

ABSTRAKT

Cílem bakalářské práce je tvorba virtuálního modelu převodové skříně osobního automobilu. Pro vytvoření jednotlivých dílů do finální sestavy byla použita převodová skříň z osobního automobilu Škoda Felicia. Konstrukce modelu sestavy a jeho úprava byla realizována v programu Autodesk Inventor, který je Softwarovou CAx aplikací. Finální výroba byla provedena technologií Rapid Prototyping, metodou Fused Deposition Modeling na zařízení uPrint z ABS*plus* materiálu pro účel vizualizace. Konečnou verifikací bylo sestavení jednotlivých dílů převodové skříně včetně zajištění její funkčnosti.

Klíčová slova:

Inventor, CAx aplikace, Rapid Prototyping, Fused Deposition Modeling, převodová skříň, uPrint.

ABSTRACT

The aim of this work is creating a virtual model of the car gearbox. The gearbox from the car Skoda Felicia was used to create the individual parts into a final assembly. Construction of the assembly model and the layout have been implemented in Autodesk Inventor, which is a software CAx application. Final production was performed by Rapid Prototyping Technology, using the Fused Deposition Modeling equipment uPrint from ABS*plus* material for the purpose of visualization. The final verification was assembling single parts of the gearbox, including ensuring its functionality.

Keywords:

Inventor, CAD, Rapid Prototyping, Fused Deposition Modeling, Gearbox, uPrint.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE:

ŠTĚRBA, O. *Výroba převodové skříně osobního automobilu metodou Fused Deposition Modeling*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. Vedoucí bakalářské práce Ing. Josef Sedlák, Ph.D.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Výroba převodové skříně osobního automobilu metodou Fused Deposition Modeling vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum: 27. 5. 2011

.....
Ondřej Štěrbá

Poděkování

Děkuji tímto Ing. Josefu Sedlákoví, Ph.D., Ing. Martinu Slanému a prof. Ing. Miroslavu Píškovi, CSc. za cenné rady a připomínky při vypracování bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat rodině za podporu a pomoc během studia.

Obsah

ÚVOD.....	8
1 POPIS, ROZDĚLENÍ, DRUHY PŘEVODOVÝCH SKŘÍNÍ.....	10
1.1 Funkce převodové skříně	10
1.2 Druhy a rozdělení ozubených kol.....	11
1.2.1 Podle polohy os hřídelí	11
1.2.2 Podle průběhů zubů	14
1.2.3 Převodový poměr.....	14
1.3 Rozdělené převodových skříní	16
2 POUŽITÍ PŘEVODOVÝCH SKŘÍNÍ V AUTOMOBILOVÉM PRŮMYSLU ...	17
2.1 Dvuhřídelová převodová skřín	17
2.2 Tříhřídelová převodová skřín	18
2.2.1 Sekvenční řazení.....	19
2.3 Planetová převodová skřín	20
2.4 Řemenová a řetězová převodová skřín (variátor).....	21
2.5 Hydrodynamický měnič	24
3 KONSTRUKCE JEDNOTLIVÝCH DÍLŮ V PROGRAMU AUTODESK INVENTOR	26
3.1 Základní popis programu Autodesk Inventor.....	26
3.2 Konstrukce jednotlivých dílů	26
4 POPIS DOSTUPNÝCH TECHNOLOGIÍ RAPID PROTOTYPING.....	32
4.1 Na bázi fotopolymerů	32
4.1.1 Stereolitografie – SLA	32
4.1.2 Solid Ground Cutting – SGC	33
4.2 Na bázi práškových materiálů	34
4.2.1 Selective Laser Sintering – SLS	34
4.2.2 Direct Metal laser Sintering DMLS.....	35
4.3 Na bázi tuhých materiálů	37
4.3.1 Laminated Object Manufacturing – LOM	37
4.3.2 Fused Deposition Modeling - FDM.....	38
4.3.3 Multi Jet Modeling – MJM	39
5 VÝROBA JEDNOTLIVÝCH DÍLŮ METODOU FUSED DEPOSITION MODELING	41
6 ZÁVĚR	44
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ (LITERATURY)	45
SEZNAM PŘÍLOH:	49

ÚVOD

V moderní době se klade důraz hlavně na design a funkci výrobků. Každý výrobce, pro dosažení co nejvyšší prodejní úspěšnosti svého produktu, investuje nemalé finanční prostředky na designové týmy a zkoumání nových technologií. Ačkoliv se může laikovi zdát, že vynaložené finanční prostředky jsou neefektivně proinvestovány, opak je pravdou. Jakékoliv zdokonalení technologie výroby posouvá výrobní podnik v pomyslném žebříčku na trhu práce vzhůru.

Modely se v minulosti vyráběly převážně třískovými, slévárenskými a tvářecími metodami. Do 80. let bylo jen málo možností zpracování platových materiálů. Mezi ně patří hlavně vstřikování plastů do forem. Rapid Prototyping (RP) se svou první progresivní výrobní metodou Stereografie položil základní kámen jednoduché a rychlé výroby prototypů pomocí 3D tisku. Dává okamžitou představu o vzhledu budoucího prototypu, funkčnosti součásti a možnosti kontroly smontovatelnosti sestavy. Výhodou této technologie je snadná úprava velikosti reálného výrobku dle požadovaného měřítko. Výrazně snižuje časovou náročnost a náklady s tím spojené, čímž je dána výhoda rychlejšího uvedení na trh. Nevyžaduje užití drahých výrobních technologií, zbytečně prodražující výrobu. Nabízí jednoduchý způsob výroby dílců se složitými tvary, žebry, zkosením a osazením.

Aditivní metody RP jsou z pohledu spotřeby materiálu nejúspornější, postupně nanáší vrstvy polymeru, které vytvoří hotový výrobek. Největší nevýhodou metody je neustálé používání podpurného materiálu, zamezující deformace a borcení vyčnívajících částí. Podpurný materiál je po vyjmutí z 3D tiskárny odstraněn mechanicky nebo chemicky. Naopak subtraktivní metoda materiál odebírá, jedná se tedy o třískové obrábění.

Nejnovější metody 3D tisku nabízejí možnost výroby modelů z reálného kovového materiálu, což může značně urychlit případné testování mechanických vlastností. Značnou nevýhodou je pořizovací cena zařízení a náklady na vstupní materiály.^{1,2}

Sled operací od počáteční myšlenky až po reálný model je možné rozdělit do tří fází:

- 1) Preprocessing** – především modelování v různých CAx aplikacích (Autodesk Inventor, ProEngineer, Catia, SolidWorks) a následný převod vstupních dat do formátu *.stl.
- 2) Procesing** – vlastní výroba modelu po jednotlivých vrstvách
- 3) Postprocessing** – vyjmutí součásti z 3D zařízení, odstranění podpory, vytvrzení pomocí UV záření, chemické napuštění pro zlepšení mechanických vlastností a drsnosti povrchu, barvení, lakování, případně pokovování.

Data ve formátu *.stl:

Z principu aditivní technologie dochází k tvorbě modelu postupně po jednotlivých vrstvách, ty si lze snadno představit jako vrstevnice na mapě, které rozříznou krajinu do stejně vysokých horizontálních řezů. Model ve formátu *.stl je popsán (pravidelnou, nepravidelnou) polygonovou sítí. Každý trojúhelník má

definovanou polohu vrcholů a úhel normálového vektoru. Tyto údaje jsou postačující pro popis polohy a natočení jednotlivých trojúhelníků v prostoru. V počátečních letech rozvoje RP byl z důvodu málo výkonného hardwaru a softwaru obtížnější převod dat. V moderní době výkonné výpočetní techniky je možné nastavit vysokou hustotu polygonové sítě, čímž je značně zkvalitní hotová součást.^{1,2}

Budoucí vývoj technologie Rapid Prototyping:

Každý dnes známý výrobek, technologie nebo nápad prochází neustálým vylepšováním a zdokonalováním. Systém poptávky a nabídky vyžaduje nové nápady a inovace. Vývojoví a marketingoví pracovníci firem nabízející 3D zařízení budou muset pro rozvoj tohoto odvětví snížit cenu zařízení, vylepšit mechanické vlastnosti vstupních materiálů, zamezit tvorbě chyb a zmetků, zlepšit rozměrové přesnosti a drsnost povrchu.

Reverzní inženýrství:

Z anglického spojení *Reverse Engineering* vznikl nový obor ve strojírenství, využívající obrácený postup při projektování výrobků. S nástupem CAD/CAM technologií se značně zvětšila přesnost a složitost vyráběných součástí. Tím vznikl problém s přesností kontroly rozměrů, některé složité tvary nejsou běžnými zařízeními měřitelné. V těchto případech lze s využitím technologie Reverzního Inženýrství (RI) nahradit běžné metody kontroly rozměrů strojních dílů. Další možnost využití je při tvorbě nové výkresové dokumentace, nebo při ztrátě stávající.

Převod součásti do digitální podoby se nazývá digitalizace. Pomocí různých měřicích metod jsou získány rozměry a tvarové parametry výrobku. Nejjednodušší a nejrychlejší je měření běžnými přístroji (posuvné měřidlo, mikrometr, úhloměr, hloubkoměr). Ne vždy, jsou základní metody použitelné, jen těžko si lze představit přeměření složitého tvaru, např. část karoserie osobního automobilu a následné modelování v příslušném programu. Takto složité tvary lze nasnímat pomocí skenerů, které jsou v praxi (v různých odvětvích průmyslu) velmi rozšířené.^{3,4}

V Tab. 1 jsou uvedeny základní druhy skenerů, běžně používaných ve strojírenství

Tab. 1 Základní druhy skenerů.⁵

OPTICKÉ SKENERY
MECHANICKÉ SKENERY
LASEROVÉ SKENERY
INTEROFEROMETRICKÉ PROFILOMETRY
OSTATNÍ (DESTRUKTIVNÍ, RENTGEN, CT, MR)

1 POPIS, ROZDĚLENÍ, DRUHY PŘEVODOVÝCH SKŘÍNÍ

„Převodová ústrojí automobilu jsou všechna ústrojí, která jako celek i jednotlivě spojují motor s hnacími koly vozidla za účelem přenosu točivého momentu (i) nebo jeho přerušování i za účelem změny jeho velikosti nebo smyslu.“⁶

1.1 Funkce převodové skříně

Převodová skříň umožňuje pohyb vozidla za všech podmínek, které mohou vzniknout jeho provozem. Nejvyšší nároky moderní doby jsou kladeny na ekonomičnost provozu, dlouhou životnost a v neposlední řadě pohodlí posádky při řízení vozidla. Splnění těchto požadavků není jednoduché, proto se výrobci automobilů neustále předhánějí ve vývoji nových a lepších výrobků, co bylo dříve luxusem je dnes nezbytným standardem.

Spalovací motory vytváří při chodu výkon a točivý moment, značně nedostatečnou účinnost, asi 35% na setrvačnicku, přenáší převodové ústrojí pomocí hřídelů a ozubených kol na nápravy vozidla. Pro dosažení ekonomického provozu je nutné držet otáčky v optimálním rozmezí dané konstrukcí motoru a druhem paliva.

„Převodová skříň je měnič velikosti točivého momentu, který podle zařazeného převodu (rychlostního stupně) mění točivý moment motoru.“⁶

Nejdůležitější pohyblivé součásti převodové skříně jsou ozubená kola, hnací hřídele, hnané hřídele, ložiska a řadící vidlice. Funkčním prvkem převodové skříně je ozubení, zuby hnacího kola zapadají do mezer na hnaném kole. Točivý moment a výkon je přenášen bez prokluzu, který může nastat u převodů třecích a plochým řemenem.^{6,7}

1.2 Druhy a rozdělení ozubených kol

1.2.1 Podle polohy os hřídelí

Rovnoběžné osy s vnějším ozubením Obr. 1.1

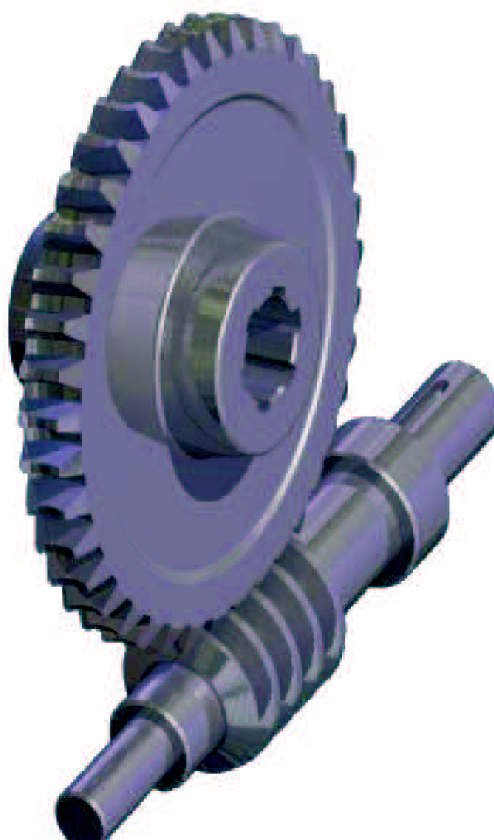


Obr. 1.1 Ozubené soukolí s vnějším ozubením.⁸

Rovnoběžné osy s vnitřním ozubením Obr. 1.2



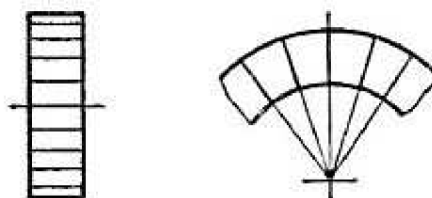
Obr. 1.2 Ozubené soukolí s vnitřním ozubením.⁸

Různoběžné osy - kuželová soukolí Obr. 1.3Obr. 1.3 Kuželové soukolí.⁸**Mimoběžné osy na šnekovém soukolí Obr. 1.4**Obr. 1.4 Šnekové soukolí.⁸

Mimoběžné osy na hypoidním soukolí Obr. 1.5Obr. 1.5 Hypoidní soukolí.⁸**Mimoběžné osy na válcovém šroubovém soukolí Obr. 1.6**Obr. 1.6 Válcové šroubové soukolí.⁹

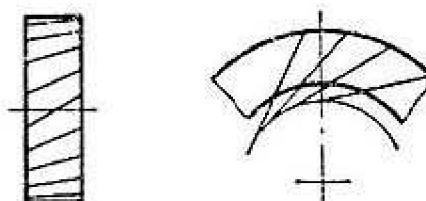
1.2.2 Podle průběhů zubů

Čelní a kuželová kola s přímými zuby, Obr. 1.7, jsou nejčastěji používaná ozubená kola, která jsou jednoduchá na výrobu. Stykovou plochu tvoří přímka. Značnou nevýhodou těchto ozubených kol je jejich hlučnost.⁸



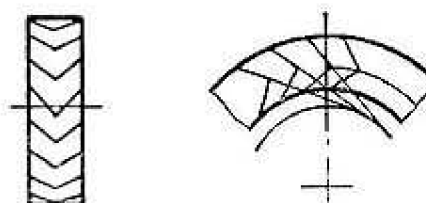
Obr. 1.7 Ozubená kola s přímými zuby.¹⁰

Čelní a kuželová kola s šikmými zuby, Obr. 1.8, mají oproti ozubeným kolům s přímými zuby tišší chod, přenášejí vyšší točivý moment a snášejí vyšší úhlovou rychlost. Značnou nevýhodou je vznik osových sil, ty musí být kompenzovány použitím větších ložisek, nebo instalací ozubeného soukolí s opačným směrem sklonu zubů.⁸



Obr. 1.8 Ozubená kola s šikmými zuby.¹⁰

Čelní a kuželová kola se šípovitými zuby, Obr. 1.9, kompenzují problém vzniku osových sil u ozubených kol s šikmými zuby, ale jejich výroba je drahá.⁸



Obr. 1.9 Ozubená kola s šípovitými zuby.¹⁰

1.2.3 Převodový poměr

Ukazatel velikosti změny točivého momentu je převodový poměr. Jedná se o podíl mezi počtem zubů na hnaném a hnacím ozubeném kole. Rovněž je možné použít poměr mezi vstupními a výstupními otáčkami, nebo poměr průměru ozubených kol.⁶

Výpočet převodového poměru ozubených kol

i – převodový poměr [-],

z_2 – počet zubů hnaného kola [-],

z_1 – počet zubů hnacího kola [-].

