



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

APLIKACE MODERNÍCH TECHNOLOGIÍ PRO NÁVRH VÝROBY KOTOUČOVÉ SPOJKY

APPLICATION OF MODERN TECHNOLOGIES FOR A DESIGN OF DISC COUPLING PRODUCTION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Alžbeta Varhaníková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Josef Sedlák, Ph.D.

BRNO 2020

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Studentka:	Alžbeta Varhaníková
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Základy strojírenského inženýrství
Vedoucí práce:	doc. Ing. Josef Sedlák, Ph.D.
Akademický rok:	2019/20

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:

Aplikace moderních technologií pro návrh výroby kotoučové spojky

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce se bude zabývat aplikací moderních metod pro návrh výroby kotoučové spojky. Teoretická část bude zaměřena na rešerši v oblasti spojek a na charakteristiku kotoučové spojky. Součástí práce bude charakteristika aditivní technologie Rapid Prototyping a rozbor materiálů určených pro 3D tisk. Experimentální část se bude zabývat výpočtovým a konstrukčním návrhem modelu spojky, výrobou jednotlivých dílů na 3D tiskárně s využitím metody Fused Deposition Modeling a jejich výslednou montáží, včetně nezbytného postprocessingu. Model kotoučové spojky bude sloužit jako učební pomůcka pro studenty SOŠ.

Cíle bakalářské práce:

- Teoretická část – rešerše v oblasti spojek, charakteristika kotoučové spojky.
- Charakteristika aditivní technologie Rapid Prototyping a rozbor aplikovaného materiálu pro 3D tisk.
- Experimentální část – výpočtový a konstrukční návrh, výroba a montáž kotoučové spojky.
- Výkresová dokumentace – výkres sestavy, výkres hnacího kotouče.

Seznam doporučené literatury:

PÍŠKA, M. a kolektiv. Speciální technologie obrábění. CERM 1.vyd. 246s. 2009. ISBN 978-80-2-4-4025-8.

SEDLÁK, J., PÍŠA, Z. Rapid Prototyping master modelů pomocí CAD/CAM systémů. In Mezinárodní vědecká konference 2005. Ostrava: VŠB TU Ostrava, Fakulta strojní, 07.09.2005-09.09.2005. 30 s. ISBN: 80-248-0895-1.

VLÁČILOVÁ, H., VILÍMKOVÁ, M., HENCL, L. Základy práce v CAD systému SolidWorks. 1. vyd. Brno: Computer Press, a.s., 2006. 319 s. ISBN 80-251-1314-0.

CHUA, C. K., LEONG, K. F., LIM, C. S. Rapid Prototyping: Principles and Applications. 3rd ed. New Jersey: World Scientific, c2010, 512 pp. ISBN 978-981-277-897-0.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

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

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

ABSTRAKT

Bakalárska práca sa zaoberá návrhom kotúčovej spojky a jej následnou realizáciou pomocou technológie 3D tlače. Model kotúčovej spojky a daná práca má slúžiť ako učebná pomôcka pre žiakov stredných odborných škôl. Teoretická časť práce obsahuje rešerš hriadeľových spojok s podrobným popisom kotúčovej spojky, charakteristiku jednotlivých metód technológie Rapid Prototyping a materiály vhodné pre 3D tlač. V praktickej časti je popísaný výpočtový aj konštrukčný návrh a výroba kotúčovej spojky pomocou metódy Fused Deposition Modeling. Súčasťou práce je taktiež popis povýrobného opracovania a montáž. K práci je priložený zostavný výkres a výrobný výkres hnacieho kotúča.

Kľúčové slová

kotúčová spojka, Rapid Prototyping, hriadeľové spojky, Fused Deposition Modeling, 3D tlač, učebná pomôcka

ABSTRACT

The bachelor thesis deals with the design of disc coupling and its production by using 3D printing technology. Model of disc coupling and this thesis are supposed to serve as teaching equipment for students at Secondary vocational schools. The theory section contains the essay of shaft couplings with a detailed description of disc coupling, characteristic of individual methods of Rapid Prototyping technology and materials suitable for 3D printing. The experimental section is dedicated to the calculation and construction design of disc coupling and its production using the Fused Deposition Modeling method. The thesis also contains a description of post-production processing and assembly. The attachments of the thesis consist of assembly mechanical drawing and production mechanical drawing of drive disc.

Key words

disc coupling, Rapid Prototyping, shaft couplings, Fused Deposition Modeling, 3D printing, teaching equipment

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

VARHANÍKOVÁ, Alžbeta. *Aplikace moderních technologií pro návrh výroby kotoučové spojky* [online]. Brno, 2020 [cit. 2020-06-25]. Dostupné z:

<https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/124926>. Bakalárska práca. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Josef Sedlák.

ČESTNÉ PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že som bakalársku prácu na tému **Aplikace moderních technologií pro návrh výroby kotoučové spojky** vypracovala samostatne s použitím odbornej literatúry a prameňov, uvedených v zozname, ktorý tvorí prílohu tejto práce.

25.06.2020

Dátum

Alžbeta Varhaníková

POĎAKOVANIE

Chcela by som sa poďakovať doc. Ing. Josefu Sedlákov, Ph.D. za cenné pripomienky a rady pri vypracovaní bakalárskej práce, a taktiež za pomoc pri realizovaní praktickej časti práce.

Ďalej by som sa chcela poďakovať svojej rodine a blízkym za podporu počas celej doby štúdia.

OBSAH

ABSTRAKT	3
BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA	3
ČESTNÉ PREHLÁSENIE	4
POĎAKOVANIE	5
OBSAH.....	6
ÚVOD.....	8
TEORETICKÁ ČASŤ	9
1 HRIADEĽOVÉ SPOJKY	10
1.1 Rozdelenie hriadeľových spojok	11
1.1.1 Mechanické neovládané spojky	12
1.1.2 Mechanické ovládané spojky	15
1.1.3 Hydraulické spojky	18
1.1.4 Elektromagnetické spojky.....	18
2 ADITÍVNA TECHNOLOGIA RAPID PROTOTYPING	20
2.1 Dáta pre tvorbu modelu	20
2.2 Metódy Rapid Prototyping.....	21
2.3 Materiály pre 3D tlač	26
EXPERIMENTÁLNA ČASŤ	29
3 VÝPOČTOVÝ NÁVRH KOTÚČOVEJ SPOJKY	30
3.1 Rozmerový návrh kotúčovej spojky	30
3.1.1 Voľba hnaného stroja.....	30
3.1.2 Voľba elektromotora.....	31
3.2 Pevnostná kontrola valcového konca hriadeľa na krut	34
3.3 Pevnostná kontrola perového spoja na strih a otláčenie	34
3.4 Pevnostný návrh skrutkových spojov	36
3.4.1 Trecí skrutkový spoj	36
3.4.2 Skrutkový spoj s lícovanými skrutkami.....	38
4 KONŠTRUKČNÝ NÁVRH KOTÚČOVEJ SPOJKY.....	40
5 REALIZÁCIA KOTÚČOVEJ SPOJKY	42
5.1 Pre-processing.....	42
5.2 Processing	44
5.3 Post-processing	45
5.4 Montáž	47
ZÁVER.....	48

ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV	49
ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK.....	52
ZOZNAM PRÍLOH.....	55

ÚVOD

Vyučovanie odborných predmetov sa nezaobíde bez názorných ukážok či už v odborných učebniciach alebo v triede s použitím učebných pomôcok. Učebné pomôcky sú také vyučovacie prostriedky, ktoré napomáhajú študentom lepšie porozumieť preberanej tematike. Študenti si rýchlejšie osvoja nové poznatky, a tým sa zefektívňuje celý vyučovací proces. Základom učebnej pomôcky je názorné prevedenie danej problematiky, ktoré pomáha vytvoriť jasné a ucelené predstavy.

Cieľom tejto práce je navrhnúť kotúčovú spojku ako učebnú pomôcku pre študentov stredných odborných škôl. Tí sa v druhom ročníku štúdia v predmete Strojárska konštrukcia zoznamujú s charakteristikou a funkciou jednotlivých hriadeľových spojok. Následne na hodinách daného predmetu riešia konštrukčnú úlohu celkového návrhu kotúčovej spojky. Tá zahŕňa pevnostný návrh spojky a jej úplnú výkresovú dokumentáciu.

Teoretická časť práce obsahuje rešerš hriadeľových spojok so zameraním na detailný popis kotúčovej spojky. Ďalej popisuje aditívnu technológiu Rapid Prototyping a jej jednotlivé metódy. Obsahuje detailný princíp metódy Fused Deposition Modeling a vlastnosti materiálov, ktoré táto metóda využíva.

Experimentálna časť rieši výpočtový a konštrukčný návrh kotúčovej spojky na konkrétnom príklade z praxe. Jedná sa o pevnostný návrh spojky pre trecí skrutkový spoj a spoj s lícovanými skrutkami. Konštrukčný návrh je zhotovený pre spojku so skrutkovým spojom s lícovanými skrutkami. Virtuálny model kotúčov spojky je vytvorený v parametrickom programe Autodesk Inventor 2020.

Realizácia modelu prebieha pomocou modernej aditívnej technológie Rapid Prototyping, konkrétne pomocou metódy Fused Deposition Modeling. Jedná sa o postupné nanášanie materiálu v jednotlivých tenkých vrstvách na tlačovú podložku až do vyhotovenia celého modelu. V tomto prípade je stavebným materiálom Akrylonitril Butadién Styren (ABS plus). Povýrobné opracovanie je uskutočnené len u jedného kotúča spojky pre názorné zobrazenie rozdielnosti kvality povrchov.

Výsledkom tejto práce je model kotúčovej spojky v trojštvrťinovom reze, zostavný výkres a výrobný výkres hnacieho kotúča spojky. Spolu s pevnostným návrhom je vytvorená komplexná učebná pomôcka.

TEORETICKÁ ČASŤ

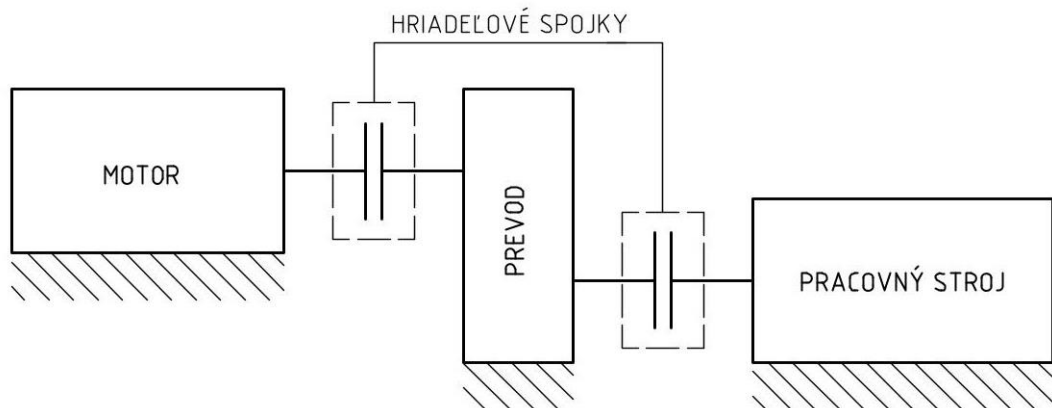
Teoretická časť práce zaoberajúca sa rešeršou hriadeľových spojok a následne aj technológiou výroby zahŕňa:

- základný popis hriadeľovej spojky a jej častí,
- základné rozdelenie hriadeľových spojok do skupín a podskupín,
- charakteristiku a princíp fungovania spojky v každej skupine/podskupine,
- detailný popis kotúčovej spojky,
- charakteristiku aditívnej technológie Rapid Prototyping (RP),
- popis tvorby dát pre technológiu RP,
- prehľad jednotlivých metód RP s detailným zameraním na metódu Fused Deposition Modeling (FDM),
- vlastnosti jednotlivých materiálov vhodných pre 3D tlač.

1 HRIADEĽOVÉ SPOJKY

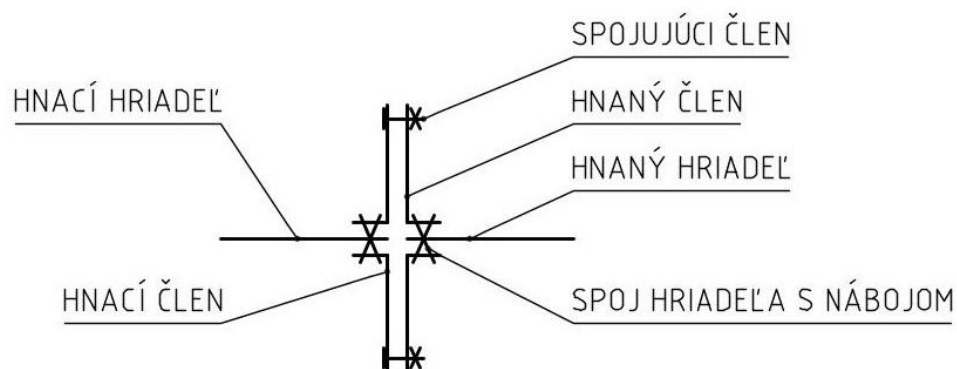
Hriadeľové spojky sú strojné súčasti používajúce sa na prenos krútiaceho momentu a otáčavého pohybu z hnacieho stroja na hnaný alebo medzi jednotlivými časťami mechanizmu (pozri obr. 1.1). Toto spojenie prenáša krútiaci moment bez zmeny zmyslu otáčania a otáčok. Hriadeľové spojky musia spĺňať aj ďalšie podstatné funkcie ako [1 – 5]:

- kompenzovať odchýlky vzájomnej polohy spájaných hriadeľov, montážne nepresnosti a tepelnú rozťažnosť spájaných mechanizmov,
- umožniť obmedzenie prenášaného krútiaceho momentu, a tým ochrániť hnaný stroj pred preťažením a poškodením,
- tlmiť torzné kmity a rázy hriadeľov, ktoré vznikajú v hnacom stroji,
- umožniť plynulý rozbeh mechanizmu,
- zaistiť uľahčenie montáže alebo demontáže celku po častiach.



Obr. 1.1 Hriadeľové spojky v mechanizmoch [4].

