vzhledem k velkým vůlím na reálném modelu byly na tištěném modelu upraveny délky nábojů planetových kol tak, aby byla vůle minimální. Dalším rozdílem je vynechání výstupů na kola u vytištěného modelu. Hmotnost tohoto modelu je několiknásobně nižší, což může být v některých případech výhodou. Spojovacím materiálem u vytisknutého modelu jsou vruty a lepidlo na rozdíl od reálného modelu, kde jsou použity různé šrouby a matice. Plastový model je plně funkční, a proto je použitelný místo kovového.



Obr. 29 Vytištěný model a reálná předloha diferenciálu.

## ZÁVĚR

Tato práce byla zaměřena na charakteristiku diferenciálu motorového vozidla. V první části je uveden teoretický rozbor funkčnosti diferenciálu a jeho účel. Následuje porovnání různých typů, které se liší konstrukčním provedením a použitím. Diferenciály se skládají z několika hlavních částí, z nichž jsou velmi podstatná ozubená kola. Ta se mohou vyrábět za pomoci technologie frézování, obrážení, protahování, 3D tisku z kovu a 3D tisku z plastu.

Druhá část je experimentální, kde byl jako reálný model zvolen kuželový diferenciál s kuželovým stálým převodem. Tento model je kovový a využívá se pro studijní účely. Na základě tohoto diferenciálu byl vytvořen model v programu Solid Works 2016. Pomocí tohoto programu byla vygenerována data, která slouží jako podklad pro následující zvolenou technologii 3D tisku z plastu. Jako nejvýhodnější byla zvolena metoda FDM z důvodu kvality tisku a dostupnosti tiskárny. Touto metodou byl vytisknut plastový model diferenciálu. Výtisk je ve stejném měřítku jako kovová předloha, ačkoliv je rozměr talířového kola upraven na standardizovaný rozměr. Planetová kola byla pozměněna tak, aby byla zaručena nižší vůle. Tyto změny neměly žádný vliv na funkčnost vytištěného diferenciálu, který byl následně obroušen smirkovým papírem. Výhodou plastového diferenciálu je nízká hmotnost a pořizovací cena (266,80 Kč). Tato kritéria mohou vést k modernizaci starých kovových modelů nebo vytváření zcela nových návrhů pomocí 3D tisku.

FSI VUT	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	List 37
---------	------------------	---------

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] JAN, Zdeněk, Bronislav ŽDÁNKSY a Jiří ČUPERA. *Automobily: Převodná ústrojí motorových vozidel*. 2. Brno: Avid spol., 2007. ISBN 978-80-87143-04-9.
- [2] *Princip práce diferenciálu* [online]. [cit. 2020-12-21]. Dostupné z: <http://vladimir.josek.sweb.cz/praxe/04-05/otazky04-05/diferencialy-6.htm>
- [3] *2.R a 3.R AUTOMOBILY - opakování rozvodovka a diferenciál* [online]. [cit. 2020-12-27]. Dostupné z: <https://www.stredniskolaoselce.cz/data/download/file/okal/2.R%20a%203.R%20AUTO%20MOBILY%20-%20opakov%C3%A1n%C3%AD%20rozvodovka%20a%20diferenci%C3%A1l.pdf>
- [4] *Rozvodovky 4x4* [online]. [cit. 2020-12-28]. Dostupné z: [https://www.skola-auto.cz/wp-content/uploads/2021/02/Rozvodovky\\_5\\_2.pdf](https://www.skola-auto.cz/wp-content/uploads/2021/02/Rozvodovky_5_2.pdf)
- [5] *Diferenciál, jak vlastně funguje?* [online]. [cit. 2021-01-08]. Dostupné z: [https://www.autorevue.cz/diferencial-jak-vlastne-funguje\\_4](https://www.autorevue.cz/diferencial-jak-vlastne-funguje_4)
- [6] KOREIS, Josef. *Přenosové systémy dopravních prostředků. Monografie, TS Univerzity Pardubice 1999*. ISBN 80 7194-204-9.
- [7] TŮMOVÁ, Gabriela. *Vozidla s pohonem všech kol*. Praha: BEN - technická literatura, 2009. ISBN 9788073002367.
- [8] VLK, František. *Převodná ústrojí motorových vozidel: spojky : převodovky : rozvodovky : diferenciály : hnací hřídele : klouby*. Brno: VLK, 2000. ISBN 80-238-5275-2.
- [9] *Převodná ústrojí všeobecně* [online]. [cit. 2021-02-04]. Dostupné z: <http://www.schroter.cz/ouv2/ouv-c-ot21sint21.htm>
- [10] ZEMČÍK, Oskar. *Nástroje a přípravky pro obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003. ISBN 80-214-2336-6.
- [11] ŘASA, Jaroslav. *Strojírenská technologie 3: 1. díl. Metody, stroje a nástroje pro obrábění*. Praha: Scientia, 2005. ISBN 80-7183-337-1.
- [12] FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
- [13] NĚMEC, Dobroslav. *Strojírenská technologie 3, SNTL, PRAHA, 1979, 04-213-79*.
- [14] PÍŠKA, Miroslav et al. *Speciální technologie obrábění*. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2009. 252 s. ISBN 978-80-214-4025-8.
- [15] PTÁČEK, Luděk et al. *Nauka o materiálu I*. 2. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2003. 516 s. ISBN 80-720-4283-1.
- [16] *3D tisk kovových materiálů* [online]. [cit. 2021-02-24]. Dostupné z: [https://www.technickytydenik.cz/rubriky/poutaky/3d-tisk-kovovych-materialu\\_50018.html](https://www.technickytydenik.cz/rubriky/poutaky/3d-tisk-kovovych-materialu_50018.html)
- [17] *JAK SE TISKNE BUDOUCNOST* [online]. [cit. 2021-03-02]. Dostupné z: <https://www.visionsmag.cz/jak-se-tiskne-budoucnost>