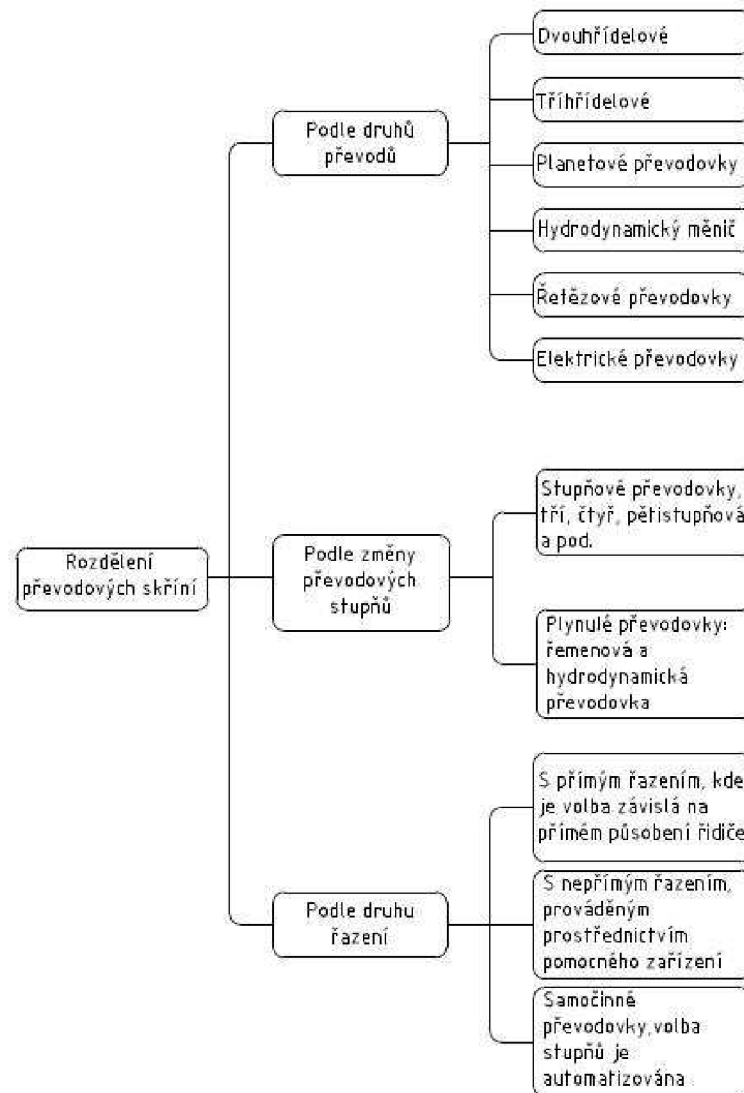
$$i = \frac{z_2}{z_1} \quad (1)$$

Převodový stupeň označuje jednotlivé poměry v převodové skříně. Pro nízké převodové stupně jsou použity převody „do pomala“, které zvětšují, až násobí točivý moment ($i > 1$), je-li ($i = 1$) nedochází ke změně točivého momentu. Vyšší převodové stupně „úsporné“ mají ($i < 1$), točivý moment se zmenšuje.

Aby mohlo vozidlo stát na místě s motorem v chodu a bez sepnuté spojky, jsou jednotlivé prvky v převodové skříně postaveny tak, aby nepřenášely točivý moment na kola.

Zpětný rychlostní stupeň zajišťuje vozidlu změnu směru jízdy. K tomu slouží třetí hřídel převodové skříně s posuvnými koly. Při zasunutí do pracovní polohy otočí smysl otáčení výstupního hřídele oproti vstupnímu.⁶

1.3 Rozdělené převodových skříní (Obr. 1.10)



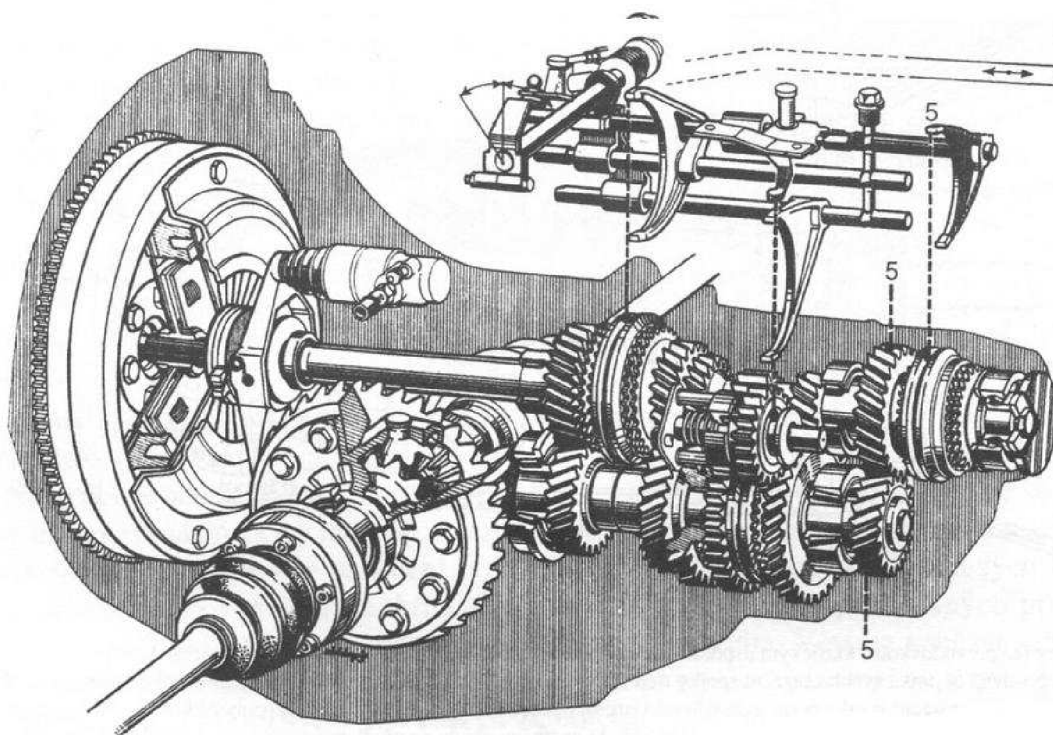
Obr. 1.10 Rozdělení převodových skříní.⁷

2 POUŽITÍ PŘEVODOVÝCH SKŘÍŇÍ V AUTOMOBILOVÉM PRŮMYSLU

V každém automobilu je zabudováno více převodových mechanismů, jejich počet a konstrukce závisí na druhu vozidla a jeho užívání. Mezi převodové mechanismy se mohou zařadit převodové skříně, diferenciály, redukční převodové skříně, koncové převody a spoustu dalších mechanismů ovlivňující ekonomické, uživatelské a výkonnostní faktory automobilu.⁷

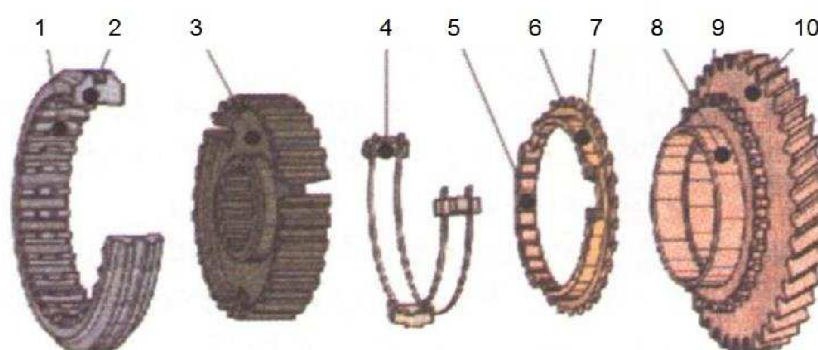
2.1 Dvouhřídelová převodová skříň

Dvouhřídelová převodová skříň, Obr. 2.1, je součástí pohonných jednotek u vozidel s motorem umístěným v přední části vozu a hnanou přední nápravou, další možností je umístění motoru v zadu na zadní hnaná kola. Hnací (vstupní) a hnaný (výstupní) hřídel neleží na jedné ose. Přenos výkonu a točivého momentu obstarává jeden pár ozubených kol umístěných na hřídelích. Ty jsou uloženy na valivých ložiscích různé konstrukce. K vyrovnání rozdílu obvodové rychlosti ozubených kol slouží synchronizační zařízení, Obr. 2.2. Synchronizační spojky mohou řadit najednou jeden nebo dva rychlostní stupně. Rychlosti jsou řazeny přesouváním objímky ze synchronizační spojky na drážky ozubeného kola. Všechna ozubená kola u synchronizovaných převodových skříní jsou neustále v záběru. Sepnutím příslušné synchronizační spojky přesouvou objímkou se zařadí příslušný rychlostní stupeň.



Obr. 2.1 Dvouhřídelová převodová skříň.⁷

Dvouhřídelové převodové skříně se vyznačují lehkým a bezhlučným provozem, který zajišťuje olejová lázeň. Celá soustava je trvale ponořena do olejové náplně, snižující opotřebení a tření. Zároveň odvádí teplo z třecích ploch a snižuje hlučnost. Někteří výrobci při konstrukci počítají s vyšším teplotním namáháním, proto jsou převodové skříně opatřeny chladicími žebry sloužící zároveň i jako výztuhy pro vyšší tuhost sestavy. Zpětný rychlostní stupeň je zařazen vloženým kolem pomocí vidlice mezi hnací a hnané kolo převodové skříně rychlostního stupně (dle konstrukce).^{6,7}

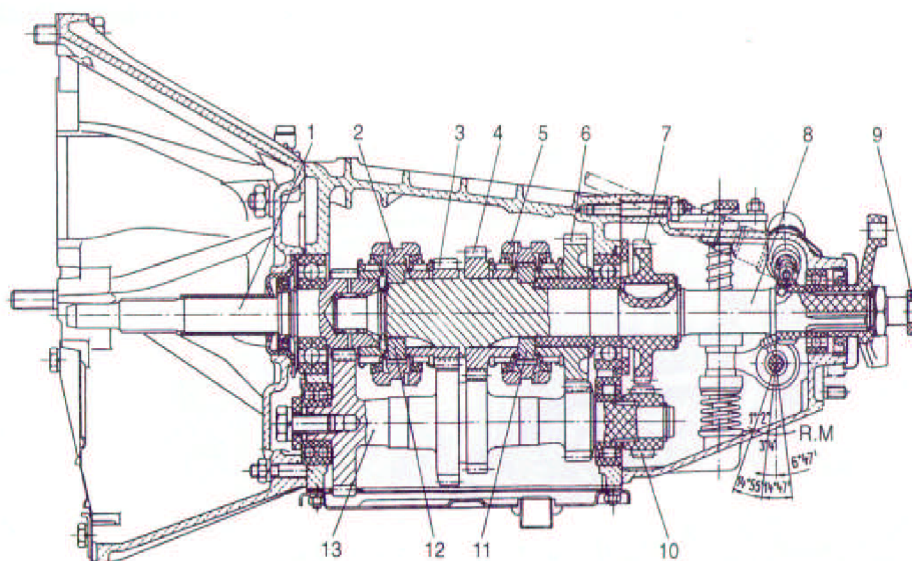


Obr. 2.2 Synchronizační spojka.⁶

- | | |
|---------------------------|--------------------|
| 1) Objímka spojky | 6) Třecí plocha |
| 2) Ozubení objímky | 7) Clonící ozubení |
| 3) Jádro spojky | 8) Ozubené kolo |
| 4) Unášecí kámen | 9) Unášecí ozubení |
| 5) Synchronizační kroužek | 10) Třecí plocha |

2.2 Tříhřídelová převodová skříň

Tříhřídelová převodová skříň, Obr. 2.3, se používá u automobilů s motorem v přední části vozu a hnanými zadními koly a naopak. Konstrukce je obdobná jako u dvouhřídelových převodových skříní, ale vstupní hřídel je složen ze dvou částí. Výkon a točivý moment je až na stálý převod ($i = 1$) přenášen dvěma páry ozubených kol přes předlohový hřídel, umístěný rovnoběžně se vstupním hřídelem. Hnací (vstupní) a hnaný (výstupní) hřídel leží na stejné ose. Při zařazeném přímém záběru je hnací a hnaný hřídel pevně spojen synchronizační spojkou.^{6,7}

Obr. 2.3 Tříhřídelová převodová skříň.⁷

- | | |
|---|---|
| 1) hnací hřídel | 8) hlavní (hnaný) hřídel |
| 2) posuvná objímka synchronizační spojky třetí a čtvrté rychlosti | 9) středící kroužek |
| 3) ozubené kolo třetí rychlosti | 10) ozubené kolo zpětného chodu na předlohovém hřídeli |
| 4) ozubené kolo druhé rychlosti | 11) náboj synchronizační rychlosti třetí a čtvrté rychlosti |
| 5) posuvná objímka synchronizační spojky první a druhé rychlosti | 12) vodící segment synchronizační spojky |
| 6) ozubené kolo první rychlosti | 13) předlohový hřídel s ozubenými koly |
| 7) ozubené kolo zpětného chodu na hnaném hřídeli | |