Spojka sa skladá z troch hlavných častí: hnacieho, hnaného a spojovacieho člena (pozri obr. 1.2). Hnací člen zabezpečuje spojenie s hnacím hriadeľom a hnaný člen zase s hnaným hriadeľom. Spojovací člen je tvorený inými strojnými súčastami (skrutkami, pružinami) alebo inými látkami (kvapalinou), ktoré spájajú hnací a hnaný člen spojky s využitím vhodných fyzikálnych vlastností. U mechanicky ovládaných spojok sa vyskytuje aj ovládacie zariadenie [1, 3, 6].



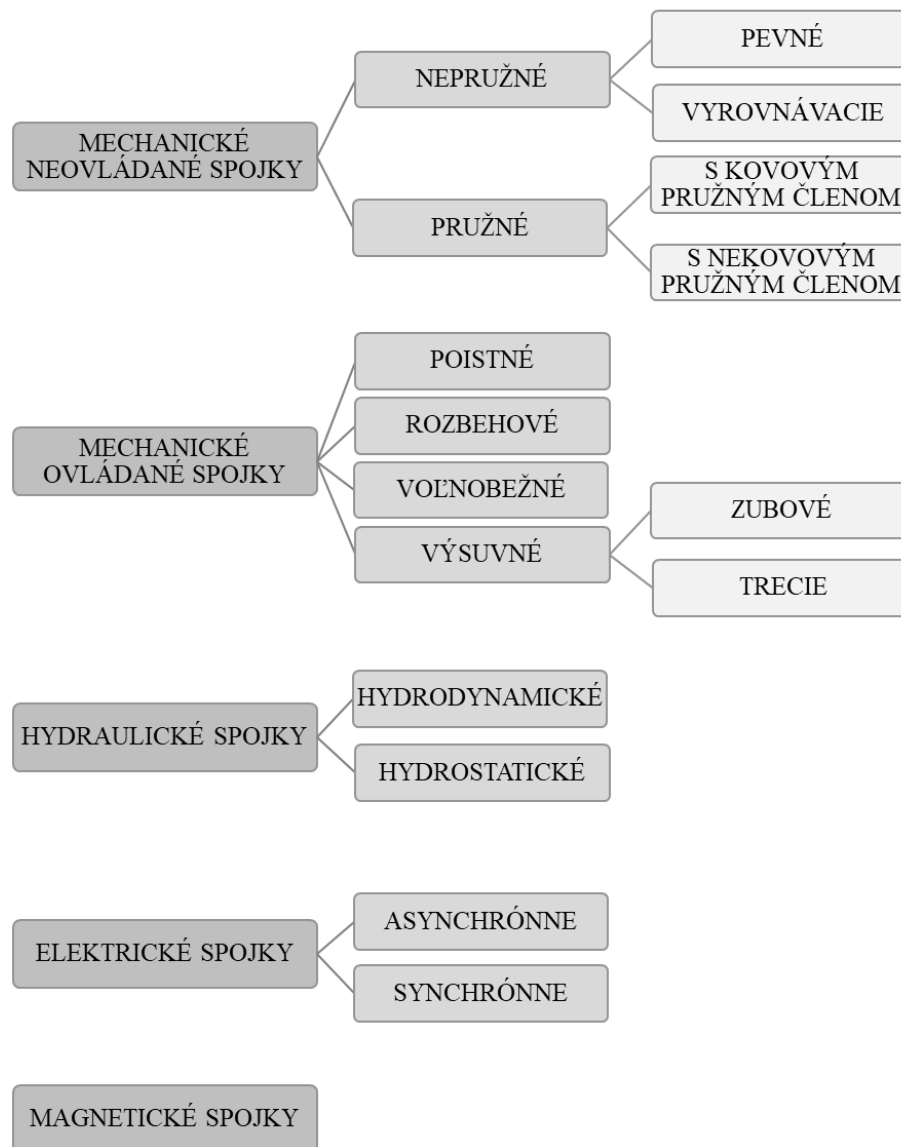
Obr. 1.2 Základná schéma spojky [6].

Spojky môžu prenášať krútiaci moment pomocou [6, 7]:

- tvarového styku, kedy sa styčné plochy hnacieho, hnaného a spojujúceho člena dotýkajú bez vzájomného pohybu,
- silového styku, kedy na styčných plochách hnacieho a hnaného člena pôsobí trecia sila,
- hydrostatickou, hydrodynamickou alebo elektromagnetickou silou.

1.1 Rozdelenie hriadeľových spojok

Spojky je možné rozdeliť do skupín podľa viacerých kritérií. Uvedené rozdelenie (pozri obr. 1.3) vychádza z normy ČSN 02 6400, ktorá rozdeľuje spojky podľa spôsobu prenosu krútiaceho momentu do piatich skupín [2, 3].



Obr. 1.3 Rozdelenie spojok [2, 3].

1.1.1 Mechanické neovládané spojky

Jedná sa o spojky, ktoré neumožňujú rozpojenie hriadeľov za prevádzky. Podľa konštrukčného prevedenia sa delia na nepružné a pružné. Tieto spojky sú katalógovo vyrábané a konštrukčne navrhnuté tak, aby spĺňali viacero kritérií, ako sú požiadavky na funkciu, hospodárnosť výroby, bezpečnosť prevádzky a jednoduchú montáž i demontáž [5, 6].

1) NEPRUŽNÉ SPOJKY

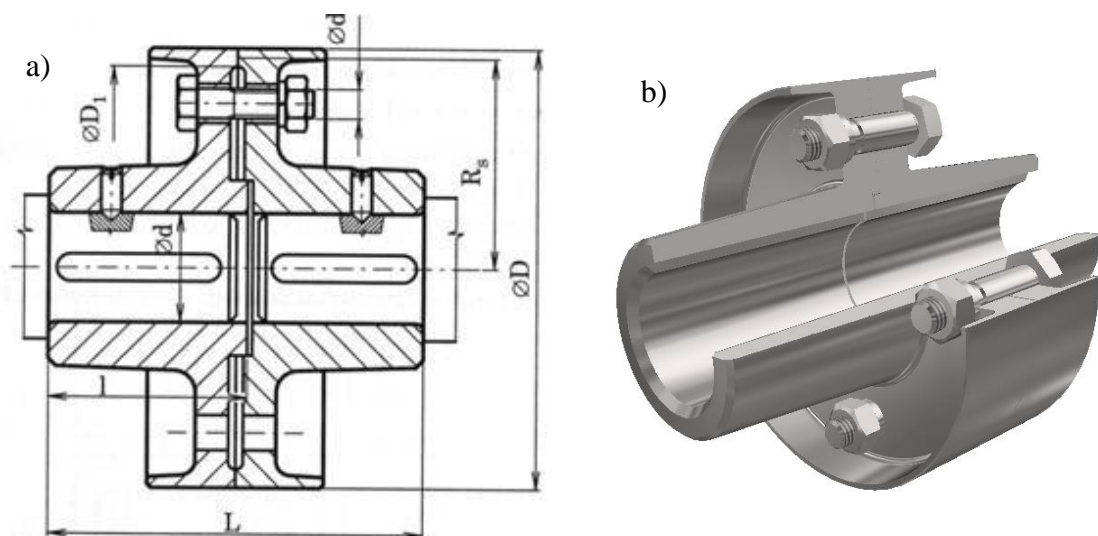
Nepružné spojky nezabezpečujú tlmenie rázov pri rozbehu a v prevádzke, preto sú vhodné na prenos menších i väčších krútiacich momentov bez rázov [6].

a) PEVNÉ SPOJKY

Pevné spojky zaisťujú trvalé pevné spojenie hriadeľov, pričom je znemožnený ich relatívny pohyb. Spojované hriadele musia byť súosové, pretože akékoľvek odchýlky spôsobia pri prevádzke pomerne veľké doplnkové namáhanie. Krútiaci moment je z jedného hriadeľa na druhý prenášaný bez tlmenia rázov. Ak sú spojky umiestnené v tesnej blízkosti ložísk, môžu prenášať aj určité ohybové momenty. Majú jednoduchú konštrukciu, nevyžadujú údržbu a náklady na prevádzku sú nulové. Z dôvodu náročnej montáže sú vhodné na spájanie takých hriadeľov, kde sa ich demontáž požaduje zriedka. Patrí sem rúrková, korýtková, prírubová, kotúčová a čelná zubová (Hirthova) spojka [2, 3, 7].

- KOTÚČOVÁ SPOJKA

Patrí k najpoužívanejším nepružným, pevným spojкам. Spoľahlivo prenáša veľké krútiace momenty a je konštrukčne i výrobné jednoduchá. Skladá sa z hnacieho a hnaného kotúča, ktoré sú pevne spojené skrutkovými spojmi (pozri obr. 1.4). Počet skrutiek závisí od veľkosti priemeru hriadeľa a obvykle sa volí v rozpätí 4 až 10. Kotúče sú na seba vzájomne centrované a najčastejšie sa vyrábajú zo sivej liatiny alebo z liatiny na odliatky. Spojenie s hriadeľom je realizované buď rozoberateľným spojom (perový spoj) alebo napevno (kliny, nalisovanie) [1, 3, 5].



Obr. 1.4 Pevná kotúčová spojka: a) schéma [2] b) model.

Konštantný krútiaci moment je prenášaný pomocou silového styku, t. j. trecou silou medzi oboma kotúčmi spojky a skrutky sú namáhané na ťah. Nárazový krútiaci moment sa prenáša tvarovým stykom. Z tohto dôvodu sú skrutky do kotúčov presne lícované alebo sa používajú kuželové kolíky. Spojovacie súčasti sú tentokrát namáhané na strih a otláčenie [1, 3 – 5].

Používajú sa na spájanie súosových hriadeľov a taktiež hriadeľov s rozdielnymi veľkosťami priemerov [1, 3].

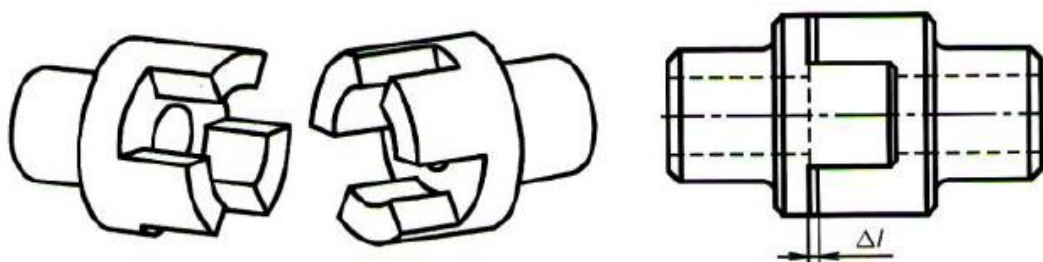
b) VYROVNÁVACIE SPOJKY

Vyrovnávacie spojky umožňujú pri nepružnom prenose krútiaceho momentu odchýlky osí spájaných súčastí v axiálnom, radiálnom alebo uhlovom smere (pozri obr. 1.5). Vyrovnávajú dilatácie hriadeľov v smere osi, ktoré vznikli tepelnou rozťažnosťou alebo montážnou nepresnosťou. Sú vhodné pre prenos menších krútiacich momentov a v prevádzke obvykle vyžadujú mazanie. Do tejto skupiny patrí zubová dilatačná, krížová (Oldhamova), kĺbová, krížová kĺbová, zubová výkyvná a reťazová dilatačná spojka [1, 2, 4].



Obr. 1.5 Osový posuv a montážne nepresnosti [6].

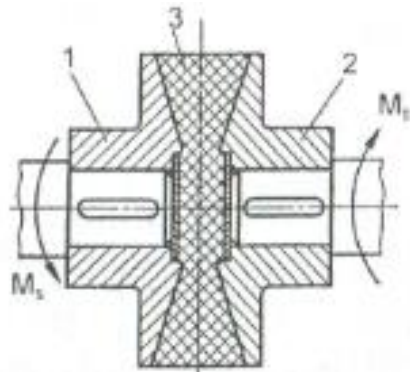
Na obr. 1.6 je zobrazená dilatačná zubová spojka, ktorá umožňuje malý pohyb hriadeľov v smere osi ako kompenzáciu tepelnej rozťažnosti. Spojka má na čele kotúčov tri zuby, ktoré do seba zapadajú. Súosovosť hriadeľov zabezpečuje buď presah konca jedného hriadeľa do diery v náboji druhého kotúča alebo centrovací krúžok vložený medzi oba kotúče [1, 5].



Obr. 1.6 Dilatačná zubová spojka [1].

2) PRUŽNÉ SPOJKY

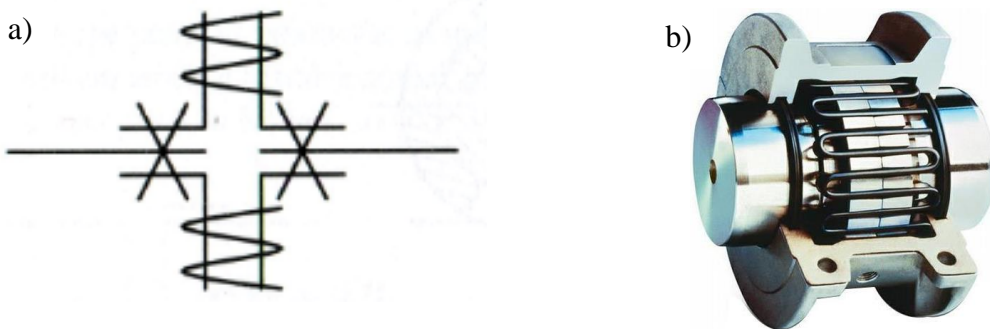
Pružné spojky tlmia rázy pri rozbehu a prevádzke pomocou pružných členov, preto sú vhodné na prenos kolísavého krútiaceho momentu. Umožňujú vyrovnávanie menších odchýlok vzájomnej polohy medzi spojovanými súčastami. Skladajú sa z hnacieho a hnaného člena, ktoré sú spájané jedným alebo viacerými pružnými členmi (pozri obr. 1.7). Pružné členy zaisťujú akumuláciu kinetickej energie a jej premenu na tepelnú energiu, čím dochádza k tlmeniu rázov. Spojujúce pružné členy môžu byť kovové alebo nekovové. Sú viac používané ako nepružné spojky a je zabezpečená ich jednoduchá montáž i demontáž. [3, 4, 6].