FSI VUT	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	List 38
---------	------------------	---------

[18] Přehled technologií 3D tisku [online]. [cit. 2021-03-18]. Dostupné z: <http://www.dkmp.cz/o-nas/detail/prehled-technologie-3d-tisku>

[19] *Postprocessing 3D výtisků krok za krokem* [online]. [cit. 2021-04-05]. Dostupné z: [https://blog.prusaprinters.org/cs/postprocessing-3d-vytisku-krok-za-krokem\\_29270/](https://blog.prusaprinters.org/cs/postprocessing-3d-vytisku-krok-za-krokem_29270/)

[20] *SLA/DLP tisk* [online]. [cit. 2021-04-12]. Dostupné z: <https://powerprint3d.cz/sla-dlp-tisk/>

[21] *Technologie 3D tisku* [online]. [cit. 2021-05-04]. Dostupné z: <https://www.na3d.cz/blog/technologie-3d-tisku>

[22] *Nekonvenční metody* [online]. [cit. 2021-05-04]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/dtb/zadani/11\\_nekonvencni\\_metody.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/dtb/zadani/11_nekonvencni_metody.pdf)

[23] LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky*. 3. vyd. Úvaly: ALBRA, 2006. 914 s. ISBN 80-7361-033-7.

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

<b>ABS</b>	akrylonitrilbutadienstyren
<b>ASD</b>	Automatic Slip Control Differential
<b>AWD</b>	All Wheel Drive
<b>DED</b>	Directed energy deposition
<b>FDM</b>	Fused Deposition Modeling
<b>KO</b>	Konstrukční Ocel
<b>PBF</b>	Powder bed fusion
<b>PC</b>	polykarbonat
<b>PET-G</b>	Polyethylentereftalát glykol
<b>PLA</b>	polyactic acid
<b>RO</b>	Rychlořezná Ocel
<b>SK</b>	Slinutý Karbid
<b>SLA</b>	Stereolitografie
<b>SLS</b>	Selective Laser Sintering
<b>STL</b>	stereolitografie
<b>UV</b>	Ultraviolet
<b>WAAM</b>	Wire arc additive manufacturing
<b>4WD</b>	Four Wheel Drive

<b>Symbol</b>	<b>Jednotka</b>	<b>Popis</b>
$d_{aen}$	[mm]	Průměr vnější hlavové kružnice
$d_{en}$	[mm]	Průměr vnější roztečné kružnice
$d_{ep}$	[mm]	Přibližný průměr vnější roztečné kružnice
$h_a$	[mm]	Výška hlavy zubu
$m_n$	[-]	Modul normalizovaný
$m_p$	[-]	Modul přibližný
$z$	[-]	Počet zubů
$\delta_1$	[°]	Úhel roztečné kružnice

FSI VUT	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	List	40
---------	------------------	------	----

## SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Klec\_0.2mm\_PLAENDER5PLUS\_1h28m
- Příloha 2 Kotvici pasovina\_planetova kola\_0.2mm\_PETG\_ENDER5PLUS\_2h50m
- Příloha 3 Podložka\_0.24mm\_PLA\_ENDER5PLUS\_8h18m
- Příloha 4 Talirove kolo\_0.16mm\_PLA\_ENDER5PLUS\_2h59m
- Příloha 5 Vana\_0.24mm\_PLA\_ENDER5PLUS\_8h47m
- Příloha 6 Vstupni hridel\_0.16mm\_PLA\_ENDER5PLUS\_55m
- Příloha 7 Vstupni pastorek\_satelity\_vystupni hridele\_0.16mm\_PLA\_ENDER5PLUS\_4h49m