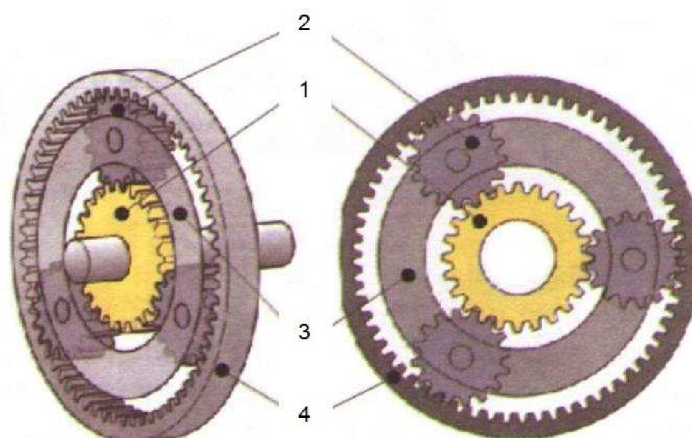
2.2.1 Sekvenční řazení

Vývoj sekvenčního řazení sahá do 80. let, kdy bylo zabudováno do závodních vozů šampionátu Formule 1. Jako základ je použita dvou, nebo tříhřídelová převodová skříň a samočinně ovládaná spojka. Řadící mechanismus se skládá ze servomechaniky řazení, řídicí jednotky a čidel (např. otáčky motoru, poloha ozubených kol v převodové skříni, atd.). Umožňuje řazení převodových stupňů bez omezení výkonu motoru. Řídicí jednotka vyhodnocuje data z jednotlivých čidel, ovládá spojkový a řadící mechanismus, chrání převodové ústrojí před mechanickým poškozením. „Při řazení na nižší rychlostní stupně elektronika chrání motor před přetočením i po řidičově chybě a usnadňuje řazení samočinným dávkováním meziplynu.“⁶ Spojkový pedál není ve vozidle zabudován, spojka je ovládána samočinně.⁶

2.3 Planetová převodová skříň

Planetový převod, Obr. 2.4, je soustava ozubených kol rotujících kolem hlavní osy. Nejdůležitější částí je unášec se satelity, které jsou v neustálém záběru s centrálním a vnitřním korunovým kolem. Jedná se o hojně používaný převod u samočinných převodových skříní osobních automobilů, autobusů a v neposlední řadě zemědělských strojů a stavební techniky. Samočinná převodová skříň se jako celek skládá s hydrodynamického měniče točivého momentu, dvoustupňového planetového převodu se zpětným chodem a samočinným ovládním.

Díky velkým výhodám prožívá tento převod nebývalý rozmach, své využití nachází v osobních a nákladních vozidlech, autobusech, stavební a zemědělské technice. Možnost řazení převodových stupňů bez přerušení výkonu je nejdůležitější vlastností těchto mechanismů. Menší zatížení boků zubů umožňuje přenášet vysoké točivé momenty a napomáhá dlouhé životnosti. Všechna ozubená kola jsou neustále v záběru, což zajišťuje tišší chod a rovnoměrné opotřebení komponentů. Menší rozměry oproti běžným stupňovým převodovým skříním umožňují lepší využití místa ve vozidle. Náklady na výrobu planetového převodu jsou značně vysoké v porovnání s jinými druhy mechanismů. Smontovatelnost vyžaduje dobré etnologické a strojní zázemí podniku.



1) centrální kolo
2) satelit

3) unášec satelitů
4) korunové kolo

Obr. 2.4 Planetový převod.⁶

Jeden planetový převod nabízí 3 rychlostní stupně vpřed a jeden s opačným smyslem otáček. Převody jsou řazené pohonem, nebo zamezením otáčení korunového a centrálního kola. Převodový poměr s nejvyšší hodnotou nastane, pokud korunové kolo bude hnané a centrální kolo brzděné. Z unášce satelitů je možné odebírat výkon a točivý moment ($i > 1$) ve směru otáček vstupního hřídele.

Následující převodový stupeň je docílen pohonem korunového kola a brzděním centrálního kola. Po centrálním kole se odvalují satelity, které přenášejí

točivý moment. Velikost převodového poměru je stále ($i > 1$), smysl otáček zůstává zachován, ale točivý moment násobí podstatně méně.

Převodového poměru ($i = 1$) lze dosáhnout spojením všech rotujících členů. Satelity pracují jako zubové spojky, protože se neodvalují. Vstupní otáčky jsou stejné jako výstupní, nedochází ke změně převodového poměru ani změně velikosti točivého momentu.

Pro změnu smyslu otáčení mezi vstupním a výstupním hřídelem planetového převodu je nutné zabrzdit unášec satelitů. Centrální kolo je hnací člen, přenáší otáčky přes satelity na vnější korunové kolo. Z něj lze odebrat točivý moment, ale s opačným smyslem otáčení.

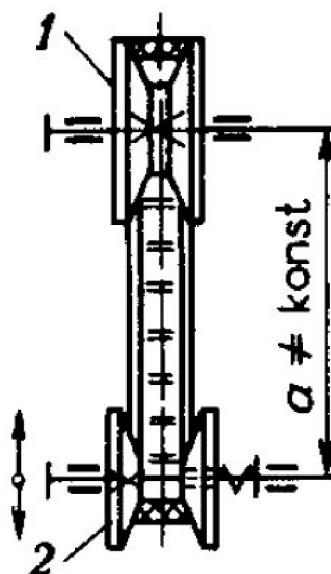
Samotný planetový převod je pro převodovou skříň nedostačující, množství převodů a jejich rozsah neodpovídá požadavkům uživatelů. V praxi se používá spojení více převodů různě řazených podle použití.^{6,7}

2.4 Řemenová a řetězová převodová skříň (variátor)

Konstrukce a princip řadicího mechanismu je stejný, liší se jen materiálem použitým pro výrobu řemene. Výkon a točivý moment je přenášen řemenem, který pohání hnanou kladku. Největší výhodou je plynulá změna převodového poměru, bez trhání a rázů, které se projevují u stupňových převodových skříní.

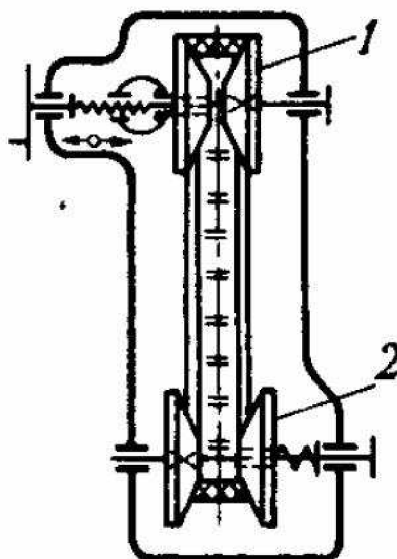
Rozdělení variátorů podle konstrukce:

Jednostupňový variátorový převod, Obr. 2.5, mění převodový poměr změnou vzdálenosti os kladek a změnou průměru stavitelné kladky (2). Pevná kladka (1) nemění svůj průměr ani polohu.

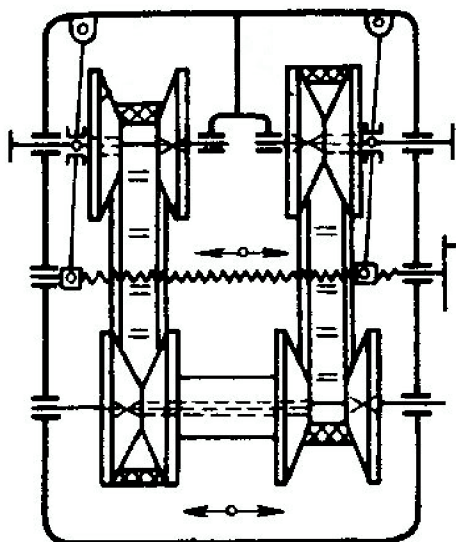


Obr. 2.5 Jednostupňový variátorový převod.¹¹

Dvoustupňový převod, Obr. 2.6, mění průměr vstupní (1) a výstupní řemenice (2), vzdálenost jejich os je konstantní.

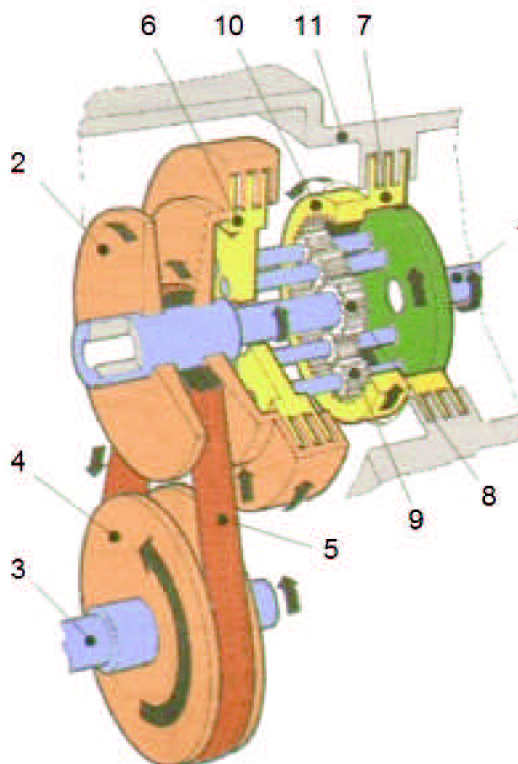
Obr. 2.6 Dvoustupňový variátorový převod.¹¹

Čtyřstupňový převod, Obr. 2.7, provádí změny průměru vnějších řemenic obou převodů současně. Převodový poměr je velkého rozsahu, který zajišťuje násobek dvoustupňového převodu.

Obr. 2.7 Čtyřstupňový variátorový převod.¹¹

K proměnnému průměru kladek se využívá sestavy dvou komolých kuželů, které leží svými základnami od sebe v jedné ose. Jednotlivé kužely hnací a hnané kladky musí zaujímat takové postavení, aby obvodová vzdálenost byla shodná s délkou řemene variátoru. Vzdálenost mezi stěnami kuželů určuje výsledný průměr kladky a převodový poměr. Variátory se hojně používají v celém spektru automobilového a strojírenského průmyslu, k tomu přispívají dobré užitné vlastnosti a komfort obsluhy. Vyznačují se vysokou účinností přenosu výkonu a točivého momentu. Výroba řemenu se provádí různými technologiemi. Volba

materiálu závisí na použití a zatížení mechanismu, pryžové řemeny s textilní kostrou jsou vhodné pro přenos menších točivých momentů. Naopak ocelové řetězy, složené z několika desítek článků, jsou určeny pro vysoké zatížení a náročný provoz. Řetězové a řemenové převodové skříně, Obr. 2.8, (automatické převodové skříně) tvoří sestavu více mechanismů. Samostatný řemenový převod nedokáže změnit smysl otáček. Zpětný chod obstarává přidavný planetový převod. Spojka je ovládaná samočinně, nejčastěji hydrodynamickým měničem.^{6,11}



Obr. 2.8 Automatická převodová skříň s variátorem.⁶

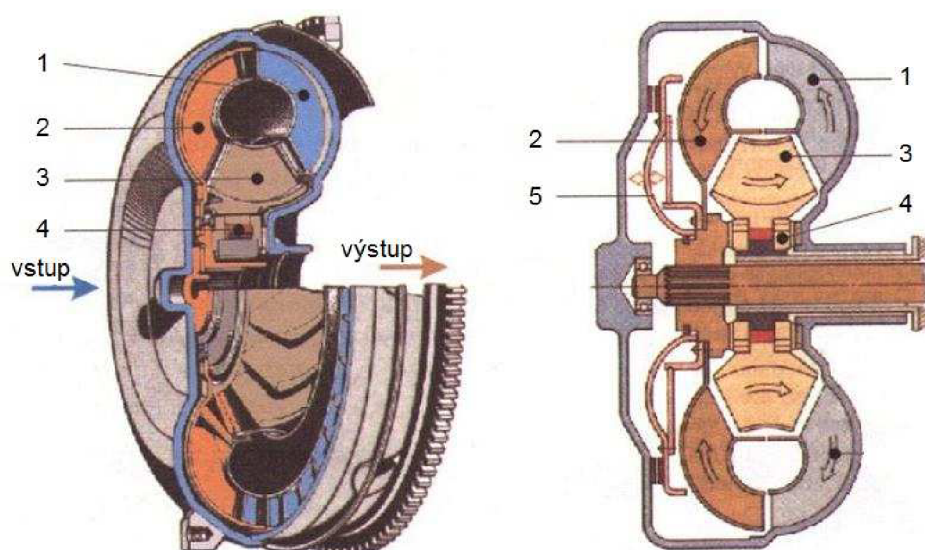
- | | |
|------------------------------|----------------------------|
| 1) vstupní hřídel | 7) spojka pro zpětný chod |
| 2) hnací (vstupní) řemenice | 8) centrální kolo |
| 3) výstupní hřídel | 9) satelit |
| 4) hnaná (výstupní) řemenice | 10) korunové kolo |
| 5) tlačný ocelový řemen | 11) skříň převodové skříně |
| 6) spojka pro jízdu vpřed | |

2.5 Hydrodynamický měnič

Hydrodynamický měnič, Obr. 2.9, může ve vozidle či stroji pracovat jako spojka, nebo mechanismus měnící převodový poměr. Využívá proudění kapaliny mezi lopatkami čerpadla, turbíny a také reaktoru. Měníče moderních vozidel jsou vybaveny mechanickou třecí spojkou blokující celou sestavu a tvořící pevné spojení. To zajistí přenos točivého momentu bez jakýchkoliv ztrát v procesní kapalině. Čerpadlo je poháněno výkonem motoru vozidla a uvádí kapalinu do pohybu. Vlivem odstředivé síly ji tlačí lopatky čerpadla na stěnu měniče, odkud proudí na lopatky turbíny. Kinetická energie procesní kapaliny je turbínou převáděna na rotační pohyb.

K turbínovému kolu je pevně připojena výstupní hřídel hydrodynamického měniče. Kapalina dále proudí do reaktoru, kterým se otáčí v opačném směru turbíny a čerpadla. Vestavěná volnoběžka blokuje tento pohyb, reaktor se tedy neotáčí. Zakřivení lopatek reaktoru změni směr proudění kapaliny. Zvětšení točivého momentu vzniká reakční silou se změnou směru toku kapaliny. Okruh se uzavírá v okamžiku, kdy je kapalina vedena z reaktoru na čerpadlové kolo. Cyklus toku náplně měniče se neustále opakuje a zajišťuje správný chod a chlazení celé sestavy.