Obr. 1.7 Schéma pružnej spojky (1 – hnací člen, 2 – hnaný člen, 3 – pružný člen) [4].

a) PRUŽNÉ SPOJKY S KOVOVÝM PRUŽNÝM ČLENOM

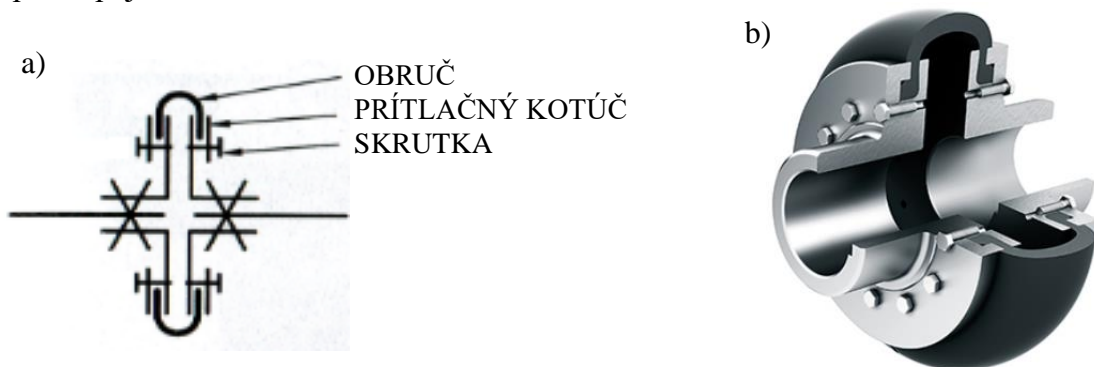
Pružný člen je tvorený oceľovými pružinami rôznych tvarov, ktoré slúžia ako deformačné členy. Jedná sa napríklad o ihlové, listové a valcové vinuté pružiny, oceľové puzdrá alebo membrány. Kovový pružný člen nie je obmedzený prevádzkovou teplotou. Patrí sem ihlová pružná spojka, pružná spojka s valcovými pružinami, pružná spojka s listovými pružinami, pružná spojka s hadovitou pružinou (Bibby) (pozri obr. 1.8) [4, 6].



Obr. 1.8 Pružná spojka s hadovitou pružinou (Bibby): a) schéma [6], b) model [8].

b) PRUŽNÉ SPOJKY S NEKOVOVÝM PRUŽNÝM ČLENOM

Pružný člen môže byť vyrobený z gumy, plastu alebo kože. Tieto materiály sú obmedzené ich prevádzkovou teplotou. Medzi najznámejšie a katalógovo vyrábané patria pružná spojka s pružnou gumovou obručou (Periflex) (pozri obr. 1.9) a pružná kotúčová čapová spojka [4, 6].



Obr. 1.9 Pružná spojka s pružnou gumovou obručou (Periflex): a) schéma [6], b) model [9].

1.1.2 Mechanické ovládané spojky

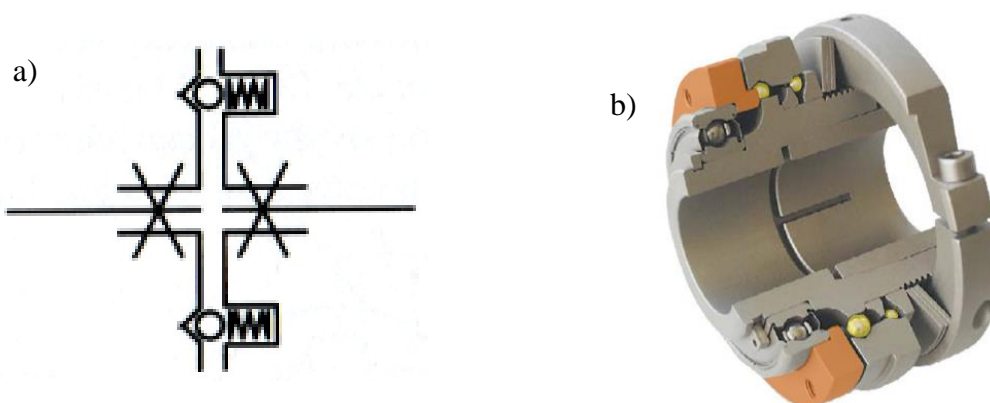
Jedná sa o spojky, ktoré umožňujú spojenie alebo rozpojenie hriadeľov za prevádzky i mimo nej. Spojky môžu byť ovládané mechanicky, hydraulicky, pneumaticky alebo elektromagneticky. Podľa funkcie sa rozdeľujú na poistné, rozbehové, voľnobežné a výsuvné [1, 6].

1) POISTNÉ SPOJKY

Umožňujú prenos krútiaceho momentu do určitej veľkosti. Pri prekročení dovoleného zaťaženia nastaveného na spojke rozpájajú hnací a hnaný hriadeľ. Tým zabráňujú preťaženiu mechanizmu, ktorý by mohol viesť k deformácii alebo až k porušeniu jednotlivých súčastí. Podľa princípu rozpojenia sa delia na spojky [4, 5, 7]:

- s porušením poistného spojovacieho člena (spojka so strižným kolíkom),
- bez porušenia poistného spojovacieho člena (poistné spojky zubové, guľkové a trecie).

Poistná guľková spojka (pozri obr. 1.10) funguje na princípe zatlačovania guľčiek, umiestnených v jednej polovici spojky, pomocou pružín do vybrání v druhej polovici spojky. Pri dosiahnutí dovoleného zaťaženia sú guľčičky vytlačené a preskočia do ďalšieho vybrania, čo spôsobuje hlučnosť spojky. Je vhodná na prenos malých a stredných krútiacich momentov a používa sa hlavne v pohonoch obrábacích strojov [4, 6, 7].



Obr. 1.10 Poistná guľková spojka: a) schéma [6], b) model [10].

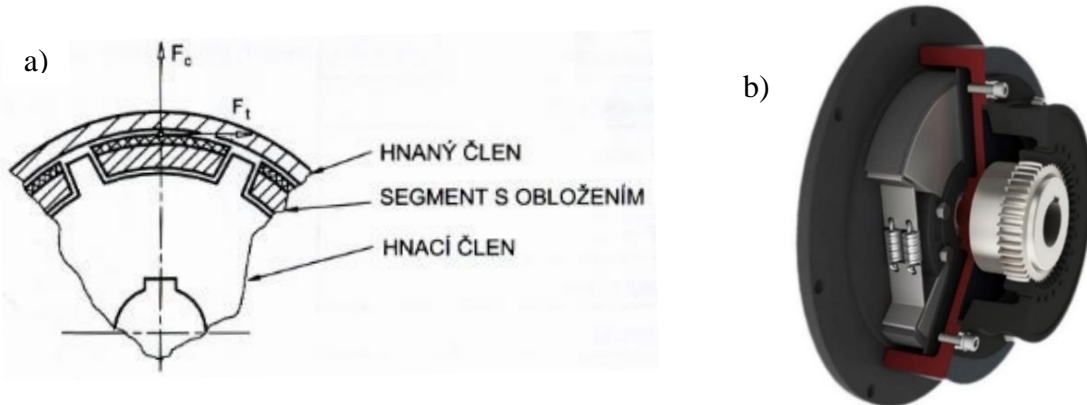
2) ROZBEHOVÉ SPOJKY

Jedná sa o spojky s automatickým zapínaním, ktoré pracujú na princípe odstredivej sily. Umožňujú rozbeh bez zaťaženia u hnacích strojov, u ktorých sa krútiaci moment mení v závislosti na otáčkach. Najskôr zaistí rozbeh motoru bez zaťaženia a až po dosiahnutí určitých otáčok zabezpečí plynulé spojenie a uvedie do pohybu hnanú časť mechanizmu (pozri obr. 1.11). Používajú sa pri asynchrónnych elektromotoroch s kotvou nakrátko a rozbehoch veľkých hmôt ako napríklad odstredivé čerpadlá a ventilátory. Splňajú aj funkciu poistnej spojky [1, 3 – 5].

Podľa princípu zapínania sa delia na [1, 2]:

- spojky s neriadeným záberom (prášková),
- spojky so záberom riadeným pružinami (segmentové),

- spojky s oneskoreným alebo programovaným záberom (hydrodynamické, indukčné).



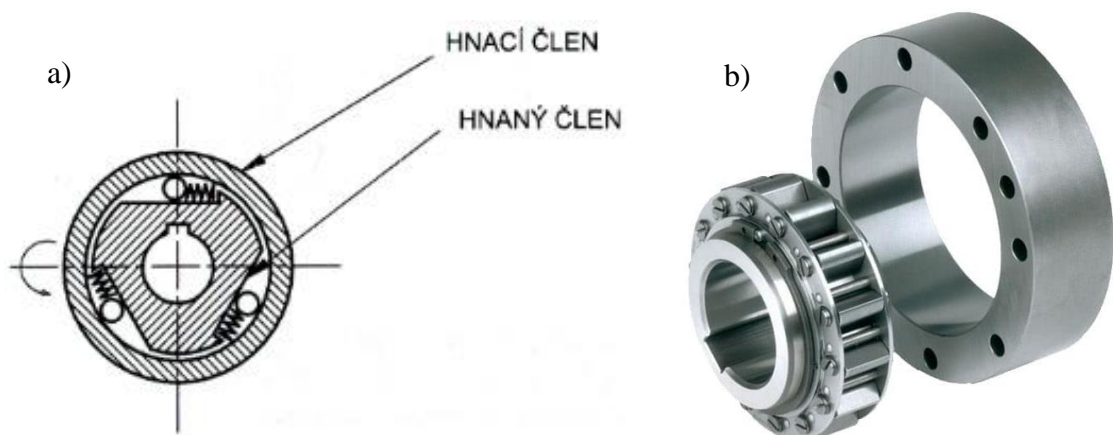
Obr. 1.11 Rozbehová spojka: a) schéma [6], b) model [11].

3) VOĽNOBEŽNÉ SPOJKY

Umožňujú prenos krútiaceho momentu medzi hnacou a hnanou časťou spojky len v jednom zmysle otáčania. Automaticky prerušia spojenie, ak hnaná časť predbieha hnaciu alebo pri opačnom zmysle otáčania. Používajú sa ako voľnobeh u obrábacích strojov alebo ako uzáveru spätného chodu u dopravníkov a zdvíhadiel. Podľa pôsobenia síl pri prenose krútiaceho momentu a konštrukčného hľadiska sa rozdeľujú na axiálne a radiálne voľnobežné spojky. Obe prenášajú zaťaženie silovým stykom [1, 3, 5, 6].

U axiálnych voľnobežných spojok je hnacia časť spojky tvorená skrutkou s posuvnou maticou (čelná alebo kužeľová trecia plocha). Na hnanej časti je druhá časť trecej plochy. Tieto plochy sú pomocou pohybovej skrutky navzájom dotlačované alebo odtlačované [2 – 4].

Radiálne voľnobežné spojky (pozri obr. 1.12) využívajú k spojeniu hnacieho a hnaného člena princíp samosvorných teliesok (guličky, valčeky). Tie sa pri prenose zaťaženia zaklinia do klinových medzier, pri opačnom otáčaní dôjde k ich uvoľneniu a moment sa prestane prenášať [2 – 4].



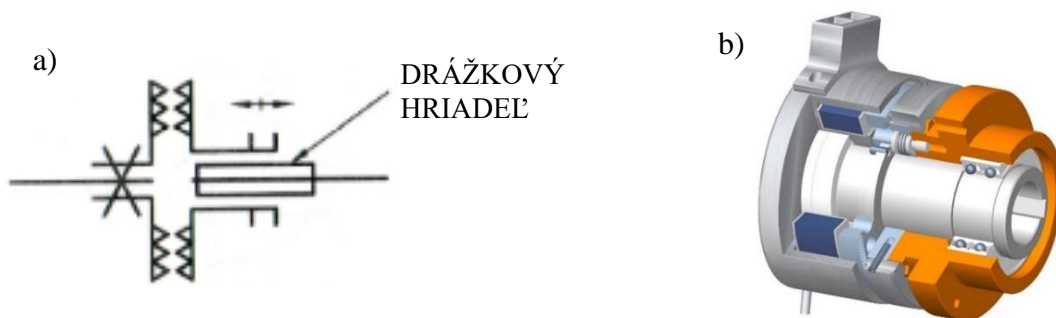
Obr. 1.12 Radiálna voľnobežná spojka: a) schéma [6], b) model [12].

4) VÝSUVNÉ SPOJKY

Umožňujú spojenie a rozpojenie hriadeľov za prevádzky aj v pokoji. Ovládacie zariadenie zaisťuje silu potrebnú na zopnutie a vypnutie. Ovládanie spojok môže byť mechanické, hydraulické, pneumatické alebo elektromagnetické. V osobných automobiloch sa používa lamelová trecia spojka, ktorá je mechanicky ovládaná pomocou pákového mechanizmu a lanka. Hydraulicky ovládané spojky využívajú tlak kvapaliny alebo ovládacej páky. Pneumaticky ovládané spojky fungujú pomocou priemyselne stlačeného vzduchu. Elektromagnetické riadenie je využívané hlavne v automatizovaných prevádzkach [3, 5, 6].

a) ZUBOVÉ SPOJKY

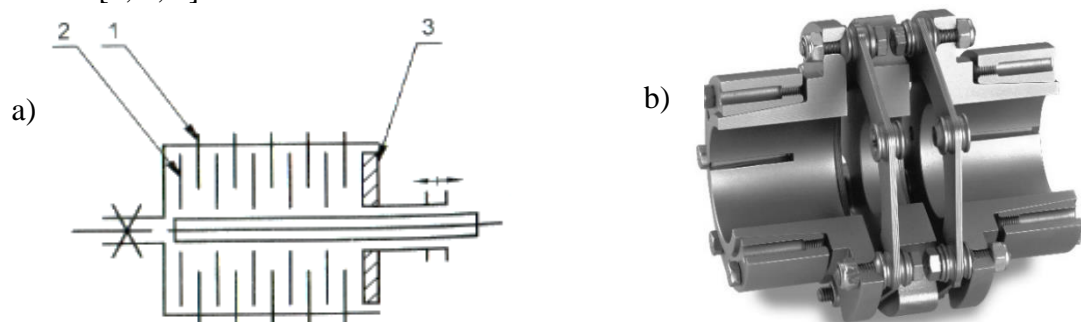
Krútiaci moment prenášajú tvarovým stykom, konkrétne ozubením na čelnej alebo valcovej ploche kotúča spojky, pričom zuby sú rôzne tvarované (pozri obr. 1.13). Spojku je možné zapnúť v pokoji alebo pri synchronných otáčkach. Spojenie je spoľahlivé, prenášajú malé i veľké zaťaženia a používajú sa v prevodovkách automobilov [1, 3, 6].



Obr. 1.13 Elektromagnetická zubová spojka: a) schéma [6], b) model [13].

b) TRECIE SPOJKY

Krútiaci moment prenášajú silovým stykom, t. j. trecími silami medzi činnými plochami spojky. Trecie plochy sú navzájom pritlačované a odtlačované (pozri obr. 1.14). Podľa tvaru trecích plôch sa rozdeľujú na kotúčové, lamelové, kuželové a valcové. Spojky sú zapínané a vypínané za prevádzky pomocou ovládacieho zariadenia. Umožňujú pozvoľný a plynulý rozbeh aj pri rozdielnych otáčkach spájaných hriadeľov. Sú však menej spoľahlivé ako zubové spojky, pretože pri preťaženi môžu trecie plochy preklzávať. Toto preklzávanie spôsobuje zahrievanie a opotrebenie trecích plôch. Používajú sa hlavne v motorových vozidlách [1, 5, 6].



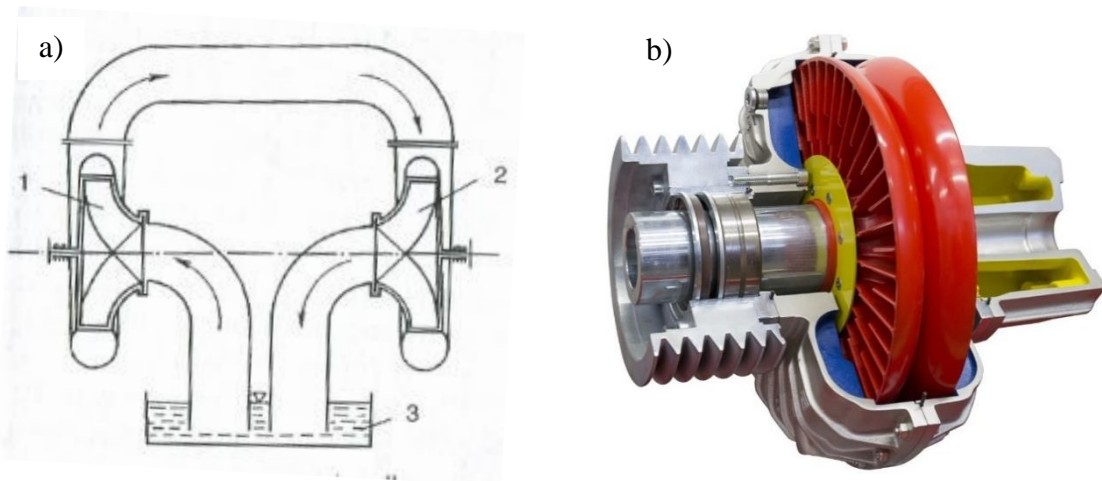
Obr. 1.14 Lamelová trecia spojka: a) schéma (1 – hnacie lamely, 2 – hnané lamely, 3 – pritlačný kotúč) [6], b) model [14].

1.1.3 Hydraulické spojky

Hydraulické spojky využívajú na prenos krútiaceho momentu sily vznikajúce pri rotácii kvapaliny. Na zmenu krútiaceho momentu reagujú pomocou zmeny sklzu, preto majú schopnosť tlmiť kmitania a rázy v prevádzke. Používajú sa v zariadeniach, pri ktorých je zavedená hydraulika [7].

1) HYDRODYNAMICKÉ SPOJKY

Na prenos krútiaceho momentu využívajú hydrodynamický účinok kvapaliny v čerpadlovom, lopatkovom a turbínovom kolese. Hnací stroj poháňa čerpadlové koleso, ktoré udelí kvapaline kinetickú energiu. Tú prijíma turbínové koleso a následne ju prenáša na hnaný stroj (pozri obr. 1.15). Prenos energie zabezpečuje obeh rotujúcej kvapaliny, ktorý je umožnený rozdielnymi tlakmi. Na základe rozdielných otáčok oboch kolies vzniká sklz, ktorý sa využíva k regulácii danej asynchrónnej spojky [1, 3, 7].



Obr. 1.15 Schéma hydrodynamickej spojky: a) schéma (1 – čerpadlové koleso, 2 – turbínové koleso, 3 – nádrž s kvapalinou) [1], b) model [15].

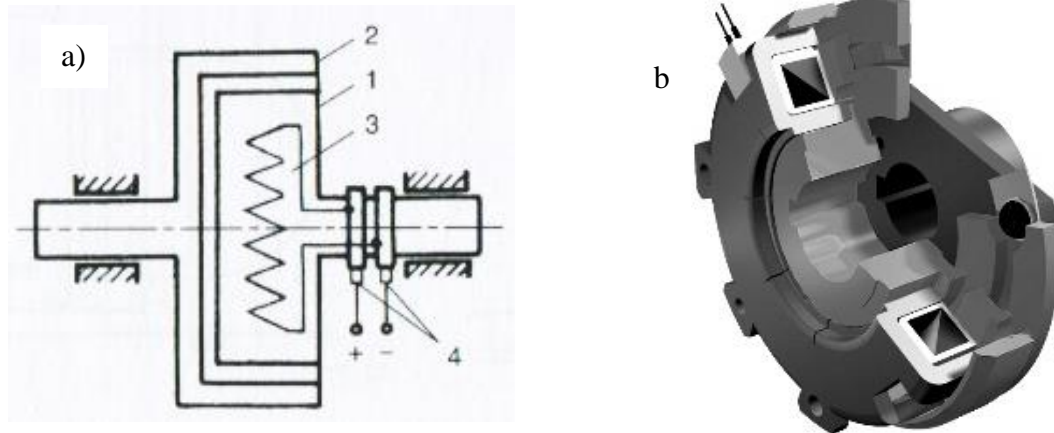
Ich výhodou je tlmenie rázov a torzného kmitania, jednoduché regulovanie otáčok a plynulý rozbeh hnaného stroja [1, 3].

2) HYDROSTATICKE SPOJKY

Využívajú vnútorné vetvenie výkonu, čo znamená, že časť výkonu je prenášaná hydraulicky a časť mechanicky. Hydraulický výkon sa v hydromotore mení na mechanický výkon, ktorý je prenášaný na hnaný stroj. Majú pomerne malé využitie, pretože majú menšiu účinnosť a sú obmedzené vlastnosťami danej kvapaliny [3].

1.1.4 Elektromagnetické spojky

Jedná sa o indukčné spojky, ktoré prenášajú krútiaci moment pomocou vzájomného pôsobenia magnetických polí hnacej a hnanej časti spojky, pričom nedochádza k ich vzájomnému kontaktu. Tým sa líšia od elektromagneticky ovládaných spojok. Spojka sa skladá z dvoch súosových rotačných telies, t. j. hnacej a poháňanej časti a neobsahuje žiadne spojovacie členy. Na spojke rozlišujeme štyri časti: magnetové koleso, ktoré obsahuje budiace vinutie, kotvu a prívod elektrického prúdu cez prívodné krúžky (pozri obr. 1.16) [1, 5].



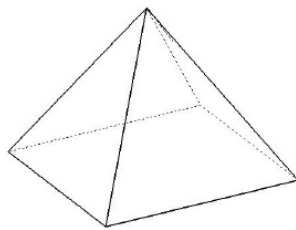
Obr. 1.16 Indukčná elektromagnetická spojka: a) schéma (1 – magnetové koleso, 2 – kotva, 3 – budiace vinutie, 4 – prívod elektrického prúdu) [1], b) model [16].

Magnetické pole vznikne v magnetovom kolese zapnutím budiaceho prúdu cez prívodné krúžky do budiaceho vinutia. Vzniknuté magnetické pole sa otáča synchronne s magnetovým kolesom. Z dôvodu rozdielnych otáčok magnetového kolesa a kotvy sa v kotve indukuje napätie a vzniká tak elektrický prúd. Vzájomným pôsobením magnetického poľa v magnetovom kolese a elektrického prúdu v kotve dochádza k vzniku krútiaceho momentu. Jeho veľkosť závisí od veľkosti budiaceho prúdu a rozdielu otáčok [1, 3, 5].

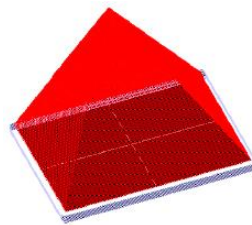
Používajú sa na prenášanie veľkých krútiacich momentov z dôvodu jednoduchého rozbehu zariadenia s veľkou zotrvačnou hmotnosťou a riadenia rýchlosti pomocou zmeny budiaceho prúdu. Výhodou je diaľkové ovládanie a programové riadenie prenášaného výkonu. Podľa konštrukcie kotvy sa dajú spojky rozdeliť na: indukčné asynchrónne a synchronné. U asynchrónnych spojok dochádza pri zaťažení ku sklzu, a tým aj k strate prenášaného výkonu. Avšak pomocou sklzu sú tlmené rázy a torzné kmitanie pri prevádzke [1, 3, 5].

2 ADITÍVNA TECHNOLOGIA RAPID PROTOTYPING

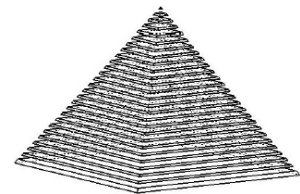
Rapid Prototyping (RP) je aditívna technológia, ktorá sa využíva pre rýchlu a presnú výrobu prototypov alebo hotových súčastí v rozličných oblastiach priemyslu. Je to technologický proces, ktorý dokáže previesť dáta digitálneho modelu z ľubovoľného CAD systému na fyzický model prototypu (pozri obr. 2.1). Základom pre vytvorenie 3D modelu je opakované nanášanie materiálu po tenkých vrstvách konštantnej hrúbky alebo spekanie prášku rôznych materiálov. Podľa použitej technológie RP môžu byť prototypy vyrobené z fotopolyméru, termoplastu, špeciálne upraveného papiera alebo kovového prášku. Vytvorené prototypy je možné následne testovať, a tým sa znižujú náklady a skracuje sa čas návrhu a vývoja nového výrobku. Výhodou tejto technológie je možnosť vyrobiť akokoľvek tvarovo zložitú súčasť, a podľa správne zvolenej metódy a materiálu aj pevnostne vyhovujúcu [17 – 19].



Tvar vyrobenej súčasti.



Tvary jednotlivých vrstiev vypočítaných softvérom.



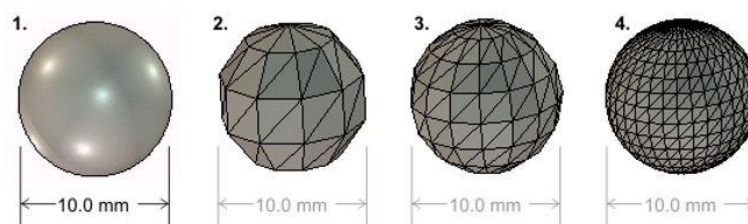
Proces tvorby súčasti, schéma.

Obr. 2.1 Obecný princíp technológie RP [17, 18].

2.1 Dáta pre tvorbu modelu

Zdrojom dát môže byť reálna súčasť, ktorá je naskenovaná pomocou 3D skeneru. Jedná sa o využitie technológie Reverse Engineering, ktorá digitalizuje reálny model na počítačové dáta. Naskenovaním súčasti vzniká mrak súradnicových bodov, ktoré sú prevedené na trojuholníkovú sieť polygónov. Po vyhladení polygónovej siete sú dáta uložené do vhodného formátu a pripravené na ďalšie spracovanie v CAD systéme [17].

Najčastejším zdrojom dát pre technológiu RP je virtuálny 3D model vytvorený v ľubovoľnom CAD systéme ako je Autodesk Inventor, Solid Works alebo CATIA a ďalšie. Všetky plochy tohto modelu musia byť uzatvorené. Následne je model exportovaný vo výmennom formáte dát, najčastejšie sa jedná o formát STL. V STL súbore sú plochy modelu popísané 3D sieťou tvorenou uzatvorenými trojuholníkmi. Tie sú definované pomocou súradníc pre každý vrchol trojuholníka a normálovým vektorom smerujúcim von z telesa. Hustota siete ovplyvňuje finálnu kvalitu povrchu súčasti (pozri obr. 2.2) [17, 20].



Obr. 2.2 STL formát (1 – model CAD systému, 2, 3, 4 – STL modely s rôznym nastavením kvality sieťovania) [21].

2.2 Metódy Rapid Prototyping

Medzi komerčné metódy RP patrí Stereolitografia (SLA/SL), Solid Ground Cutting (SGC), Selective Laser Sintering (SLS), Direct Metal Laser Sintering (DMLS), Laminated Object Manufacturing (LOM), Multi Jet Modeling (MJM) a Fused Deposition Modeling (FDM). Tieto metódy sa navzájom líšia použitým materiálom a princípom aditívnej technológie (pozri tab. 2.1). Podľa použitého stavebného materiálu sa rozdeľujú do troch hlavných skupín: metódy na báze fotopolymérov, práškových materiálov a tuhých materiálov [17, 19].

Tab. 2.1 Porovnanie základných metód RP [17, 22].

Skratka metódy RP	Stavebný materiál	Potreba podpornej štruktúry	Použitie lasera	Princíp stavby modelu
SLA, SL	tekuté materiály	nie	áno	selektívne vytvrdenie laserom po vrstvách
SGC	tekuté materiály	áno	áno	vytvrdenie celej vrstvy naraz špeciálnou UV lampou
SLS	práškové materiály	nie	áno	spekanie pevného prášku CO ₂ laserom
DMLS	práškové materiály	nie	áno	spekanie kovového prášku laserom
LOM	pevné materiály	nie	áno	laminácia rôznych fólií a rezanie laserom
MJM	pevné materiály	áno	nie	nanášanie vrstiev pomocou tlačovej hlavice s tryskami
FDM	pevné materiály	áno	nie	vrstvenie stavebného materiálu vytlačovaním cez trysku tlačovej hlavice

1) METÓDY NA BÁZE FOTOPOLYMÉROV

Modely na báze fotopolymérov sú stavané v pracovnej komore naplnenej tekutou fotoreaktívnou živicom. Tá je postupne pod hladinou po jednotlivých vrstvách vytvrdená pomocou pôsobenia UV žiarenia. Po vytvrdení jednej vrstvy sa stavebná podložka posunie o hrúbku nanášanej vrstvy materiálu a dochádza k vytvrdeniu ďalšej vrstvy. Takto je postupne vytvorený celý 3D model. Po jeho dokončení je prebytočná živica odvedená a model je pripravený k opracovaniu [17].