Moment výstupního hřídele měniče se zmenší, pokud proud kapaliny narazí na lopatky reaktoru pod jiným úhlem než v ideálním stavu. Je to způsobeno rozdílem mezi otáčkami turbíny a čerpadla hydrodynamického měniče. Reaktor má stejnou úhlovou rychlost jako turbína, tento stav vydrží, dokud proud kapaliny nepřestane vytvářet reakční sílu. Reaktor tedy nenásobí točivý moment turbíny, pokud úhlová rychlost čerpadla, turbíny a reaktoru jsou stejné. Hydrodynamický měnič může točivý moment měnit od $i = 1,5$ až $i = 4,5$. Vše záleží na konstrukci a nastavení všech částí celé soustavy.



- | | |
|--------------------------|---|
| 1) Čerpadlové kolo | 4) Volnoběžka |
| 2) Turbínové kolo | 5) Třecí blokovací (přemysťovací) spojka měniče („lock – up“) |
| 3) Reakční kol (reaktor) | |

Obr. 2.9 Hydrodynamický měnič.⁶

Největší výhodou hydrodynamického měniče je samočinné zvyšování točivého momentu při zátěži vozidla či stroje a plynulý chod v závislosti na odporu převodového mechanismu. Motor nelze při přetížení a rozjezdu zastavit náhlým zvýšením odporu převodového mechanismu. Rázy a kmity vyvolané motorem jsou tlumeny procesní kapalinou, tím jsou zároveň chráněny ostatní části převodového mechanismu. Náklady na provoz vozidla, které je vybaveno hydrodynamickým měničem, jsou podstatně menší v porovnání s elektrickým přenosem výkonu a točivého momentu. Ve srovnání s mechanickou stupňovou převodovou skříní má měnič větší hmotnost a náklady na výrobu. Spotřeba pohonných hmot je v důsledku ztrát v proudění kapaliny vyšší než u stupňové mechanické převodové skříně. Odstavené vozidlo nelze zajistit proti samovolnému pohybu.

3 KONSTRUKCE JEDNOTLIVÝCH DÍLŮ V PROGRAMU AUTODESK INVENTOR

3.1 Základní popis programu Autodesk Inventor

Společnost Autodesk produkuje kvalitní strojírenské CAx (Computer Aided) programy, rozšířené ve firmách po celém světě. Autodesk Inventor je parametrický adaptivní 3D modelář. Umožňuje tvorbu 2D výkresové dokumentace přímo z vymodelované součásti, animaci pohyblivých sestav, fotorealistické dokumentace, správu konstrukčních dokumentů a jednotlivých součástí. Konkurenční aplikace stejné softwarové úrovně pracující na podobných principech jsou např. SolidWorks a Pro/Engineer. Historie práce s modelem je zaznamenávána do stromové struktury v prohlížeči.

Hlavní výhodou parametrické technologie modelování je okamžitá změna celé součásti jedním parametrem, jednoduchá tvorba více variant součástí. Asociativita programu umožňuje změnu geometrie i v jiné aplikaci společnosti Autodesk, ve které je součást načtena.

Velká časová a hardwarová náročnost při změně modelu je značná nevýhoda, musí se totiž zpětně přepočítat celá stromová struktura součástí. Změnou parametru modelu je možné vyvolat havárii, nebo dokonce kolizi modelované součásti. Dále je nutné zohlednit při modelování pořadí použitých prvků a operací z důvodu zpětné úpravy bez potíží.

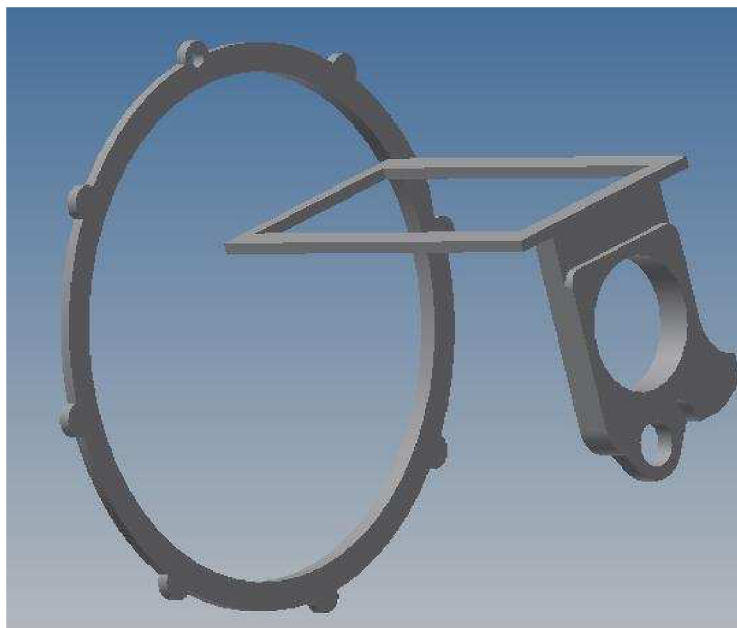
Základními částmi konstruování modelů jsou party. Jedná se o odvozené 2D náčrty. Odvození je provedeno pomocí funkcí typu vysunutí, rotace, šablonování, tažení. Ve výkresové dokumentaci vytvořené v programu Autodesk Inventor je každá změna 3D modelu automaticky aktualizována včetně všech pohledů, řezů kusovníků a odkazů. Další užitečnou funkcí je modelování plechových součástí, nejužitečnější je následný virtuální rozvin plechu, který přesně určí rozměry vstupního polotovaru. Party mohou být vázány do větších sestav, kde jsou vázány pevnými vazbami omezující jejich stupně volnosti.^{12,13,14}

3.2 Konstrukce jednotlivých dílů

Převodová skříň je výrobek československého průmyslu. Při projektování byly použity ČSN normy, které platí v pozměněné podobě dodnes. To částečně zjednodušilo práci při překreslení převodové skříně programem Autodesk Inventor. Modelování normovaných součástí, jako ložiska, šrouby, závity, ozubená kola a drážková spojení, bylo rychlejší. Většinu těchto komponentů vygeneruje program ze svých virtuálních knihoven. Veškeré měření rozměrů bylo prováděno běžnými strojírenskými měřidly (posuvné měřidlo, hloubkoměr, úhломěr, závitové měřky, rádiusové měřky).

Nejsložitější součástí na modelování je samotný obal převodové skříně. Celý obal je souměrná součást, ale některé složitě tvarované plochy bylo problematické přemodelovat. Jedná se o hlavní nosnou část celé sestavy, na kterou jsou namontovány jednotlivé pohyblivé a pevné díly. Obal je vyroben ze slitiny hliníku, která je následně třískově obráběna. Jako první krok bylo nejdůležitější zvolit pomyslné základny, které dají modelu základní rozměr

a budou se od nich odměřovat zbylé rozměry. Tomuto účelu nejlépe posloužily tři hlavní plochy celé sestavy dílů. Přední příruba, která je v reálu namontovaná na blok motoru, je rotační součást s rovnou plochou čela. Uchycení k hnacímu agregátu je zabezpečeno otvory po obvodu příruby. Pro snadnější modelování byla použita funkce kruhové pole, jeden otvor byl vybrán jako referenční a podle osy rotace byly zbylé kopírovány. Zadní a vrchní příruba mají rovněž čelo s rovnou plochou, na které je namontováno další zařízení. Vymodelováním již zmíněných ploch, Obr. 3.1, vznikne základní obrazec dávající základní představu o velikosti a rozmístění jednotlivých částí odlitku.

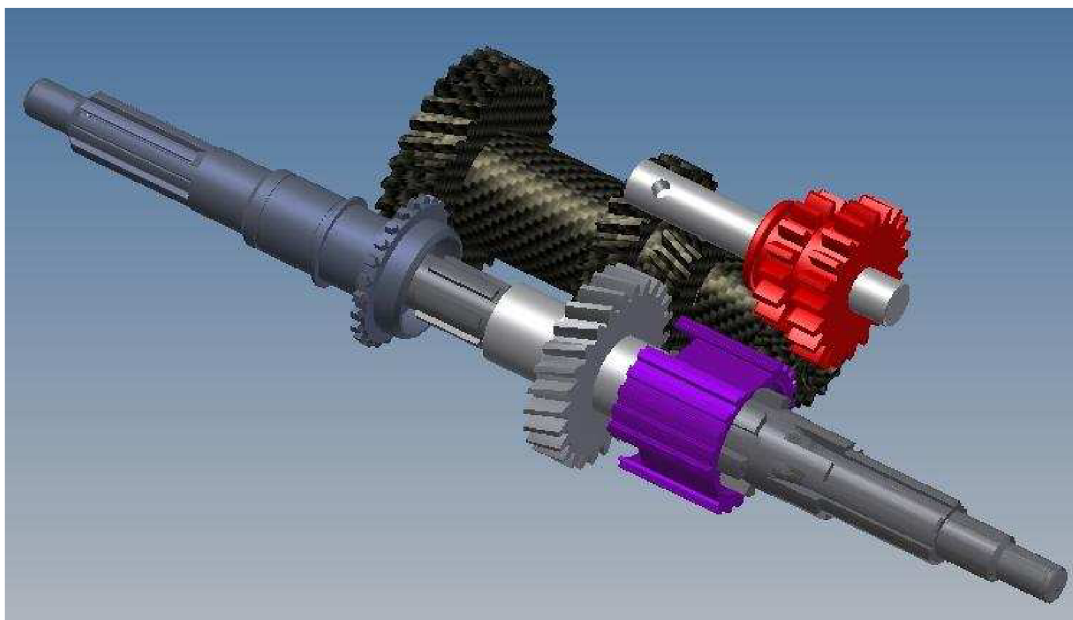


Obr. 3.1 Základní plochy modelu.

Následujícím krokem bylo pomocí základního náčrtu a funkce rotace vytvoření geometrie kuželové plochy příruby převodové skříně. Boční stěny obsahují jednoduché prvky funkce vysunutí a šablonování. Ty vyžadovaly postupné modelování, vždy po jednotlivých rovinných částech. 2D náčrty těchto funkcí byly převážně tvořeny promítnutím geometrie hran. Na spodní část obalu byly použity stejné postupy, dno uzavřelo celou skořepinovou součást. Výpust je tvořena nálitkem se závitem pro šroub. V předním a zadním čele skříně jsou otvory pro kuličková ložiska ČSN 02 4630 – 6306.¹⁷ Kryt hlavní hřídele je umístěn v přední části, kde slouží jako zábrana proti axiálnímu posunutí ložiska směrem z převodové skříně ven, v opačném směru je jištěno pojistným ocelovým kroužkem. Zadní víko slouží ke stejnému účelu, ale má navíc v sobě zabudován mechanismus pohonu lanka rychloměru a volné otvory se závitem pro úchyt ke karoserii. Program Autodesk Inventor nabízí pro tvorbu základních 2D náčrtů základní kartézskou pravotočivou soustavu. Nakloněné a zkosené plochy je nutné modelovat pomocnými pracovními rovinami. Kontrolní otvor lamelové spojky, nalévací otvor převodového oleje, otvor se závitem pro aretaci hřídele zpětného ozubeného dvoukola využívají těchto rovin, které mají velké množství druhů zadávání souřadnic a úhlů sklonu. Veškeré rozměry závitů jsou

generovány softwarem přímo, není proto nutné zadávat průměry otvorů pro výrobu závitu.

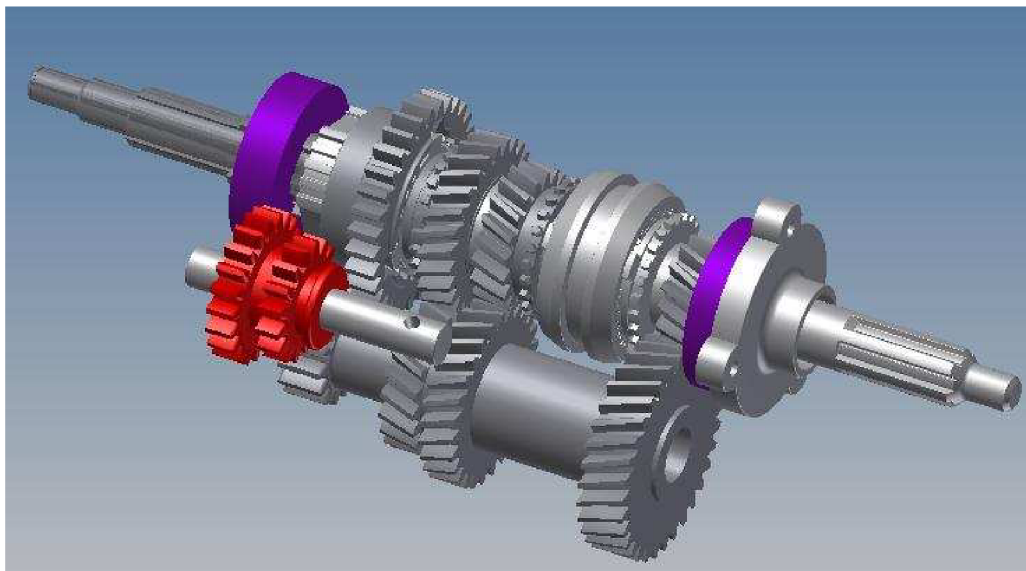
Hlavní vstupní a výstupní hřídel, Obr. 3.2, jsou čepovité součásti, je proto výhodné používat po nákresu 2D profilu funkci rotace. Výhodou postupu je snadná změna geometrie součásti a to i zpětně po vložení do sestavy bez možných následků na další operace. Podle normy ČSN 02 2930 – 30 x 2 je vymodelována funkcí rotace na vstupním hřídeli drážka pro pojistný kroužek. Pole normy ČSN ISO 14 – 8 x 32 x 36 je modelováno rovnoboké drážkování vstupního a výstupního hřídele. Na obou hřídelích jsou usazena ozubená kola, vodící tělesa synchronizačních spojek, ložiska a výstupní unášecí hardy spojky. Vodící tělesa synchronizačních spojek mají na vnitřním a vnějším průměru již zmíněné drážkování sloužící pro přenos točivého momentu mezi ozubeným kolem a samotným hřídelem. Vnitřní drážkování bylo modelováno pomocí promítnuté geometrie z již narýsovaného hřídele, výsledný náčrt byl pomocí funkce odsazení rozšířen z důvodu zachování vůlí. Pro modelování součásti byla použita funkce přidávání a ubírání materiálu.¹⁴



Obr. 3.2 Sestava hřídelů, unášeců a ozubených kol.