- STEREOLITOGRAFIA (SLA)

Metóda SLA (pozri tab. 2.2) využíva na vytvrdenie tekutého polyméru rôzne druhy UV laserov. Tie selektívne spevňujú materiál a 3D model je stavaný postupne po vrstvách odspodu navrch. Podpory sú tvorené stavebným materiálom, sú automaticky generované a neskôr mechanicky odstránené [17, 23].

Tab. 2.2 Základné vlastnosti metódy SLA [17, 23, 24].

Materiál modelu	fotoreaktívna živica
Hrúbka nanášanej vrstvy	0,05 až 0,15 mm
Postprocessing	vypustenie nadbytočnej živice z pracovnej komory, mechanické odstránenie podpor, finálne vytvrdenie v UV komore, možnosť dosiahnuť vysoký lesk, ale aj hrubú textúru pomocou pieskovania, lakovania alebo nanosenia povrchovej vrstvy
Použitie	výroba foriem pre odlievanie a vstrekovanie, prototypy pre obmedzené funkčné testovanie
Výhody	výroba rozmerovo objemnejších modelov, súčastí s malými otvormi a presnými detailmi, priehľadné materiály, plynulý chod procesu bez nutnosti obsluhy
Nevýhody	nutnosť finálneho vytvrdenia a úprav povrchu modelu, cena a toxicita materiálu, malá tepelná odolnosť modelu

- **SOLID GROUND CUTTING (SGC)**

Metóda SGC (pozri tab. 2.3) vytvrdzuje celú vrstvu fotopolyméru naraz pomocou špeciálnej UV lampy. Nevytvrdený polymér je vákuovo odsatý a do vzniknutých medzipriestorov je nanosený roztavený vosk. Následne je vrstva s voskom odfrézovaná na požadovanú hrúbku a proces s nanášaním fotopolyméru sa opakuje až do vytvorenia celého 3D modelu. Výplňový vosk je podporným materiálom, ktorý je neskôr chemicky odstránený pomocou kyseliny citrónovej [17, 25].

Tab. 2.3 Základné vlastnosti metódy SGC [17].

Materiál modelu	fotoreaktívna živica, nylon
Hrúbka nanášanej vrstvy	0,10 až 0,50 mm
Postprocessing	chemické odstránenie podporného materiálu, finálne vytvrdenie v UV komore
Použitie	tvorba modelov na overenie designu, funkcie a montáže, výroba chirurgických pomôcok, foriem na liate do piesku a do sadry
Výhody	dobrá štruktúra povrchu a stabilita modelu, možnosť odfrézovať poškodené vrstvy, minimálne zmrštenie modelu
Nevýhody	toxicita materiálu, nutnosť finálneho vytvrdenia, usadzovanie vosku v priebehu procesu, tvorba triesok pri frézovaní, priestorová objemnosť a hlučnosť zariadenia

2) METÓDY NA BÁZE PRÁŠKOVÝCH MATERIÁLOV

Tieto metódy využívajú ako stavebný materiál jemný prášok, ktorý je natavovaný teplom a spekaný pomocou laseru [17].

- **SELECTIVE LASER SINTERING (SLS)**

Metóda SLS (pozri tab. 2.4) vytvára 3D model z jednotlivých vrstiev pevného práškového materiálu. Ten je natavovaný teplom pomocou CO₂ laseru a následne dochádza

k jeho spekaniu. Počítačom riadený laser speká materiál len v požadovaných miestach a okolitý nenatavený materiál má podpornú funkciu. Hotový model je zasypaný v práškovom materiáli, aby bolo zabezpečené jeho rovnomerné chladnutie [17, 19, 22].

Tab. 2.4 Základné vlastnosti metódy SLS [17, 26].

Materiál modelu	polyamid, polykarbonát, nylon, vosk, kovové prášky, keramika, špeciálny piesok
Hrúbka nanášanej vrstvy	0,10 až 0,50 mm
Postprocessing	manuálne odstránenie podporného materiálu, povrch súčasti je možné tryskať, brúsiť, leštiť, farbiť, impregnovat' alebo prekryť povrchovou vrstvou
Použitie	výroba plne funkčných prototypov, malosériová výroba foriem a nástrojov pre výrobky z plastu, keramiky alebo kovu, výroba hmotnostne ľahkých dielov
Výhody	mechanické vlastnosti na úrovni dielov vyrobených vstrekovaním do formy, široké spektrum použiteľných materiálov, bez využitia podporného materiálu
Nevýhody	chladnutie hotového modelu po spekaní, nízka kvalita povrchu, drsný a pórovitý povrch, nutnosť dokončovacích operácií, priestorová objemnosť a energetická náročnosť zariadenia

- DIRECT METAL LASER SINTERING (DMLS)

Metóda DMLS (pozri tab. 2.5) funguje na princípe postupného natavovania jemného kovového prášku pomocou laseru. Vysokovýkonný laser lokálne roztavuje kovový prášok, dochádza k spojeniu jednotlivých vrstiev a následne k stuhnutiu. Podpory sú z rovnakého materiálu a sú budované automaticky po jednotlivých vrstvách ako samotný model [17, 27].

Tab. 2.5 Základné vlastnosti metódy DMLS [17, 22, 27].

Materiál modelu	kovové prášky: nehrdzavejúca oceľ, martenzitická oceľ, titan, hliník, kobalt
Hrúbka nanášanej vrstvy	0,02 až 0,04 mm
Postprocessing	manuálne odstránenie podporného materiálu, povrch súčasti je možné tryskať, brúsiť, leštiť a obrábať ako klasický kovový materiál
Použitie	výroba plne funkčných prototypov a foriem na výrobu plastových výliskov vstrekovaním alebo lisovaním, výroba tvarovo komplexných dielov a hmotnostne ľahkých dielov
Výhody	vysoká pevnosť a mechanická odolnosť, opakovaná využiteľnosť nespotrebovaného kovového prášku, široké spektrum použiteľných materiálov, bez využitia podporného materiálu
Nevýhody	nízka kvalita povrchu, drsný a pórovitý povrch, nutnosť dokončovacích operácií, priestorová objemnosť a energetická náročnosť zariadenia

3) METÓDY NA BÁZE TUHÝCH MATERIÁLOV

Tieto metódy využívajú na tvorbu modelov materiály v tuhej fáze [17].

- LAMINATED OBJECT MANUFACTURING (LOM)

Metóda LOM (pozri tab. 2.6) tvorí model pomocou postupného ukladania jednotlivých fólií po vrstvách. Fólie majú na jednej strane priľnavý náter, ktorý sa pod prítlakom nahriateho valca (cca 330 °C) aktivuje, a tak dôjde k prilepeniu k predošlej vrstve. Následne je pomocou lasera vyrezaný požadovaný obrys modelu pre danú vytvorenú vrstvu [17, 25].

Tab. 2.6 Základné vlastnosti metódy LOM [17, 25].

Materiál modelu	fólie s jednostranným spojivom: papierové a plastové fólie (nylon, polyester), keramika, kompozitné materiály
Hrúbka nanášanej vrstvy	0,01 až 0,20 mm
Postprocessing	povrch súčasti môže byť brúsený, leštený, farbený, alebo obrábaný metódami ako vrtanie, frézovanie a sústruženie
Použitie	vizuálne prototypy pre návrh designu a marketing, formy na odlievanie alebo vstrekovanie
Výhody	model má podobné vlastnosti ako drevo, dobrá obrobitelnosť, tvarová stálosť, možnosť použiť akýkoľvek materiál v podobe fólií,
Nevýhody	tvorba odpadu, namáhavé odstránenie podpor, pevnosť modelu je obmedzená použitým spojivom, nevhodné pre modely s tenkými stenami

- MULTI JET MODELING (MJM)

Metóda MJM (pozri tab. 2.7) funguje na princípe postupného nanášania termopolyméru po jednotlivých vrstvách pomocou špeciálnej tlačovej hlavy. Tá má 352 trysiek a každá je samostatne riadená programom. Materiál po nanosení na predchádzajúcu vrstvu takmer okamžite stuhne [17, 25].

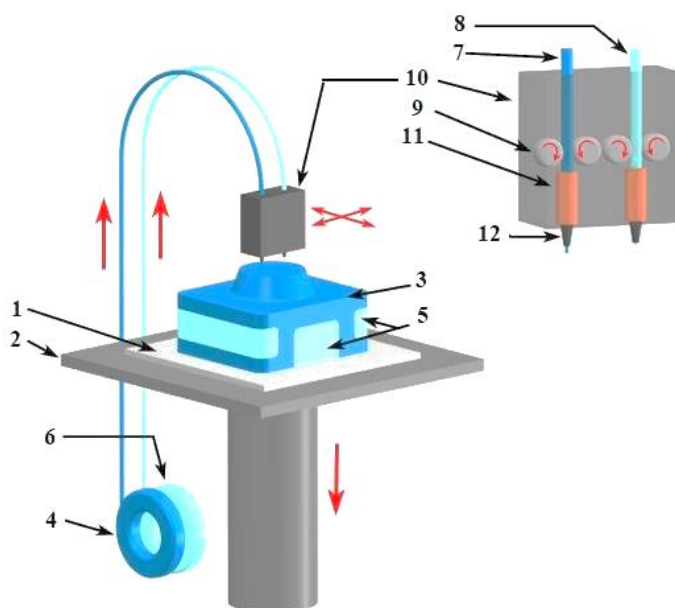
Tab. 2.7 Základné vlastnosti metódy MJM [17, 25].

Materiál modelu	termopolymér, akrylátový fotopolymér
Hrúbka nanášanej vrstvy	0,05 až 0,33 mm
Postprocessing	manuálne odstránenie podporného materiálu
Použitie	výroba menších súčastí
Výhody	rýchle a rovnomerné nanášanie materiálu, ekonomicky a časovo výhodná výroba
Nevýhody	odlišné mechanické vlastnosti modelu v rôznych smeroch, obmedzený výber materiálu

- FUSED DEPOSITION MODELING (FDM)

Metóda FDM (pozri tab. 2.8) tvorí model postupným vrstvením nataveného termoplastického materiálu na stavebnú podložku. Materiál vo forme struny (filamentu) je navinutý na cievke a pomocou kladiek je vtláčovaný do vyhrievanej trysky v tlačovej hlavici

(pozri obr. 2.2). Tam dochádza k nataveniu materiálu, ktorý je v podobe tenkého vlákna vytlačovaný z trysky a na okolitom vzduchu ochladne a stuhne. Tlačová hlava s tryskou sa pohybuje v rovine X a Y, až dokým nedokončí jednu celú vrstvu tvoreného modelu. Následne sa posunie nahor v smere osi Z o hrúbku tlačenej vrstvy. Opakovaním tohto procesu je vytvorený celý 3D model. Na podporu prečnievajúcich častí modelu je z podporného materiálu tvorená podporná štruktúra. Tá je po dokončení modelu mechanicky alebo chemicky (špeciálny roztok) odstránená. Na princípe metódy FDM funguje väčšina 3D tlačiarňí, ktoré obsahujú kazetu so stavebným a podporným materiálom [17, 19, 28].



Obr. 2.2 Princíp metódy FDM (1 – stavebná podložka, 2 – základná doska, 3 – model, 4 – cievka stavebného (modelovacieho) materiálu, 5 – podpora, 6 – cievka podporného materiálu, 7 – stavebný (modelovací) materiál, 8 – podporný materiál, 9 – pohon, 10 – trysková hlava, 11 – taviaca komôrka, 12 – tryska) [29].

Tab. 2.8 Základné vlastnosti metódy FDM [17, 28].

Materiál modelu	plasty: PLA, ABS, ABS+, vosk, polykarbonát, elastomér
Hrúbka nanášanej vrstvy	0,05 až 0,33 mm
Postprocessing	mechanické alebo chemické odstránenie podpor, jemné povrchové úpravy ako brúsenie, farbenie alebo nanosenie povrchovej vrstvy
Použitie	výroba plne funkčných prototypov na testovanie funkčnosti, malosériová výroba dielov pre koncové použitie, odolné výrobné nástroje
Výhody	pevné a odolné modely, možnosť výmeny kazety s materiálom, nehlučná prevádzka, široké spektrum použiteľných netoxických materiálov
Nevýhody	presnosť je obmedzená použitým materiálom a priemerom výstupnej trysky, odlišné mechanické vlastnosti modelu v rôznych smeroch, zmrštenie modelu pri chladnutí

2.3 Materiály pre 3D tlač

Táto kapitola je zameraná na materiály vhodné pre technológiu FDM, ktorá využíva pevné materiály vo forme tlačových strún (3D filamentov). Jedná sa o stavebné materiály ako Akrylonitril Butadién Styren (ABS/ABS plus), Polymliečna kyselina (PLA), Akrylonitril Styren Akrylát (ASA), Nylon (PA), Polykarbonát (PC), Polyetylén Tereftalát - Glykol (PET-G) a podporné materiály Polyvinylalkohol (PVA) a Húževnatý polystyrén (HIPS). Ich charakteristika a vlastnosti sú uvedené v tejto kapitole.

- Filament ABS/ABS plus

Akrylonitril Butadién Styren je amorfny termoplastický kopolymer, ktorý obsahuje prímes syntetického kaučuku. Vďaka tomu je odolnejší voči oteru, opotrebeniu a nárazom. Výhodou sú dobré mechanické vlastnosti pri nízkej hmotnosti, odolnosť voči niektorým chemikáliám, vysokým i nízkym teplotám a zdravotná nezávadnosť materiálu. Nevýhodou je zápach, ktorý sa uvoľňuje z ABS plastu pri 3D tlači a taktiež náchylnosť k deformáciám pri chladnutí. Z dôvodu veľkej tepelnej rozťažnosti sa materiál pri tlači krúti a odlepuje od podložky. Základné vlastnosti materiálu sú uvedené v tab. 2.9. Je jedným z najpoužívanejších materiálov a je vhodný na výrobu funkčných prototypov a súčiastok v automobilovom priemysle. Materiál ABS je rozpustný v acetóne, čo sa využíva v post-processingu na vyhladenie vrstiev a získanie lesklého a hladkého povrchu. Taktiež je možné modely z ABS plastu opracovávať brúsením, vrtaním alebo inými povrchovými úpravami [30, 31].

ABS plus je modifikovaný materiál ABS a je oproti nemu o 40 % pevnejší. Má vyššiu mechanickú odolnosť a odolnosť voči UV žiareniu. Správa sa ako ABS, ale navyše umožňuje väčšiu presnosť 3D tlače, menšie deformácie materiálu pri chladnutí a taktiež tlač bez zápachu [30].

Tab. 2.9 Základné vlastnosti materiálu ABS [24, 30].

Hustota [g/cm ³]	Pevnosť v ťahu [MPa]	Modul pružnosti [MPa]	Teplota skleného prechodu [°C]	Teplota tlače FDM [°C]	Teplota podložky [°C]	Zmrštenie pri chladnutí [%]
1,04	~ 45	2250	105	220 ÷ 240	100 ÷ 130	0,7

- Filament PLA

Polymliečna kyselina je biologicky odbúrateľný termoplast, ktorý sa vyrába z kukuričného alebo zemiakového škrobu či z cukrovej trstiny. Jedná sa o pevný, ale zároveň krehký a menej pružný materiál, ktorý pri mechanickom namáhaní skôr praskne, ako sa ohne. Výhodou je minimálny sklon k deformáciám, menšie zmrštenie pri chladnutí a zdravotná nezávadnosť. Vďaka nízkej tepelnej rozťažnosti sa pri tlači nekrúti a neodlepuje od podložky. Nevýhodou je nízka odolnosť voči vysokým teplotám a nárazom a taktiež náročnosť uskladnenia z dôvodu pohlcovania vlhkosti. Základné vlastnosti materiálu sú uvedené v tab. 2.10. Používa sa na výrobu vizuálnych prototypov pre návrh designu a marketing. Je vhodný na tlač veľkých a objemných modelov a taktiež detailných drobných modelov. Modely z PLA sa dajú bežne opracovávať vrtaním, lakovaním alebo ručným brúsením. Strojné brúsenie je možné len s ochladzovaním z dôvodu nízkej teploty tavenia materiálu [31, 32].

Tab. 2.10 Základné vlastnosti materiálu PLA [24, 32].

Hustota [g/cm ³]	Pevnosť v ťahu [MPa]	Modul pružnosti [MPa]	Teplota skleného prechodu [°C]	Teplota tlače FDM [°C]	Teplota podložky [°C]	Zmrštenie pri chladnutí [%]
1,24	10 ÷ 60	350 ÷ 2800	60 ÷ 65	185 ÷ 235	0 ÷ 60	0,3

- Filament ASA

Akrylonitril Styren Akrylát je termoplast podobný materiálu ABS. Avšak oproti nemu má väčšiu mechanickú odolnosť a tuhosť, väčšiu odolnosť voči teplotám, UV žiareniu a poveternostným podmienkam. Taktiež má menšiu teplotnú rozťažnosť, čím je zabezpečená lepšia 3D tlač. Základné vlastnosti materiálu sú uvedené v tab. 2.11. Používa sa pre výrobu prototypov so zvýšeným mechanickým zaťažením [31, 33].

Tab. 2.11 Základné vlastnosti materiálu ASA [24, 33].

Hustota [g/cm ³]	Pevnosť v ťahu [MPa]	Modul pružnosti [MPa]	Teplota skleného prechodu [°C]	Teplota tlače FDM [°C]	Teplota podložky [°C]	Zmrštenie pri chladnutí [%]
1,07	~47	2600	100	250 ÷ 255	60 ÷ 100	0,2 ÷ 0,7

- Filament PA

Polyamid/Nylon je veľmi odolný a pevný materiál s vysokou priľnavosťou medzi vrstvami. Výhodou je vysoká tepelná aj chemická odolnosť a taktiež odolnosť proti oteru a nárazom. Nevýhodou je vysoká absorpcia vlhkosti z okolia. Základné vlastnosti materiálu sú uvedené v tab. 2.12. Používa sa na tlač objemných a ťažkých funkčných prototypov napr. v automobilovom priemysle [19, 34].

Tab. 2.12 Základné vlastnosti materiálu PA [24, 34].

Hustota [g/cm ³]	Pevnosť v ťahu [MPa]	Modul pružnosti [MPa]	Teplota skleného prechodu [°C]	Teplota tlače FDM [°C]	Teplota podložky [°C]	Zmrštenie pri chladnutí [%]
1,12	~ 40	1000	47 ÷ 60	235 ÷ 260	100 ÷ 130	0,5 ÷ 1,5

- Filament PC

Polykarbonát je vysoko odolný termoplast, ktorý je taktiež elektroizolačný a nevodivý. Jedná sa o pevný, tuhý, recyklovateľný a ohňovzdorný materiál. Má vysokú odolnosť voči nárazom a vysokým teplotám. Základné vlastnosti materiálu sú uvedené v tab. 2.13. Používa sa na výrobu namáhaných funkčných dielov a krytov elektroniky [35, 36].

Tab. 2.13 Základné vlastnosti materiálu PC [24, 35].

Hustota [g/cm ³]	Pevnosť v ťahu [MPa]	Modul pružnosti [MPa]	Teplota skleného prechodu [°C]	Teplota tlače FDM [°C]	Teplota podložky [°C]	Zmrštenie pri chladnutí [%]
1,20	~ 75	2200	147	250 ÷ 290	100 ÷ 130	0,7

- Filament PET-G

Polyetylén Tereftalát – Glykol je termoplast PET obohatený o glykol, vďaka nemu je materiál menej krehký. Jedná sa o veľmi húževnatý materiál s chemickou odolnosťou a odolnosťou voči nárazom aj vysokým či nízkym teplotám. Výhodou je nízka tepelná rozťažnosť, priehľadnosť a nezávadnosť pre potraviny. Základné vlastnosti materiálu sú uvedené v tab. 2.14. Používa sa na výrobu mechanicky namáhaných dielov a komponentov pre priemyslové aplikácie ako napr. diely pre 3D tlačiarne [31, 37].

Tab. 2.14 Základné vlastnosti materiálu PET – G [24, 37].

Hustota [g/cm ³]	Pevnosť v ťahu [MPa]	Modul pružnosti [MPa]	Teplota skleného prechodu [°C]	Teplota tlače FDM [°C]	Teplota podložky [°C]	Zmrštenie pri chladnutí [%]
1,34	~ 100	2460	82	210 ÷ 235	45 ÷ 60	0,2

- Filament PVA

Polyvinylalkohol je polymér, ktorý sa používa na tlač podporných konštrukcií. To je možné len u 3D tlačiarní, ktoré podporujú tlač z dvoch alebo viacerých materiálov súčasne. Z dôvodu podobných teplôt pri tlači sa používa hlavne spolu so stavebným materiálom PLA. Jedná sa o netoxický materiál rozpustný vo vode. Základné vlastnosti materiálu sú uvedené v tab. 2.15. Podpory z materiálu PVA sú veľmi ľahko odplaviteľné pomocou vody [19, 38].

Tab. 2.15 Základné vlastnosti materiálu PVA [24, 38].

Hustota [g/cm ³]	Pevnosť v ťahu [MPa]	Modul pružnosti [MPa]	Teplota skleného prechodu [°C]	Teplota tlače FDM [°C]	Teplota podložky [°C]	Zmrštenie pri chladnutí [%]
1,29	~ 23	2000	85	180 ÷ 200	0 ÷ 50	0,5

- Filament HIPS

Húževnatý polystyrén je termoplast rozpustný v lemonsode, ktorý sa používa na tlač podporných konštrukcií. Kvôli podobným teplotám pri tlači sa používa najmä spolu so stavebným materiálom ABS. Základné vlastnosti materiálu sú uvedené v tab. 2.16. Používa sa pre tlač aj ako stavebný materiál na výrobu obalov v potravinárskom priemysle [31, 39].

Tab. 2.16 Základné vlastnosti materiálu HIPS [24, 39].

Hustota [g/cm ³]	Pevnosť v ťahu [MPa]	Modul pružnosti [MPa]	Teplota skleného prechodu [°C]	Teplota tlače FDM [°C]	Teplota podložky [°C]	Zmrštenie pri chladnutí [%]
1,04	~ 39	2280	100	220 ÷ 230	100 ÷ 120	0,5

EXPERIMENTÁLNA ČASŤ

Realizácia modelu kotúčovej spojky, ktorá bude slúžiť ako učebná pomôcka, bola uskutočnená pomocou:

- výpočtového návrhu, pri ktorom bol zohľadnený maximálny možný rozmer kotúčov spojky z dôvodu obmedzenia šírkou tlačovej podložky pre danú 3D tlačiareň,
- konštrukčného návrhu, kde boli za podpory programu Autodesk Inventor vytvorené jednotlivé modely kotúčov spojky,
- pre-processingu, kde boli jednotlivé modely prevedené do formátu .stl a následne boli načítané v programe 3D tlačiarne,
- processingu, pri ktorom boli jednotlivé modely vytlačené pomocou 3D tlačiarne,
- post-processingu, pri ktorom boli vytlačené modely opatrené povrchovou úpravou,
- montáže, kde za pomoci nakúpených normalizovaných súčiastok došlo ku kompletizácii zostavy do funkčného modelu kotúčovej spojky.

3 VÝPOČTOVÝ NÁVRH KOTÚČOVEJ SPOJKY

Táto kapitola sa zaoberá výpočtovým návrhom pevnej kotúčovej spojky, ktorá je realizovaná pomocou 3D tlače a slúži ako učebná pomôcka pre študentov stredných odborných škôl (SOŠ). Jedná sa o konštruovanú spojku, nie o katalógovú, t. j. dodávanú od výrobcu. Pri návrhu takejto spojky je potrebné dodržať obecné vedomosti pre návrh a pevnostnú kontrolu strojových súčiastok.

Obecne pri návrhu konštruovanej spojky platí, že rozmerový návrh, voľba materiálov a ostatné požiadavky, vychádzajú z výpočtového prenášaného krútiaceho momentu vplyvom prevádzkových javov M_v . Následne je uskutočnená pevnostná kontrola strojových súčiastok. Prenášaný krútiaci moment M_v musí byť menší ako menovitý moment spojky M_{men} , čo je maximálny krútiaci moment, ktorý môže spojka trvalo prenášať [1, 2].

Táto základná podmienka, ktorú je potrebné dodržať, je daná vzťahom (3.1) [1, 2].

$$M_v \leq M_{men} \quad (3.1)$$

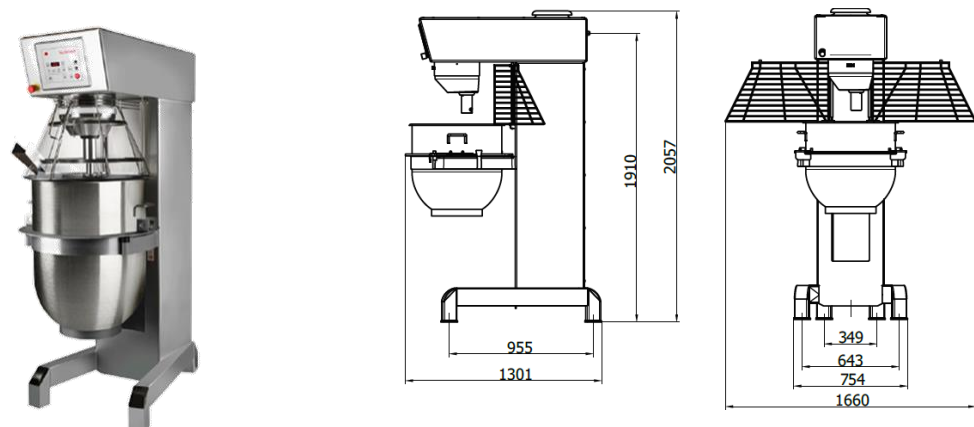
Návrh spojky je realizovaný v dvoch variantoch, prvý variant je pre trecí skrutkový spoj a druhý pre skrutkový spoj s lícovanou skrutkou.

3.1 Rozmerový návrh kotúčovej spojky

Z dôvodov, že daná spojka slúži ako učebná pomôcka a je realizovaná pomocou aditívnej technológie 3D tlače, je návrh spojky zameraný na prenos menšieho krútiaceho momentu. Týmto sú zaručené vhodné rozmery spojky pre výrobu prostredníctvom 3D tlače.

3.1.1 Voľba hnaného stroja

Ako hnaný stroj bol zvolený šľahač VARIMIXER AR200 (pozri obr. 3.1) s danými technickými parametrami, ktoré sú uvedené v tab. 3.1. Jedná sa o stojaci šľahač s pevnou podstavou, ktorý slúži na miešanie, šľahanie a miesenie napr. bielkov, majonézy, chlebového cesta atď. Šľahač má výkonný, ale tichý motor. Rýchlostný systém je kontrolovaný pomocou remeňového prevodu, nie prevodovkou, tým pádom šľahač neobsahuje žiadnu procesnú kvapalinu, ktorá by mohla znehodnotiť miešané suroviny. Zároveň remeňový prevod spĺňa poistnú funkciu pri prípadnom preťažení elektromotora. Nádoba šľahača na miesenie má automatický systém uchytania a šľahač má taktiež automatický zdvih hlavy. Je vyrobený z nehrdzavejúcej ocele.



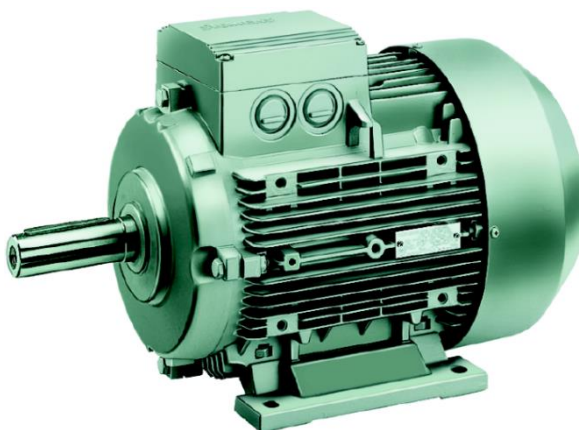
Obr. 3.1 Hnaný stroj VARIMIXER [40].

Tab. 3.1 Technické parametre hnaného stroja [40].

Hnaný stroj VARIMIXER AR200	
Objem nádoby na šľahanie [l]	200
Rozmery (š x v x h) [mm]	754 x 2057 x 1301
Hmotnosť [kg]	525
Príkion [W]	5 500
Menovité napätie [V]	400
Frekvencia [Hz]	50
Počet fáz	3
Rozsah otáčok [min⁻¹]	47 – 257

3.1.2 Voľba elektromotora

Podľa parametrov hnaného stroja bol vybraný vhodný elektromotor (pozri obr. 3.2). Jedná sa o asynchrónny trojfázový elektromotor s kotvou nakrátko od firmy Siemens Elektromotory s.r.o. s danými technickými parametrami (pozri tab. 3.2).