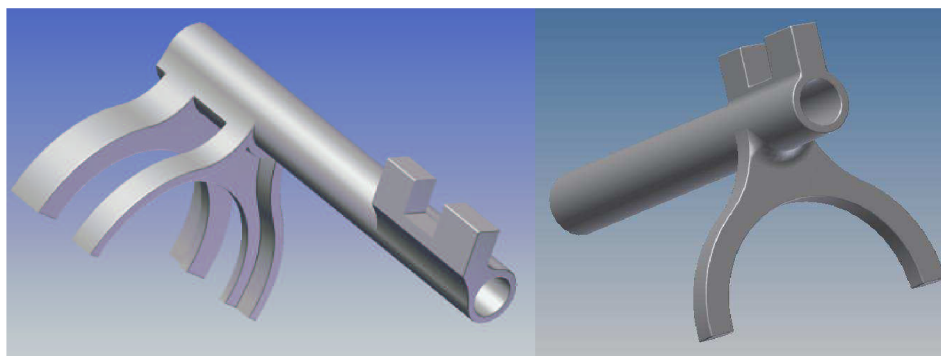
Program Atodesk Inventor umožňuje návrh a počítání sestavy či jednotlivých čelních ozubených kol s přímými nebo šikmými zuby. Po zadání vstupních parametrů, např. počet zubů, osové vzdálenosti středů ozubených kol, modulu, převodového poměru, vygeneruje sestavu v reálném měřítku 1:1. Dále nabízí provedení výpočtu maximálního přenosového výkonu, obvodové rychlosti, nebo svěrného momentu. Pro reálný pohyb kol v sestavě, Obr. 3.3, je nutné použít několika vazeb, zajišťující stálou polohu a otáčení v požadovaném převodovém poměru. Ozubená kola je nutné uložit každé zvlášť a poté vložit do sestavy jako dva party, jednotlivé vazby zajistí stálou vzdálenost os kol, sjednocenou polohu čel, umístění na dalších partech (hřídele, unášecí). Důležitou vazbou je vazba pohyb, která otáčí koly proti sobě jako u reálného soukolí, dále je nutné nastavit natočení obou ozubených kol tak, aby zapadaly

zuby prvního do zubových mezer druhého kola. Ostatní funkční prvky ozubeného kola jsou dodatečně domodelovány v základní úrovni součásti. Kolo je vygenerováno bez středové díry, ozubení synchronu a dosedací plochy synchronizačního zařízení. Z již vymodelovaného synchronizačního kroužku je převedena geometrie ozubení spojky na jednotlivá ozubená kola. Jedná se o nejrychlejší a nejjednodušší metodu.



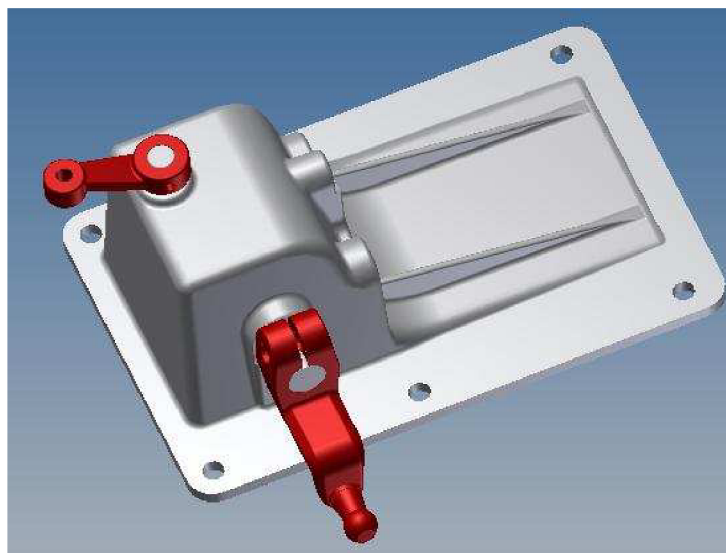
Obr. 3.3 Sestava hřídelů, ozubených kol, synchronizačních spojek a ložisek.

Poněkud složitějšími součástmi jsou řadicí vidlice Obr. 3.4. Jedná se o litinové výrobky, které jsou opracovány metodami třískového obrábění. K modelování je potřebné využít mnoho funkcí převodu 2D náčrtu do 3D modelu. Nejdůležitějšími rozměry jsou vzdálenosti os vodící a samotné řadicí části. Pro jejich nejpřesnější přenesení je nevhodnější kreslit součást jako nový vložený part do sestavy. Následným promítnutím geometrie vodícího čepu a vodící drážky synchronizačního kroužku, nebo ozubeného kola, vznikne přesný rozměr. Po vymodelování nosné a funkční části následuje jednoduchý náčrt propojující již zmíněné komponenty. Neméně důležitou částí jsou drážky pro posun řadicí kulisy. Pro vysokou přesnost a funkčnost je nutné modelovat všechny řadicí vidlice a jejich ovládání v jedné sestavě. To zajistí dostatečnou kontrolu proti kolizi a správné fungování pohyblivých částí.



Obr. 3.4 Řadicí vidlice převodových stupňů.

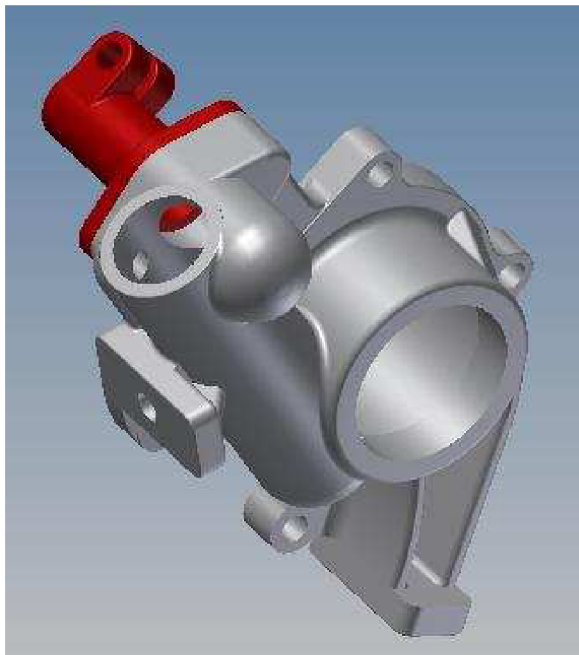
Funkčně důležitým dílem je horní víko, Obr. 3.5 sloužící jako kryt montážního a servisního otvoru převodové skříně. Hlavní funkcí je ovládání řazení převodových stupňů. Jedná se o sestavu hliníkového odlitku a pohyblivých součástí. Základní částí víka je příruba a vodící otvory pohyblivých komponentů. Příruba je pomocí funkce vysunutí vymodelována z 2D náčrtu promítnutého z obalu převodové skříně, zbylá část je modelována funkcí vysunutí. Jako odlitek má díl na svém povrchu mnoho zaoblení a šikmých ploch, pro tyto úpravy je program Autodesk Inventor vybaven funkcemi, které přiblíží vzhled součástí co nejvíce reálnému dílu. Po virtuálním přiložení víka k obalu převodové skříně musí řadicí táhlo zapadnout do drážek posuvných řadicích vidlic.



Obr. 3.5 Horní víko s ovládacími prvky.

Zadní víko převodové skříně Obr. 3.6, plní funkci těsnícího, nosného a měřicího dílu celku. Brání úniku olejové lázně z převodového mechanismu mimo obal skříně vestavěným hřídelovým těsnícím kroužkem. Pro uchycení sestavy do vozidla a tlumení vibrací a rázů motoru slouží úchyty připevněné do závitových otvorů o velikosti M10 x 22. Vestavěný převodový mechanismus pohání lanko náhonu tachometru, pro malé rozměry nebude v sestavě

modelován. Výsledný model bude vyroben v měřítku 1:2, technologie Fused Deposition Modeling má omezené možnosti výroby malých a složitých sestav. Hlavním nedostatkem je relativní nepřesnost způsobená kladením jednotlivých vláken a výsledné kvality povrchu. Základní tvar součásti je modelován obdobnými postupy a metodami jako obal převodové skříně a její víko. Nejdůležitější je plocha příruby, její 2D náčrt vznikne promítnutím geometrie části obalu převodové skříně. Následným vysunutím bude vymodelována příruba, otvory je vhodnější vytvářet funkcí Díra. Případná úprava rozměru či polohy otvoru je snadnější a bez případných chyb ve stromové struktuře.



Obr. 3.6 Zadní víko s přírubou náhonu tachometru.

V celkové sestavě je počítáno s vůlemi mezi součástmi, ty zabezpečí tisk jednotlivých partů bez nežádoucích jevů. Hlavní nebezpečí spočívá ve spojení více součástí v jeden part, což by ohrozilo funkčnost sestavy. Některé komponenty budou na tiskárně uPrint tisknuty zvlášť, zamezí se tak zmetkovitosti a finanční ztrátě.

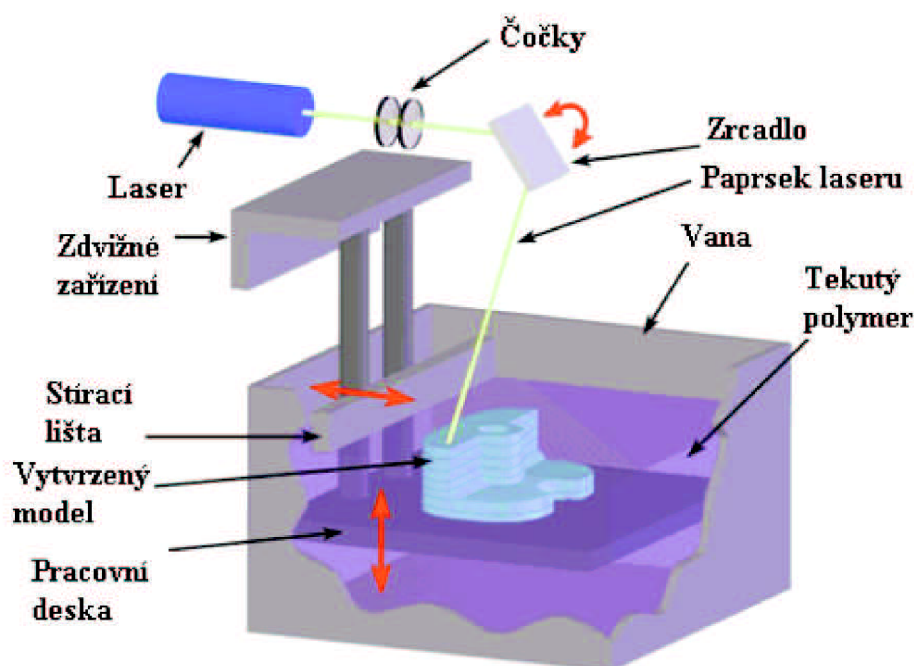
4 POPIS DOSTUPNÝCH TECHNOLOGIÍ RAPID PROTOTYPING

4.1 Na bázi fotopolymerů

Fotopolymery jsou materiály, reagující změnou svých mechanických vlastností na elektromagnetické záření. Nejčastěji je používán laser, pracující na principu zesilování světla simulovanou emisí záření. Výroba modelu probíhá v nádobě vyplněnou pryskyřicí v kapalném stavu. Jednotlivé vrstvy jsou vytvářeny elektromagnetickým zářením postupně, po dokončení jedné vrstvy dochází k přesunu na následující. Po vytváření všech vrstev je nevytvářená pryskyřice vyplavena mimo hotový model. Hlavními parametry zařízení RP využívající metody na bázi fotopolymerů jsou typy: laseru, optické soustavy a zvedacího mechanismu.¹⁶

4.1.1 Stereolitografie – SLA

Metoda Stereografie – SLA Obr. 4.1 je aditivní metoda postupného nanášení vrstev. Jedná se o nejstarší metodu výroby 3D modelů, prototypů, i sériovou výrobu dílů. Vykazuje vysokou rozměrovou přesnost, pohybující se v rozmezí 0,05 až 0,2 na 100mm délky modelu. Metoda je zvláště vhodná pro výrobu přesných součástí s vysokými rozměrovými požadavky na velikost a umístění otvorů. Metodu SLA nejčastěji využívá automobilový průmysl při výrobě modelů automobilů. V pracovní komoře přístroje se nachází epoxidová pryskyřice, ve které je umístěna pohyblivá nosná deska, ta svým pohybem po svislé ose posouvá vyráběný model po vrstvách dolů. Princip fungování metody spočívá na vytváření vrstev pryskyřice o síle 0,05 až 0,15 mm, o tuto hodnotu je posouvána nosná deska směrem dolů. Proces výroby kontroluje řídicí počítač, ovládající celý mechanismus. Laserový systém je složen z pevnolátkového nebo plynového laseru, čoček a soustavy zrcadel, sloužící k usměrnění paprsku. Stírací čepel zarovná vytvářenou vrstvu pryskyřice, tím připraví povrch pro další nanášení. Podpory, které jsou vyrobeny ze stejného materiálu jako výsledný výrobek, zajistí stavbu modelu na nosné desce po ukončení výrobního procesu. Zhotovení modelů o velkých rozměrech, vysoká jakost povrchu, ideální přesnost, široká paleta vstupních materiálů jsou značné výhody této technologie. Oproti tomu post-procesingové operace časově prodlužují dobu výroby.^{2,16}

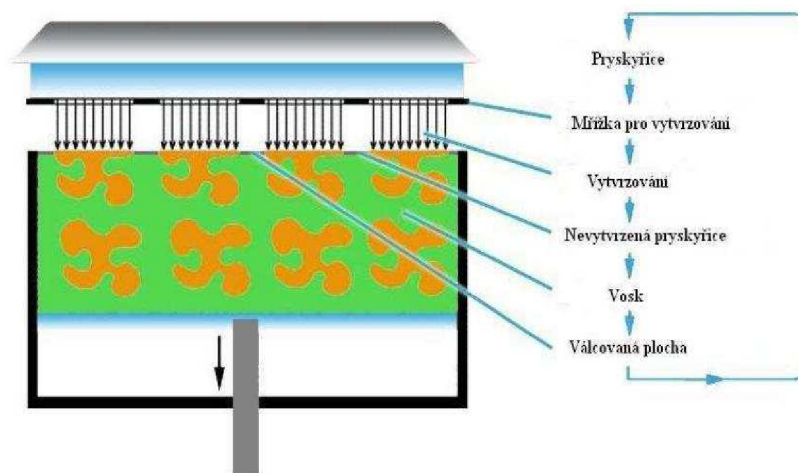


Obr. 4.1 Schéma metody Stereolitografie – SLA.¹⁷

4.1.2 Solid Ground Cutting – SGC

Zařízení SGC, Obr. 4.2, funguje na podobných principech jako metoda SLA, ale jednotlivé vrstvy jsou vytvrzovány najednou. Na nosnou desku je nanесena vrstva pryskyřice, nad kterou je zabudována šablonová deska. UV záření proniká na pryskyřici a vytvrzuje její strukturu. Po dokončení procesu je zbývající vstupní materiál odsán a nahrazen výplňovým voskem, sloužící jako podpora k nanесení další vrstvy. Vrstva s voskem je odřezována na stanovenou tloušťku a celý proces se opakuje až do nanесení všech vrstev. Metoda byla vyvinuta společností Cubital Inc. V roce 1987. Společnost vyvinula software Cubital's Solider DFE pro import dat do obslužného počítače zařízení. Software zároveň slouží pro kontrolu chyb modelu a virtuálnímu rozřezání součásti na jednotlivé vrstvy. Výhodou technologie je dobrá struktura, stabilita modelu a tvarová stálost hotového modelu. Zařízení pro výrobu modelů metodou SGC má velké rozměry, je hlučné, vytváří odpad a vykazuje problémy s usazeninami.