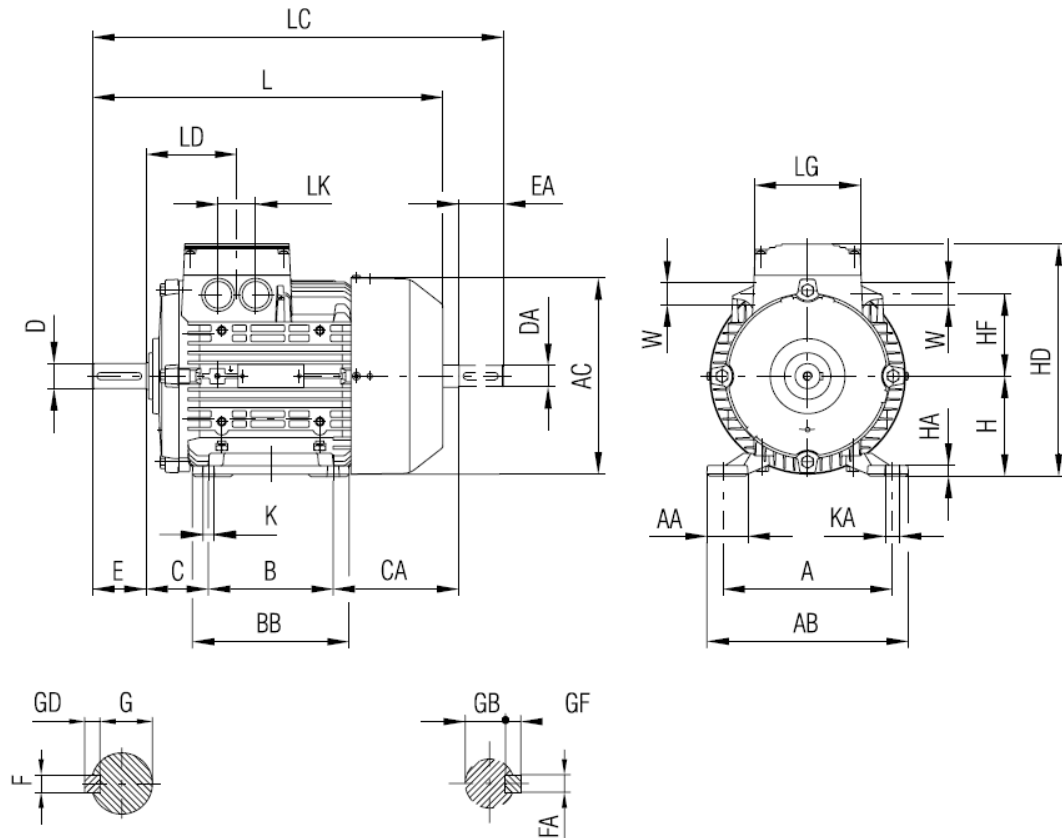


Obr. 3.2 Asynchrónny trojfázový elektromotor s kotvou nakrátko [41].

Tab. 3.2 Technické parametre elektromotora [41].

Elektromotor 1LA7134-6AA	
Menovitý výkon [W]	5 500
Menovité napätie [V]	400
Frekvencia [Hz]	50
Počet pólov	6
Menovité otáčky [min⁻¹]	950
Účinnosť η [%]	83
Menovitý krútiaci moment [Nm]	55
Hmotnosť [kg]	54
Veľkosť	132M

Z rozmerov elektromotora (pozri obr. 3.3) vychádza rozmerový návrh kotúčovej spojky (pozri obr. 3.4).



Obr. 3.3 Rozmerový výkres asynchrónneho trojfázového elektromotora s kotvou nakrátko [41].

Dôležité rozmerové údaje elektromotora pre návrh kotúčovej spojky sú uvedené v tab. 3.3.

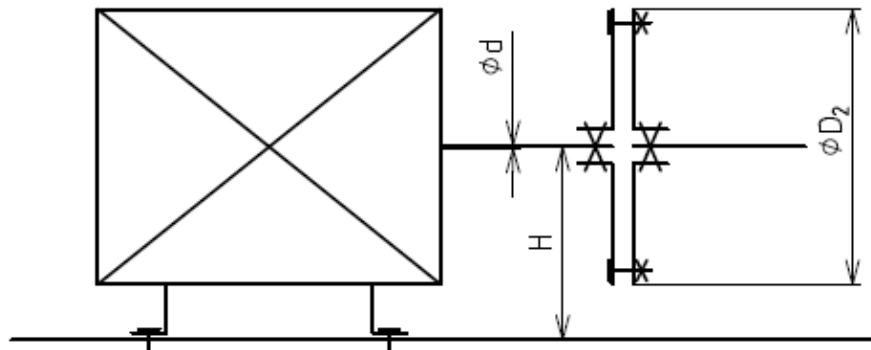
Tab. 3.3 Dôležité rozmery elektromotora [41].

Osová výška H [mm]	132
Priemer valcového konca hriadeľa $D = d$ [mm]	38
Dĺžka valcového konca hriadeľa $E = l$ [mm]	80
Šírka pera $F = b$ [mm]	10
Výška pera $GD = h$ [mm]	8

Osová výška elektromotora predurčuje maximálny vonkajší priemer spojky vzťahom (3.2).

$$\frac{D_2}{2} < H \text{ [mm]} \quad (3.2)$$

$$\frac{D_2}{2} < 132 \text{ mm}$$



Obr. 3.4 Rozmerový návrh kotúčovej spojky.

Navrhnuté rozmery kotúčovej spojky sú uvedené v tab. 3.4, pričom vonkajší rozmer kotúča spojky bol limitovaný maximálnou šírkou tlačovej podložky pre danú 3D tlačiareň, čo predstavuje hodnotu 150 mm.

Tab. 3.4 Navrhnuté rozmery kotúčovej spojky.

Vonkajší priemer kotúča D_2 [mm]	126
Rozstupový priemer skrutiek D [mm]	92
Priemer osadenia na centrovanie d_3 [mm]	54

Výpočtový prenášaný krútiaci moment M_v je stanovený z rovnice (3.3) [1, 3].

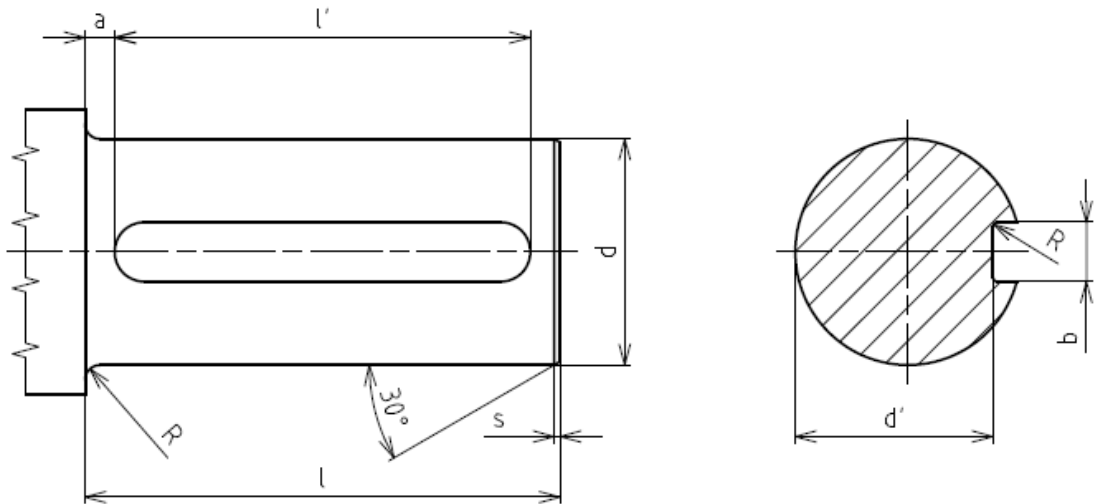
$$M_v = K \cdot M_{ne} [Nm] \quad (3.3)$$

$$M_v = 104,5 [Nm]$$

- kde: M_v [Nm] - výpočtový prenášaný krútiaci moment vplyvom prevádzkových javov,
- K [-] - prevádzkový súčiniteľ, ktorý je daný podľa druhu hnacieho stroja v závislosti na skupine vybraného hnaného stroja (I až IX), pre zvolený hnací a hnaný stroj: $K = 1,7 \div 1,9$ zvolené: $K = 1,9$ [3, 42],
- M_{ne} [Nm] - menovitý krútiaci moment elektromotora.

3.2 Pevnostná kontrola valcového konca hriadeľa na krut

Pre valcový koniec hriadeľa (pozri obr. 3.5) je podľa normy ČSN 02 2507 priradené tesné pero s rozmermi 10e7 x 8 x 70 [43].



Obr. 3.5 Valcový koniec hriadeľa [43].

Valcový koniec hriadeľa je kontrolovaný na krut podľa vzťahu (3.4) [1, 6].

$$\tau_{DK} \geq \frac{M_v}{W_k} [MPa] \quad (3.4)$$

$$\tau_{DK} \geq 14,413 [MPa]$$

kde: τ_{DK} [MPa] - dovoľené napätie v krute, pre uvažovaný materiál 11 500, pre striedavý typ zaťaženia, ktoré je znížené s ohľadom na pridaný ohyb od kotúča spojky $\tau_{DK} = 15 \div 45 MPa$ [44],

M_v [Nm] - výpočtový prenášaný krútiaci moment vplyvom prevádzkových javov,

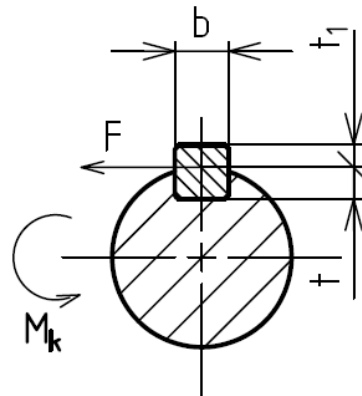
W_k [mm³] - modul kruhového prierezu v krute, $W_k = \frac{\pi \cdot d'^3}{16}$ kde d' je priemer valcového konca hriadeľa zmenšený o hĺbku drážky v hriadeľi $t = 4,7 mm$.

3.3 Pevnostná kontrola perového spoja na strih a otláčenie

Tesné pero 10e7 x 8 x 70 (pozri obr. 3.6) je podľa normy ČSN 02 2507 vyrobené z ocele 11 600, ktorej medza klzu je $R_e = 325 MPa$ a medza klzu v šmyku R_{se} je daná vzťahom (3.5) [45].

$$R_{se} = 0,577 \cdot R_e [MPa] \quad (3.5)$$

$$R_{se} = 188 [MPa]$$



Obr. 3.6 Spoj tesným perom [6].

Pri kontrole pera na strih sa predpokladá rovnomerne rozložené šmykové napätie po jeho priereze a návrhový súčiniteľ $k_n = 2,8$ [45].

Podľa vzťahu (3.6) [45] je uskutočnená kontrola pera na strih.

$$\tau_{DS} > \tau_{max} [MPa] \quad (3.6)$$

$$\frac{R_{se}}{k_n} > \frac{F}{b \cdot l} [MPa]$$

$$67 > 7,857 [MPa]$$

kde: τ_{DS} [MPa] - dovoľené napätie v šmyku,

τ_{max} [MPa] - maximálne napätie v šmyku,

F [N] - sila namáhajúca perový spoj, $F = \frac{2 \cdot M_v}{d}$,

b [mm] - šírka pera,

l [mm] - dĺžka pera.

Pero pevnostne na strih vyhovuje, maximálne napätie v šmyku je menšie ako predpokladané dovoľené napätie.

Následne je perový spoj kontrolovaný na otláčenie tak aby, tlak medzi bokom drážky v náboji a perom nepresiahol dovoľenú hodnotu. Kontroluje sa tá súčasť, ktorej materiál má najhoršie mechanické vlastnosti z hľadiska na otláčenie, t. j. náboj, ktorý je vyrobený zo sivej liatiny. Základná hodnota tlaku pre náboj zo sivej liatiny je $p_0 = 90 MPa$ [6, 45].

Dovoľený tlak na bokoch drážky v náboji p_{d1} je pre jednosmerné zaťaženie s malými rázmi, daný vzťahom (3.7) [6, 45].

$$p_{d1} = 0,6 \cdot p_0 [MPa] \quad (3.7)$$

$$p_{d1} = 54 [MPa]$$

Aby nedošlo k nedovolenému otláčeniu medzi bokom drážky v náboji a perom musí platiť vzťah (3.8) [6, 45].

$$p_{d1} \geq \frac{F}{t_1 \cdot (l - b)} \text{ [MPa]} \quad (3.8)$$

$$p_{d1} \geq 27,778 \text{ [MPa]}$$

- kde: p_0 [MPa] - základná hodnota tlaku pre náboj,
 p_{d1} [MPa] - dovolený tlak na bokoch drážky v náboji,
 F [N] - sila namáhajúca perový spoj,
 t_1 [mm] - hĺbka drážky v náboji,
 b [mm] - šírka pera,
 l [mm] - dĺžka pera.

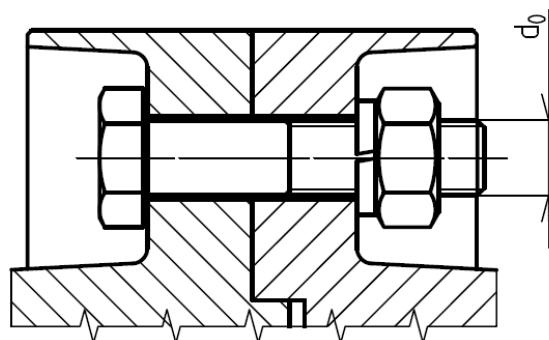
Kontrolovaný perový spoj pevnostne vyhovuje, skutočný tlak medzi bokom drážky v náboji a perom je menší ako dovolený tlak na bokoch drážky v náboji.

3.4 Pevnostný návrh skrutkových spojov

V tejto kapitole sú navrhované veľkosti skrutkových spojov a následne aj ich počet na zvolenej rozstupovej kružnici kotúča spojky. Najskôr je realizovaný návrh pre trecí skrutkový spoj a následne pre skrutkový spoj s lícovanou skrutkou.