Metoda 3D tisku SGC nachází uplatnění hlavně při výrobě výrobků určených k prezentaci, ověření designového vzhledu. Další uplatnění nachází v medicíně např. při výrobě protéz a chirurgických pomůcek.^{2,18}



Obr. 4.2 Schéma metody Solid Ground Cutting – SGC. ¹⁹

4.2 Na bázi práškových materiálů

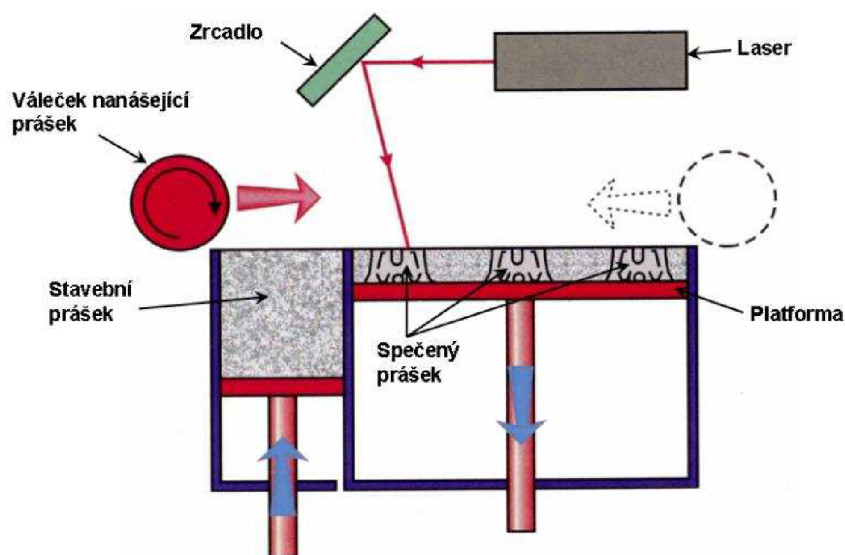
K výrobě modelů je používán jemný prášek, který je nanášen do vrstev. Princip fungování zařízení zpracovávající práškové materiály je velmi podobný, liší se jen konstrukcí a technologií zpracování. ²

4.2.1 Selective Laser Sintring – SLS

Jako základní vstupní materiál metody SLS, Obr. 4.3, je používán jemný prášek, podle typu a aplikace modelu. Polyamidy se používají při výrobě plastových modelů, kovový prášek při výrobě reálného kovového výrobku a práškový písek na tvorbu forem pro slévárenské účely. Dalšími možnostmi jsou výrobky z pryže a keramiky. Vrstvy jsou nanášeny, jako u ostatních metod RP, postupně po jednotlivých tloušťkách z práškového materiálu. Teplo produkující laserový zářič natavuje vstupní materiál, zbytek prášku, který neprošel procesem, vytvoří podporu. Ta je odstraněna finálním opracováním modelu. Celá operace nanášení probíhá v inertním prostředí z důvodu zamezení oxidace a zachování jakosti povrchu materiálu. Laser vykresluje jednotlivé vrstvy modelu umístěného na vertikálně pohyblivé desce. Software Vanguard virtuálně rozřízne součást na jednotlivé vrstvy o síle 0,1 až 0,2 mm a následně vygeneruje dráhy pro laser. Podpora není zahrnuta v programu, vzniká ze zbytku nespečeného prášku automaticky. Jako u předešlých metod RP je deska posouvána směrem dolů, vždy po vytvoření nové vrstvy, která vzniká jen na místech dopadu paprsku. Hotová součást je zasypána velkou vrstvou vstupního materiálu pro rovnoměrnější chladnutí modelu. Dokončovací operace zajistí konečný vzhled a funkci modelu. Podpora se musí mechanicky odstranit, povrch je dále tryskán, broušen, leštěn atd. Další možností úpravy povrchu je třískové obrábění, běžně používané u kovových obrobků.

Metoda SLS je vhodná pro výrobu tvarově složitých součástí s dutinami a snižuje náklady na výrobu forem a přípravků v průmyslu zpracovávající plastové výrobky. Veškeré modely vyrobené SLS technologií vynikají vysokou pevností

a dobrými mechanickými vlastnostmi povrchu, což dovoluje vytvářet funkční výrobky z reálného materiálu. Následný post-processing vyžaduje jednoduché a levné technologie. Zařízení SLS technologie je však energeticky náročné, v porovnání s ostatními metodami RP vykazuje méně kvalitní strukturu povrchu.
2,20



Obr. 4.3 Schéma metody Selective Laser Sintering – SLS.²¹

4.2.2 Direct Metal laser Sintering DMLS

Metoda DMLS nabízí velké rozmezí výběru jakosti a vlastností vyrobeného modelu, což zajišťuje postupné nanášení tenkých vrstev pomocí laserového paprsku. 3D CAD data jsou programem EOSINT M 270 importována do softwaru 3D zařízení. Obsluha zároveň definuje polohu modelu v zařízení, určuje druh podpory a tloušťku vrstvy. Poté software vygeneruje počet vrstev, jejich umístění a parametry nastavení 3D zařízení. Na kvalitu výsledného modelu má největší vliv tloušťka jednotlivé vrstvy, která se pohybuje v rozmezí hodnot od 0,02 do 0,04 mm. Použitím silnějších vrstev se urychlí proces výroby, ale značně se zhorší jakost modelu. Součástí je stavěna na ocelové platformě, která se umístí před začátkem procesu do komory 3D zařízení. Rameno s keramickým břitem rozprostře předem definovanou vrstvu kovového prášku na povrch ocelové platformy. Paprsek produkovaný laserovým zařízením je zaostřen na softwarem definovanou dráhu, odvozené z kontury 3D modelu. Při působení elektromagnetického záření laseru na kovový prášek vzniká v místě dopadu vln přenos tepelné energie. Proces pokračuje postupně po jednotlivých vrstvách až do finálního vyrobení modelu. Ocelová platforma slouží jako základní deska modelu a tepelný vodič odvádějící tepelnou energii vzniklou procesem spékání. Výrobek je chráněn proti chemickým reakcím s okolním prostředím dusíkem nebo argonem. Ochrannou atmosférou je vyplněn pracovní prostor 3D zařízení. Jako u předešlé metody je kovový prášek spečen do tuhého stavu protavením podkladové vrstvy. Zamezení pohybu modelu po ocelové platformě zajistí podpurná struktura, která je stavěna postupně s vrstvami nataveného kovového prášku. Laserový paprsek je řízen v souřadnicích X a Y osy, ocelová platforma je posouvána podél osy Z, minimální hodnota posuvu činí 20 μ m na vrstvu. 3D

tiskárna je po uvedení do provozu řízena automaticky vlastním softwarovým zařízením, proto může pracovat i 24 hodin denně. Délka výroby dílů o velkých rozměrech a složitých tvarech může dosahovat i několika dnů. Prášek je z 98% recyklovaný, proces výroby je tedy ekonomický a ekologický. Mechanické vlastnosti modelů vyrobené metodou DMSL se velmi blíží vlastnostem běžně používaných materiálů. Spékání kovových prášků může mít velkou perspektivu do budoucna. Již dnes se v průmyslu objevují výrobky, které je ekonomičtější a rychlejší vyrábět metodami DMLS. Jedná se hlavně o kusovou výrobu a tvarově složité součásti s dutinami. Post-procesingové metody jsou podobné jako u technologie SLS. Nabídka vstupních materiálů je značně velká a postupně se rozšiřuje o nové. V Tab. 2 je uveden základní přehled používaných materiálů ve formě kovových prášků včetně jejich mechanických vlastností.^{2,22}

Tab. 4.2 Přehled základních materiálů a mechanických vlastností.²

	Nerezová ocel GP1	Martenzitická ocel EOS MS 1	Slitina bronz-nikl DM 20
Min. tloušťka stěny	0,4 mm	0,4 mm	0,6 mm
Rychlost stavby	2–5 mm ³ /s	2-4 mm ³ /s	10-20 mm ³ /s
Zbytková poróznost	-	-	8%
Mez pevnosti R _m	900 Mpa	1100 (1950*) Mpa	400 Mpa
Mez kluzu R _{p0,2}	500 Mpa	1000 (1900*) Mpa	200 Mpa
Modul pružnosti	190 Gpa	180 Gpa	80 Gpa
Tvrdość povrchu	23-33 HRC	36-39 (50-54) HRC	120 HRC
Max. pracovní teplota	550°C	400°C	400°C

Metoda DMLS je hojně využívána v automobilovém, leteckém, elektrotechnickém průmyslu, značný rozmach zaznamenává např. i v medicíně. Veškeré kovové implantáty jsou kusová výroba, na které jsou kladeny vysoké kvalitativní nároky. Samotná výroba modelů se v praxi kombinuje s konvenčními metodami obrábění. Pro výrobu jednodušších tvarů součástí jsou voleny běžně používané metody obrábění, naopak složité tvary, jako např. žebra, dutiny, různorodé povrchové tvary, jsou vyráběny nanášením kovového prášku. Značnou výhodou technologie DMLS je úspora materiálu recyklováním nespečeného kovového prášku a absence přídavného materiálu pro tvorbu

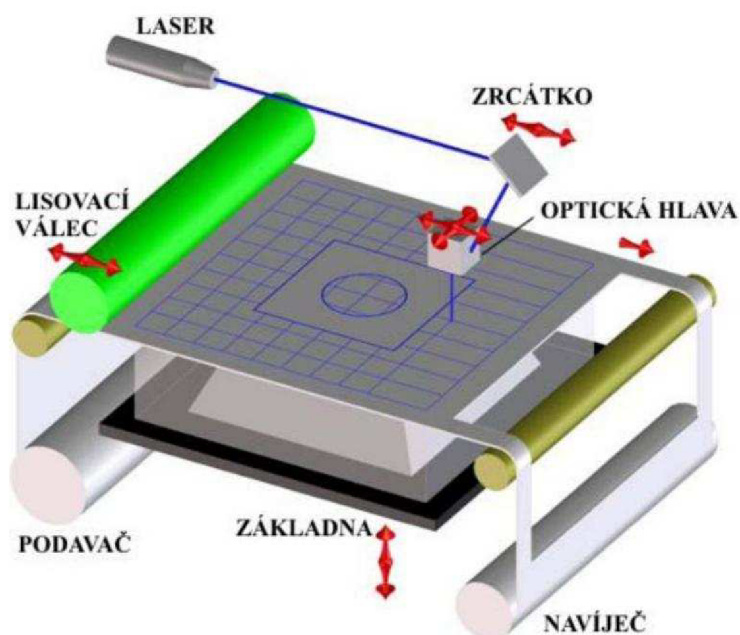
podpory. Největší překážkou pro rozšíření technologie je energeticky a prostorově náročné zařízení. Další nevýhodou je špatná kvalita povrchu v porovnání s konvenčními metodami obrábění. Tento nedostatek způsobuje velikost prachových částic kovového prášku.^{2,22}

4.3 Na bázi tuhých materiálů

Jedná se o zcela odlišný způsob výroby modelů, kdy kapalné a práškové materiály jsou nahrazeny vstupním materiálem pevného skupenství. Princip postupného nanášení vrstev je zachován, taktéž převod vstupních 3D dat je obdobný.²

4.3.1 Laminated Object Manufacturing – LOM

Tvorba 3D modelu je prováděna nanášením vrstev tenké fólie. Strana opatřena přilnavým nátěrem je přilepena k předchozí nanesené vrstvě. Laser svým elektromagnetickým zářením vyřezává konturu modelu. Zbylý materiál je rozřezán na jednotlivé kusy ve tvaru kvádrů, které jsou po dokončení 3D tisku odstraněny. Fólie mohou být na bázi papíru, plastu, nebo keramiky. Příslušným programem LOMSlice je nastavena poloha, měřítko a počet vrstev modelu. Vrstvy fólie jsou nanášeny na nosnou desku, na plochu mimo předpokládané umístění modelu je nalepena oboustranná lepicí páska. Proti kroucení fólie během procesu spékání laserem je umístěn na plochu nosné desky rám. Základová deska se po dokončení každé vrstvy posune směrem dolů o tloušťku fólie. Proces probíhá postupně, jednotlivé vrstvy fólie jsou lepeny na sebe a přitlačovány válcem. Předehřátí válce na cca 330°C zabezpečuje lepší přilnavost pojiva ze spodní strany folie. Proces se opakuje až do nanášení poslední vrstvy fólie. Model je po dokončení oddělen od nosné desky tenkým řezným drátem nebo řezným nástrojem. Rám obklopující celou sestavu je odstraněn i s přebytečným materiálem, který byl nařezán laserem na malé kvádry. Součást je nachystána na post-procesing, který má podobné operace jako předešlé metody. Poslední operací je nástřik modelu uretanovým, silikonovým, nebo epoxidovým nástřikem. Ten chrání součást proti působení vnějších vlivů (vlhkost), která může změnit objem modelu. Hlavními výhodami metody LOM je rychlost zařízení, laser pracuje podél krátké dráhy a je v činnosti jen omezenou dobu. Metoda má nízké náklady na vstupní materiál a energii, nevyžaduje použití podpurného materiálu. Přesnost vyrobeného modelu je značně vysoká, řezání probíhá až po přilnutí jednotlivých vrstev. Proces nanášení vrstev je ekologický a cenově dostupný. Velkým problémem je kontrola řezného procesu laseru, vzniká nebezpečí narušení nižších vrstev. U tenkostěnných modelů je možnost vzniku deformací a zborcení stěn. Odstraňování přebytečného materiálu je značně zdoluhavý proces, při kterém může dojít k poškození modelu. Metoda LOM, obr. 4.4, je využívána pro vizualizaci výrobků, kontrolu designového vzhledu a marketingové účely.^{2,23}



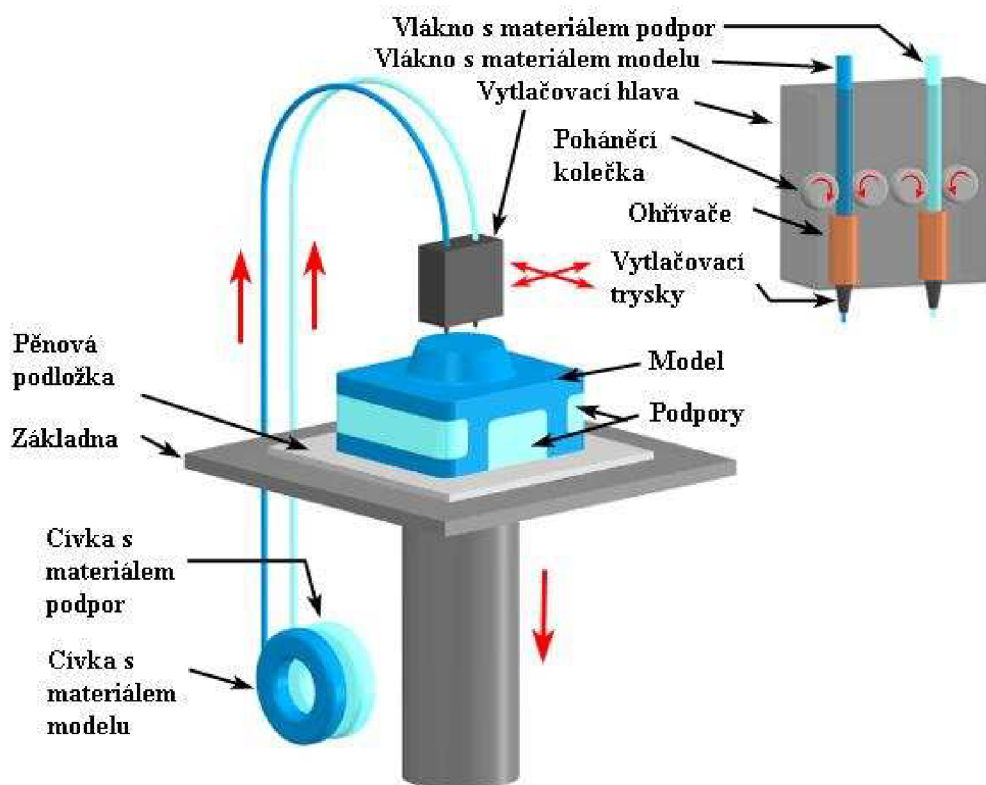
Obr. 4.4 Schéma metody Laminated Object Manufacturing – LOM. ²³

4.3.2 Fused Deposition Modeling - FDM

V podpůrném softwaru CatalystEX jsou nastaveny parametry tisku. Program načítá vstupní *.stl data, generuje tloušťky vrstev nanášeného materiálu, rozmisťuje vrstvy podpory, udává měřítko výsledného modelu a orientuje výrobek v pracovním prostoru 3D tiskárny. Termoplastický materiál ve formě drátu je pomocí kladek vtačován do vyhřívané trysky a nataven do polotekutého stavu. Jednotlivé vrstvy modelu jsou nanášeny postupně, první vrstva podpory je nanášena na plastovou desku umístěnou v tiskárně. Následně je na podporu natavena první vrstva stavebního materiálu modelu. Tisková hlava 3D tiskárny vykonává pohyb v osách X a Y dokud není nanášena celá vrstva. Pohyb v ose Z vykonává posuvná podložka. Proces se nepřetržitě opakuje, až do nanášení poslední vrstvy materiálu. Drát je vyroben z polykarbonátu, elastomeru, vosku, ABS a ABS+ plastu. Vstupní materiál je navinut na cívky, které jsou do zásobníku tiskárny umístěny v kazetách. Stavební a podpůrný materiál má vlastní kazetu, kterou je možno vyměnit v průběhu tisku. Metoda je ekologická, nenáročná na složité technologie a obsluhu. Výroba modelu je částečně prodražena nanášením podpůrného materiálu, ten chrání model proti deformaci stěn a vytváří plochu pro nové vrstvy nanášeného materiálu. Po ukončení procesu tisku je z pracovní části tiskárny vyjmuta podložka s finálním modelem a podporami. Metody post-procesingu odstraní přebytečný podpůrný materiál, nejjednodušší metoda je ponoření modelu do roztoku, ve kterém se rozpustí. Výrobek lze dalšími metodami post - procesingu dále upravovat, jakost povrchu lze zvětšit pomocí chemických přípravků, jedná se o úpravu hranic jednotlivých vrstev. Součást lze obrábět běžnými metodami třískového obrábění, dále lakovat, brousit atd. Vlastnosti hotových modelů lze srovnávat s mechanickými parametry vstupních materiálů. Výhodou je možnost výroby funkčních modelů s minimálními

ztrátami materiálu. Modely vyrobené metodou FDM, Obr. 4.5, vykazují jen průměrnou rozměrovou přesnost. Rozměrové tolerance značně ovlivňuje i možné smrštění modelu. Proces tisku součásti má definovaný čas a nelze ho urychlit.

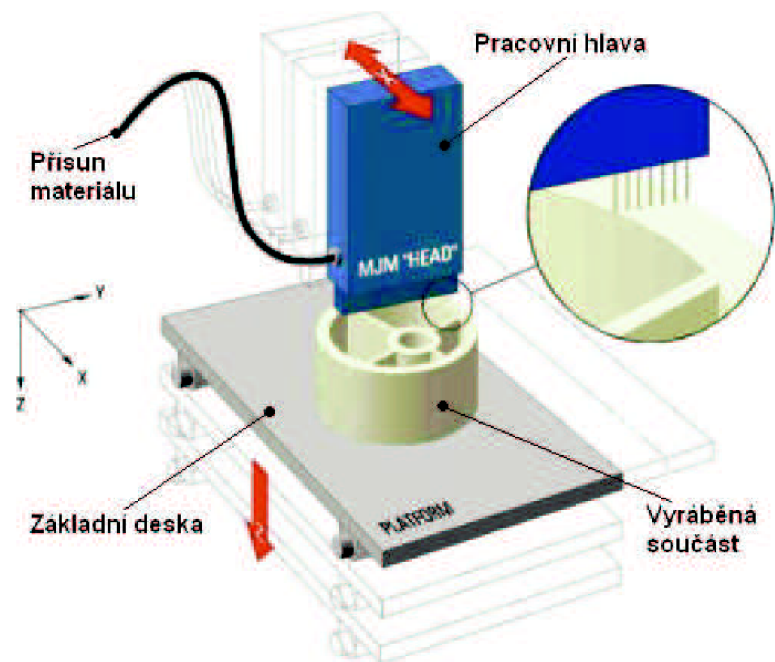
2,24



Obr. 4.5 Metoda Fused Deposition Modeling – FDM. ²²

4.3.3 Multi Jet Modeling – MJM

Zařízení MJM, obr. 4.6, tisku pracuje na podrobném principu jako Fused Deposition Modeling. Zařízení je vybaveno soustavou trysek seřazených v jedné ose, které nanáší jednotlivé vrstvy termopolymeru. Na délku 200 mm je rozmístěno 352 trysek, u starších modelů 96 trysek, které jsou samostatně řízeny softwarem určující průtok materiálu v určitém časovém úseku. Zařízení a princip činnosti tiskárny je velmi jednoduchý. Software umožňuje nastavení parametrů procesu tisku jako u předešlých metod. Součást je vyráběna na nosné desce, která se po nanesení jedné vrstvy posune o tloušťku vrstvy dolů. Pracovní hlava vykonává pohyb v osách X a Y, proces se opakuje rychlým a rovnoměrným nanášením vrstev. Samotný proces tisku je velmi rychlý a materiál je nanášen rovnoměrně. Pořizovací ceny termopolymerů jsou nízké, navíc nedochází ke ztrátám během výroby modelu. Značnou nevýhodou je malý sortiment materiálů, což znemožňuje vystavení modelů mechanickým zkouškám.



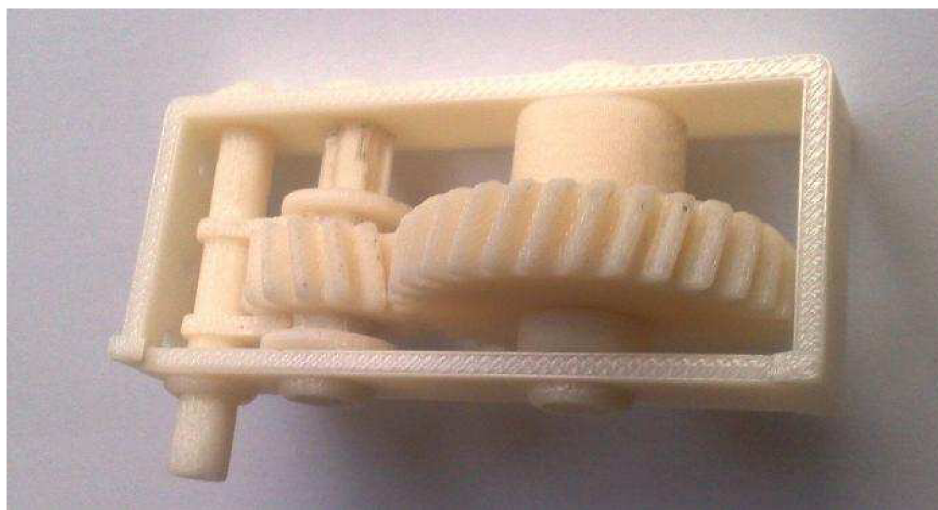
Obr. 4.6 Metoda Multi Jet Modeling – MJM. ²⁷

5 VÝROBA JEDNOTLIVÝCH DÍLŮ METODOU FUSED DEPOSITION MODELING

Před realizací celé sestavy převodové skříně byly vyrobeny dva pokusné modely, Obr. 5.1, záměrem bylo zjistit velikost potřebných vůlí mezi komponenty tak, aby nedošlo k výrobě zmetků. První jednoduchá sestava se skládala z dvoudílného rámu, řadicí vidlice a dvou ozubených kol s drážkovanými hřídeli.

První sestava byla modelována s vůlemi 0,1 mm mezi rovinnými plochami a 0,2 mm na průměr válcových součástí. Během procesu výroby modelu metodou FDM nebyly vyrobeny dostatečně silné vrstvy podpurného materiálu v mezerách mezi pohyblivými plochami součástí. I po mechanickém působení na jednotlivé díly nešlo k rozpohybování sestavy, ta zůstala nefunkční.

V druhém pokusu byly vůle zvětšeny na 0,3 mm mezi rovinnými plochami a 0,3 mm na poloměr mezi součástmi kruhového průřezu. Funkce sestavy byla zachována jen částečně, ozubená kola byla slepena mezi zuby, řadicí vidlice a hřídele byly spojeny s rámem jen malou plochou. Zkoušené vůle se zdají být optimální, při dalším zvětšení by mohla nastat nefunkčnost sestavy. Příliš velké vůle způsobí omezení funkčnosti pohyblivých mechanismů. Řešením není ani změna vzdálenosti os ozubených kol, vyřešilo by to nežádoucí spojení mezi součástmi, ale z konstrukčního hlediska se jedná o porušení výpočtů při jejich projektování. Doporučeným postupem je výroba sestavy jednotlivých dílů po částech a následné smontování.

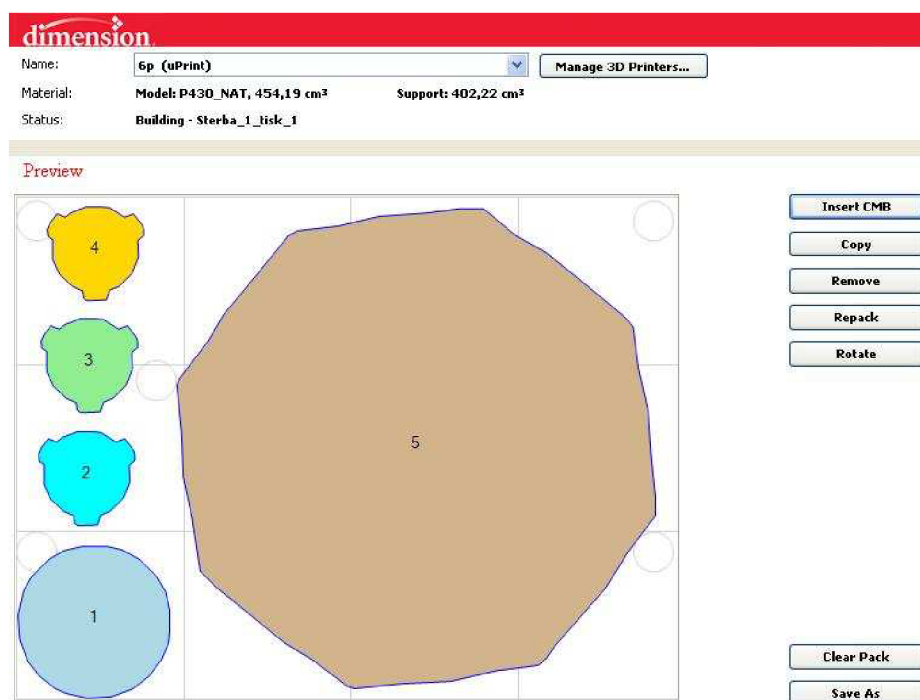


Obr. 5.1 Pokusný model.

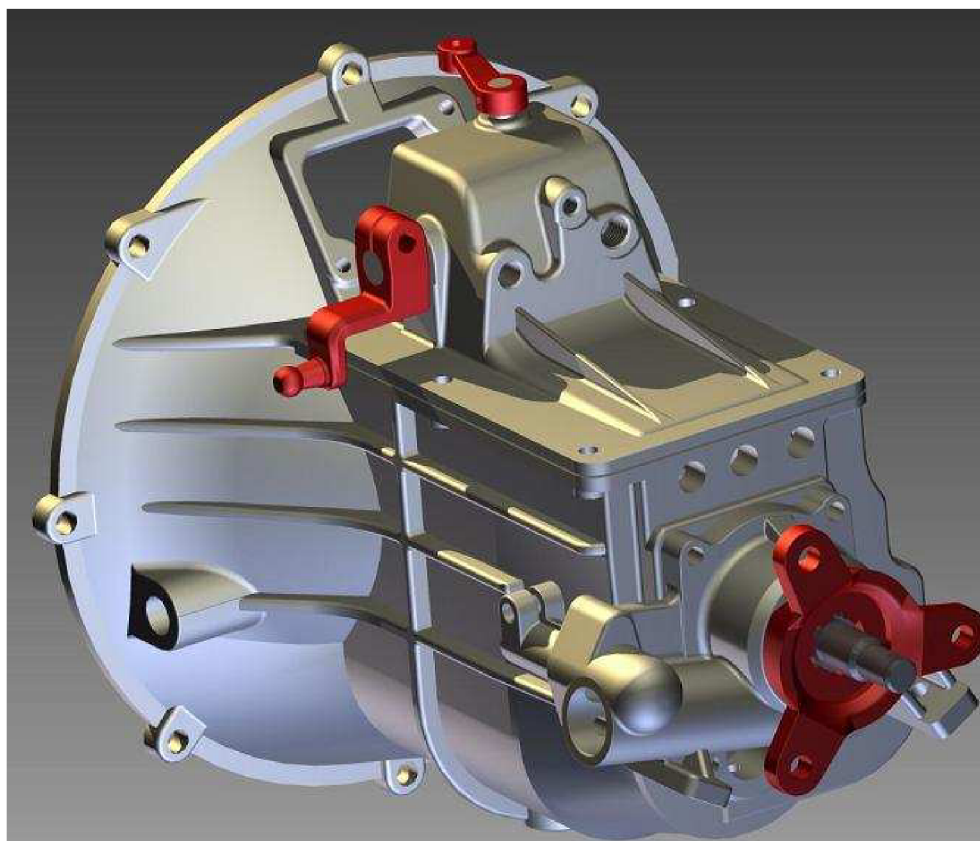
Výroba sestavy bude probíhat v měřítku 1:2, toto omezení je dáno technickými parametry zařízení uPrint. Některé součásti je neekonomické modelovat a vyrábět technologií Rapid Prototyping, proto budou vyrobeny jinou technologií nebo dodány jako hotový výrobek. Hřídele předlohového soukolí

a řadicích vidlic jsou jednoduché na výrobu běžnými metodami třískového obrábění, jejím použitím je zároveň zajištěno přesnější umístění a funkce zbylých prvků sestavy. Kuličková ložiska jsou metodou Fused Deposition Modeling vyrobitelná, ale k dosažení jejich funkčnosti by bylo nutné použít velké výrobní vůle. K následnému sestavení převodové skříně bude potřeba mechanická úprava jednotlivých dílů.

V programu CatalystEX byly jednotlivé součásti ve formátu *.stl rozmístěny na základnu Obr 5.2. K výrobě všech partů bylo potřeba tří základových desek. Celková výroba modelu, Obr 5.3, tiskárnou uPrint trvala 48 hodin a 44 minut, bylo přitom nanášeno 409,85 cm³ materiálu výrobku a 107,21 cm³ podpůrného materiálu. Po dokončení nanášení vrstev, byly hotové modely vyjmuty z tiskárny a odstraněny ze základní desky. Metody postproseingu odstranily přebytečné podpory a zvýšili jakost povrchu součástí. Ultrazvuková pračka „Digital Ultrasonic Cleaner“ odstranila přebytečný podpůrný materiál chemicko-mechanickým způsobem. Chemický přípravek ETHYL (METHYL) KETON naleptal povrchovou vrstvu a vyhladil ji. ABSplus materiál umožňuje provádět další procesy, (broušení, lakování, leštění) k dosažení lepší kvality povrchu.



Obr 5.2 Rozmístění jednotlivých dílů na základové desce.



Obr. 5.3 Model převodové skříně

6 ZÁVĚR

Bakalářská práce byla zaměřena na výrobu modelu převodové skříně v měřítku 1:2 metodou Fused Deposition Modeling. Jako předloha sloužila čtyřstupňová, tříhřídelová převodová skříň z osobního automobilu Škoda Felicia. Metody RP jsou nejčastěji využívány pro výrobky určené k vizualizaci a marketingové účely. Používané materiály nejsou vhodné pro vysoké mechanické namáhání, výjimku tvoří metody DMLS nebo SLS, které nanášejí kovový prášek. Modely vyrobené těmito technologiemi mají podobné nebo vyšší mechanické vlastnosti jako běžně používané oceli stejného složení. Cílem práce bylo dokázat, že již zmíněné technologie jsou vhodné i pro výrobu pohyblivých součástí sestavených do většího celku. Metodami Reverzního Inženýrství byl hotový výrobek vymodelován v programu Autodesk Inventor, díly byly jednotlivými vazbami poskládány do sestavy a všechna data uložena ve formátu *.stl. Program Autodesk Inventor je parametrický adaptivní 3D modelář umožňující promítání 2D náčrtů do trojdimenzionálního prostoru.

Party nevhodné vyrábět metodami postupného nanášení vrstev budou do sestavy dodány již hotové. Jedná se o ložiska, válcové hřídele, šrouby a matice, po ekonomické a technologické stránce je vhodnější zvolit výrobu jinými metodami nebo je koupit. V programu CatalystEX byly jednotlivé party načteny a opraveny chyby vzniklé převodem dat. Oprava chyb na odlitku obalu převodové skříně vyžadovala použití výkonného hardwaru, na zbytek součástí stačil běžný přenosný PC. Všechny součásti sestavy byly vyrobeny v 3D tiskárně u-Print. Výrobní časy jsou několikanásobně kratší než dosud používané metody ve strojírenství. Postprocesingovými postupy bylo dosaženo finálního tvaru jednotlivých partů a následného sestavení. Jednotlivé díly jsou zbaveny podpůrného materiálu, povrch je naleptán pro zvýšení jeho jakosti. Závity jsou vyrobeny závitoreznými nástroji, drážkování ozubených kol a hřídelů je upraveno tak aby zajistilo správnou funkci prvků.

Bakalářská práce prokázala možnost využití technologií RP pro výrobu funkčních součástí. Při použití vhodných výrobních metod mohou být modely vystaveny reálnému prostředí. Vyrobené modely mohou být testovány na výdrž a mechanicky zatěžovány. Tyto výhody ušetří výrobci nemalé finanční prostředky, které by bylo potřeba vynaložit na možné odstraňování vad produktů. V budoucnu by masové rozšíření metod RP snížilo pořizovací ceny výrobních zařízení, základního materiálu a potřebného vybavení. Některé kusové výrobky by bylo možné vyrábět již zmíněnými technologiemi za přijatelnou cenu.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ (LITERATURY)

1. NAVRÁTIL, Robert. *Co znamená Rapid Prototyping* [on-line]. Vydáno: leden 2000, [cit. 2011-3-10]. Dostupné z: <<http://robo.hyperlink.cz/rapid/main01.html>>
2. MIROSLAV PÍŠKA A KOLEKTIV: Speciální technologie obrábění, Aditivní technologie, reverzní inženýrství, 1. vyd, 2009. Brno: VUT, 2009. s.246, ISBN 978-80-214-4025-8.
3. PRŮMYSLOVÉ SPEKTRUM [online]. 2004. Praha: Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta strojní, 2004-12-5 [cit. 2011-05-28]. *Reverzní inženýrství, digitalizace a výroba forem*. Dostupné z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/reverzni-inzenyrstvi-digitalizace-a-vyroba-forem>>.
4. *AUTOMOBILOVÝ PRŮMYSL* [online]. 1999 [cit. 2011-3-15]. Handyscan 3D. Dostupné z WWW: <<http://www.handyscan.cz/pouziti/automobilovy-prumysl.html>>.
5. PŘEHLED METOD 3D SNÍMÁNÍ POVRCHU [online]. 2009 [cit. 2011-3-16]. Měření topografie povrchu interferometrickými metodami . Dostupné z WWW: <http://dokumenty.uk.fme.vutbr.cz/vyuka/Bezkontaktni_3d_mereni_povrchu.pdf>.
6. JAN, Zdeněk; ŽDÁNSKÝ, Bronislav. *Automobily 2 : Převody*. Vyd. 2. Brno : Avid s.r.o, 2001. 129 s. Č.j. 16 915/2001.
7. MOTEJL, Vladimír; HOREJŠ, Karel. *Učebnice pro řidiče a opraváře automobilů*. Brno : Littera , 2001. 599 s. ISBN 80-85763-14-1.
8. MIROSLAV PÍŠKA A KOLEKTIV: Speciální technologie obrábění, Ozubená kola a ozubené převody, 1. vyd, 2009. Brno: VUT, 2009. s.246, ISBN 978-80-214-4025-8.
9. *PŘEVOD ŠNEKOVÝMI OZUBENÝMI KOLY* [online]. 2001 [cit. 2011-3-20]. Tvarové kontaktní převody. Dostupné z WWW: <http://www.spszr.cz/~blazicek/STR_podklady/Tvarove_kontaktni_prevody_ostatni_real.htm>.
10. OZUBENÉ KOLO. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 2009-9-27, last modified on 2011-2-23 [cit. 2011-3-29]. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Ozubené_kolo>.
11. *PŘEVODOVÁ ÚSTROJÍ III* [online]. 2004-6-24 [cit. 2011-4-2]. Škoda techweb. Dostupné z WWW: <<http://skoda.panda.cz/clanek.php3?id=437>>.
12. *PRODUKTY AUTODESK INVENTOR* [online]. 2001 [cit. 2011-4-10]. Autodesk. Dostupné z WWW:

- < [http://www.autodesk.cz/adsk/servlet/pc/index?siteID= 551663&id=14579603](http://www.autodesk.cz/adsk/servlet/pc/index?siteID=551663&id=14579603) >.
13. JAK SE RODÍ AUTOMOBIL [online]. 2005 [cit. 2011-4-12]. Design Tech. Dostupné z WWW: <<http://www.designtech.cz/c/plm/jak-se-rodí-automobil.htm>>.
 14. SVOBODA, Pavel; BRANDEJS, Jan; PROKEŠ, František. *Výběry z norem : Pro konstrukční cvičení*. Vydání druhé. Brno : CERM, 2007. 223 s. ISBN 978-80-7204-534-1.
 15. VÁVRA, Pavel. *Strojnické tabulky : Pro SPŠ strojírenské*. Praha : SNTL - Nakladatelství Technické Literatury, 1983. 671 s. Č.j. 13 284/81-221.
 16. ARPTECH. *SLA services from arptech* [on-line]. Vydáno: 2004, [cit. 2011-4-18]. Dostupné z WWW: <<http://www.arptech.com.au/services/slasrv.htm>>.
 17. CUSTOMPART.COM. *Stereolithography* [on-line]. Vydáno: 2009, [cit. 2010-4-29]. Dostupné z WWW: <<http://www.custompartnet.com/wu/stereolithography>>.
 18. NAVRÁTIL, Robert. *Rapid prototyping* [on-line]. Vydáno: leden 2000, [cit. 2010-5-1]. Dostupné z WWW: <<http://robo.hyperlink.cz/rapid/main08.html>>.
 19. *Solid Ground Curing* [online]. 2009 [cit. 2011-4-19]. Stereolithography.com. Dostupné z WWW: <<http://knowledge.stereolithography.com/activekb/questions/12/Solid+Ground+Curing>>.
 20. ROBERT, Navrátil. *Selective Laser Sintering* [online]. Leden 2000 [cit. 2011-4-21]. Robo.hyperlink. Dostupné z WWW: <<http://robo.hyperlink.cz/rapid/main06.html>>.
 21. *Selective Laser Sintering* [online]. 2009 [cit. 2011-4-29]. Custompart.net. Dostupné z WWW: <<http://www.custompartnet.com/wu/selective-laser-sintering>>.
 22. DMLS. Direct Metal Laser Sintering [on-line]. Vydáno: 2007, [cit. 2011-4-30]. Dostupné z WWW: <<http://www.dmls.cz/>>.
 23. CUSTOMPARTNER.COM. *Laminated Object Manufacturing (LOM)* [on-line]. Vydáno: 2009, [cit. 2011-5-1]. Dostupné z WWW: <<http://www.custompartnet.com/wu/laminated-object-manufacturing>>.
 24. NAVRÁTIL, Robert. *Multi JET Modelling* [online]. Leden 2000 [cit. 2011-5-1]. Robo.hyperlink. Dostupné z WWW: <<http://robo.hyperlink.cz/rapid/main11.html>>.

25. CUSTOMPART.NET. *Fused Deposition Modeling(FDM)* [on-line]. Vydáno: 2009, [cit. 2011-5-3]. Dostupné z WWW: <<http://www.custompartnet.com/wu/fuseddeposition-modeling>>.
26. NAVRÁTIL, Robert. *Multi JET Modelling* [online]. 2009 [cit. 2011-4-5]. Robo.hyperlink. Dostupné z WWW: <<http://robo.hyperlink.cz/rapid/main11.html>>.
27. *Multi JET Modelling* [online]. 2009 [cit. 2011-4-10]. Turkcadcam. Dostupné z WWW: <<http://www.turkcadcam.net/rapor/autofab/tech-deposition-spraying.html>>.

SEZNAM POUŽÍVANÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ:

Symbol	Jednotka	Význam
2D	[-]	Dvoudimenzionální prostor
3D	[-]	Trojdimenzionální prostor
ABS	[-]	Akrylonitril butadien styren
CAX	[-]	Computer Aided technologie
ČSN	[-]	Československá technická norma
DMLS	[-]	Direct Metal laser Sintering
FDM	[-]	Fused Deposition Modeling
i	[-]	Převodový poměr
LOM	[-]	Laminated Object Manufacturing
Mikrometr	[μm]	$1 \mu\text{m} = 10^{-6}\text{m}$
Milimetr	[mm]	$1\text{mm} = 10^{-3}\text{m}$
Milimetr čtvereční	[mm^2]	Šířka x délka
Milimetr krychlový	[mm^3]	Šířka x délka x výška
MJM	[-]	Multi Jet Modeling
PC	[-]	Osobní počítač
RI	[-]	Reverzní Inženýrství
RP	[-]	Rapid Prototyping
SGC	[-]	Solid Ground Cutting
SLA	[-]	Stereolitografie
SLS	[-]	Selective Laser Sintring
STL	[-]	Formát dat trojúhelníkové sítě
z_1	[-]	Počet zubů hnacího kola
z_2	[-]	Počet zubů hnaného kola

SEZNAM PŘÍLOH:

Příloha 1

Tabulka s přehledem technologií RP