3.4.1 Trecí skrutkový spoj

Pri návrhu trecieho skrutkového spoja sa vychádza z pevnostnej podmienky na ťah, pretože sa predpokladá, že krútiaci moment je prenášaný trením medzi oboma kotúčmi spojky (pozri obr. 3.7) [1, 2].



Obr. 3.7 Kotúčová spojka s trecím skrutkovým spojom [2].

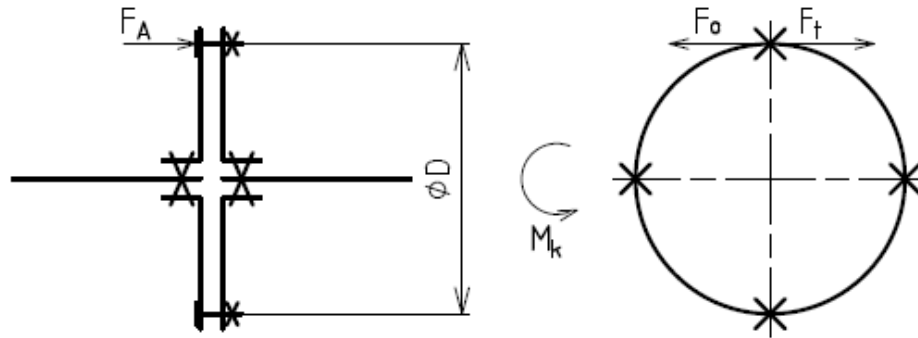
Počet skrutiek je zvolený podľa vzťahu (3.9) [1], volí sa páry počet skrutiek.

$$i = 2 + 0,035 \cdot d \text{ [-]} \quad (3.9)$$

$$i = 3,33 \rightarrow i = 4 \text{ [-]}$$

- kde: i [-] - počet skrutiek,
 d [mm] - priemer hriadeľa.

Priemer skrutky sa určí z vypočítaného prierezu jadra skrutky v závitovej časti A_s z pevnostnej podmienky na ťah. Osová sila v jednej skrutke F_A sa stanoví pomocou trecej sily F_T , ktorá pôsobí na strednom polomere trecej plochy D_s (pozri obr. 3.8) [1, 3].



Obr. 3.8 Silové pôsobenie v kotúčovej spojke [6].

Pevnostná podmienka na ťah pre určenie priemeru skrutky (3.10) [1].

$$\sigma_{DT} \geq \frac{F_A}{A_S} \text{ [MPa]} \quad (3.10)$$

$$A_S \geq \frac{F_A}{\sigma_{DT}} \text{ [mm}^2\text{]}$$

$$A_S \geq 41,468 \text{ [mm}^2\text{]}$$

kde: σ_{DT} [MPa] - dovolené napätie v ťahu, je určené pre materiál skrutky 11 500 pevnostnej triedy 5.6 a pre striedavé zaťaženie a namáhanie na ťah $\sigma_{DT} = 65 \div 95 \text{ MPa}$, je zvolené $\sigma_{DT} = 70 \text{ MPa}$ [44],

F_A [N] - osová sila v jednej skrutke, $F_A = \frac{2 \cdot M_v}{D_s \cdot f \cdot i}$,

M_v [Nm] - výpočtový prenášaný krútiaci moment vplyvom prevádzkových javov,

D_s [mm] - stredný polomer trecej plochy, $D_s = \frac{D_2 + d_3}{2}$,

f [-] - súčiniteľ šmykového trenia medzi kotúčmi, $f = 0,2 \div 0,25$,

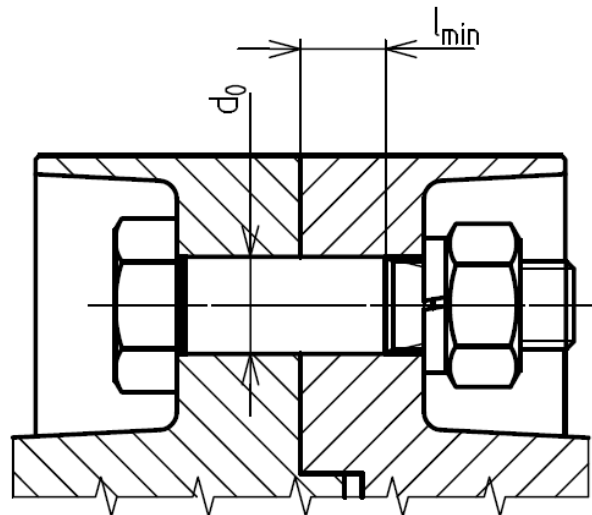
i [-] - počet skrutiek,

A_S [mm²] - prierez jadra skrutky v závitovej časti.

Na základe vypočítaného prierezu jadra skrutky v závitovej časti A_s je podľa normy ČSN EN ISO 4014 zvolená najbližšia vyššia hodnota, t. j. skrutka s šesťhrannou hlavou M10 x 45 – 5.6 [43].

3.4.2 Skrutkový spoj s lícovanými skrutkami

Pri prenose krútiaceho momentu u kotúčovej spojky so skrutkovým spojom s lícovanou skrutkou (pozri obr. 3.9) je navrhnutá lícovaná skrutka kontrolovaná na strih a následne na otláčenie [1, 3].



Obr. 3.9 Kotúčová spojka so skrutkovým spojom s lícovanou skrutkou [2].

Z predchádzajúceho návrhu spojky s trecím skrutkovým spojom, je navrhnutý počet skrutiek $i = 4$. Podľa normy ČSN 02 1111 je zvolená lícovaná skrutka s dlhým závitom M10 x 45 – 5.6 [43].

Daná skrutka je kontrolovaná na strih podľa vzťahu (3.12) [1, 3].

$$\tau_{DS} \geq \frac{F_1}{S} \text{ [MPa]} \quad (3.12)$$

$$\tau_{DS} \geq 5,976 \text{ [MPa]}$$

kde: τ_{DS} [MPa] - dovolené napätie v šmyku, je určené pre materiál skrutky 11 500 pevnostnej triedy 5.6 a pre striedavé zaťaženie a namáhanie na strih $\tau_{DS} = 40 \div 60 \text{ MPa}$ [44],

F_1 [N] - obvodová sila na polomere rozstupovej kružnice, ktorá pripadá na jednu skrutku, $F_1 = \frac{2 \cdot M_v}{D \cdot i}$,

S_1 [mm²] - plocha prierezu skrutky v lícovanej časti drieku, $S_1 = \frac{\pi \cdot d_2^2}{4}$, kde priemer lícovaného drieku skrutky $d_2 = 11 \text{ mm}$,

D [mm] - rozstupový priemer skrutiek,

i [-] - počet skrutiek.

Skrutkový spoj s lícovanou skrutkou v šmyku pevnostne vyhovuje.

Následne je realizovaná kontrola na otláčenie skrutky v kotúči podľa vzťahu (3.13) [1].

$$p_{d2} \geq \frac{F_1}{S_2} [MPa] \quad (3.13)$$

$$p_{d2} \geq 3,688 [MPa]$$

kde: p_{d2} [MPa] - dovolený merný tlak, je určený pre materiál kotúčovej spojky EN-GJL-200 a pre striedavé zaťaženie $p_d \sim \sigma_{DT} = 15 \div 20$ MPa [44],

F_1 [N] - obvodová sila na polomere rozstupovej kružnice, ktorá pripadá na jednu skrutku,

S_2 [mm²] - otláčaná plocha skrutky v kotúči, $S = d_2 \cdot l_{min}$,

d_2 [mm] - priemer lícovaného drieku skrutky,

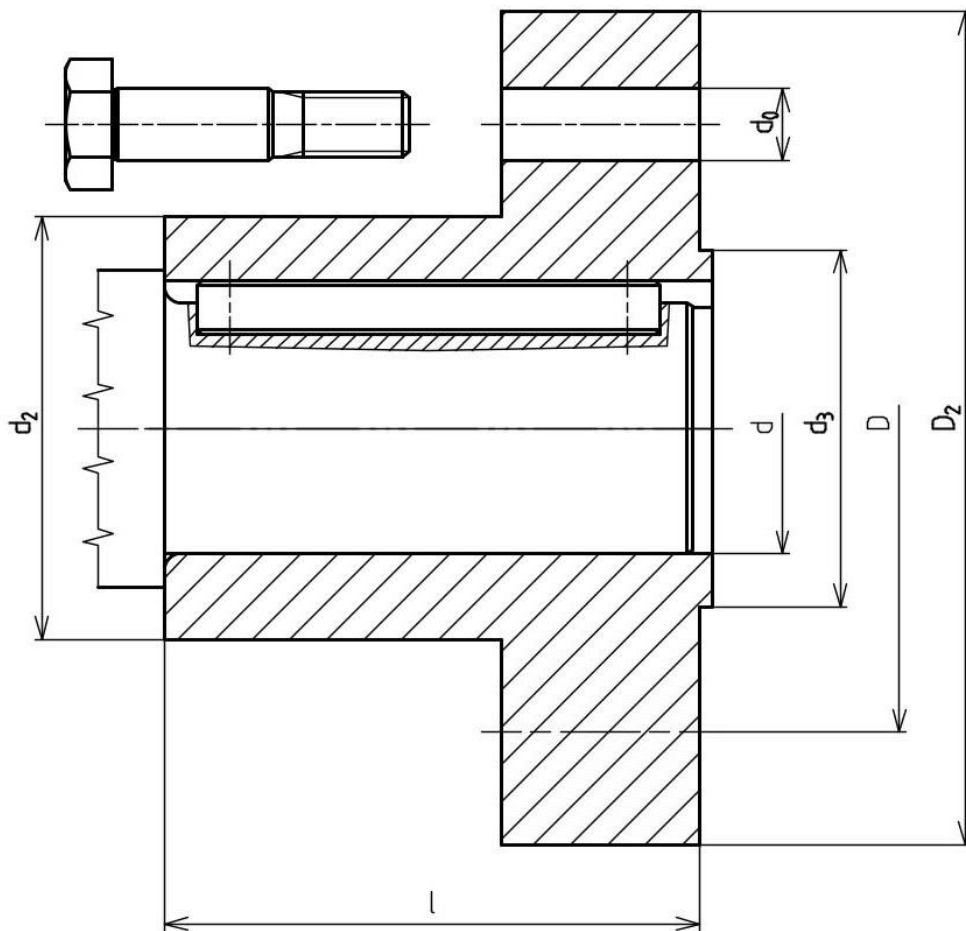
l_{min} [mm] - minimálna dĺžka lícovaného drieku v kotúči spojky.

Skrutkový spoj pevnostne vyhovuje na otláčenie. Z pevnostných kontrol je zrejmé, že daný skrutkový spoj je predimenzovaný. Kotúčová spojka so skrutkovým spojom lícovanou skrutkou sa používa hlavne pri prenose veľkých krútiacich momentov pri striedavom zaťažení s veľkými rázmi.

4 KONŠTRUKČNÝ NÁVRH KOTÚČOVEJ SPOJKY

Pri konštrukčnom návrhu spojky obecné platí, že je snaha mať, čo najjednoduchšie vonkajšie rotačné tvary bez výstupkov, čo najmenšiu hmotnosť a jednoduchú rozobrateľnosť. Spojka má byť umiestnená, čo najbližšie k ložiskám, aby bol vzniknutý prídavný ohybový moment od hmotnosti spojky na hriadeli čo najmenší [2 – 4].

Konštrukčný návrh kotúčovej spojky (pozri obr. 3.10) vychádza z navrhnutých a vypočítaných rozmerov z pevnostnej kontroly, ktoré sú uvedené v tab. 3.5.



Obr. 3.10 Konštrukčný návrh kotúčovej spojky.

Tab. 3.5 Základné rozmery kotúčovej spojky.

Vonkajší priemer kotúča D_2 [mm]	126
Rozstupový priemer skrutiek D [mm]	92
Priemer osadenia na centrovanie d_3 [mm]	54
Priemer hriadeľa d [mm]	38
Priemer náboja d_2 [mm]	64
Priemer diery pre skrutku d_0 [mm]	11
Dĺžka kotúča l [mm]	81

Tento konštrukčný návrh bol následne upravený na koncepčný návrh kotúčovej spojky (pozri príloha 1).

Hnací a hnaný kotúč spojky sú spojené s hnacím a hnaným hriadeľom pomocou perového spoja. Centrovanie je zabezpečené prostredníctvom osadenia na hnacom kotúči a vybrania na hnanom kotúči spojky. Poistenie kotúčov v axiálnom smere zabezpečuje nastavovacia skrutka [1, 3].

Kotúče sú k sebe pritlačované pomocou skrutkových spojov. Hlavy skrutiek a matice spájajúce príruby kotúčov, nemôžu z bezpečnostného hľadiska prečnievať. Z tohto dôvodu sú chránené valcovým osadením, ktoré je dané podľa normy ČSN 02 1020 pre valcové zahĺbenie pre skrutky so šesťhrannou hlavou a šesťhrannou maticou s pružnou podložkou [1, 3].

U kotúčovej spojky s trecím skrutkovým spojom sú skrutky v dierach prírub uložené voľne. Príruby sú pomocou skrutkových spojov stiahnuté a krútiaci moment sa prenáša trením na trecej čelnej ploche, a tým sú skrutky namáhané na ťah. Ak uvažujeme skrutkové spojenie s lícovanými skrutkami, jedná sa o uloženie s presahom. Prenášaný krútiaci moment potom namáha lícovanú skrutku na strih a otláčenie [1, 6].

Kotúče spojky sú bežne vyrábané ako odliatky napr. zo sivej liatiny alebo ocele na odliatky. Z technologického hľadiska je potrebné plochám kolmým k deliacej rovine predpísať konštrukčné a technologické úkosity. Pre lepšie zatekanie materiálu vo forme sú zvolené vhodné zaoblenia hrán. Funkčné plochy kotúčov spojky sú strojovo obrábané podľa predpísaných odchýlok tvaru a polohy, príslušnej akosti povrchu.

Virtuálne modely hnacieho a hnaného kotúča spojky boli vytvorené pomocou programu Autodesk Inventor. Následne bola pridaním jednotlivých častí skrutkových spojov vytvorená zostava spojky. Z dôvodu názornejšieho prezentovania je spojka uložená v stojane (pozri obr. 3.11).

K výrobe danej spojky je potrebná výkresová dokumentácia, ktorá je obsiahnutá v prílohách. Zostavný výkres s kusovníkom je v prílohe 2. Tvorba výrobného výkresu hnacieho kotúča (pozri príloha 3) vychádza z koncepčného návrhu kotúčovej spojky.



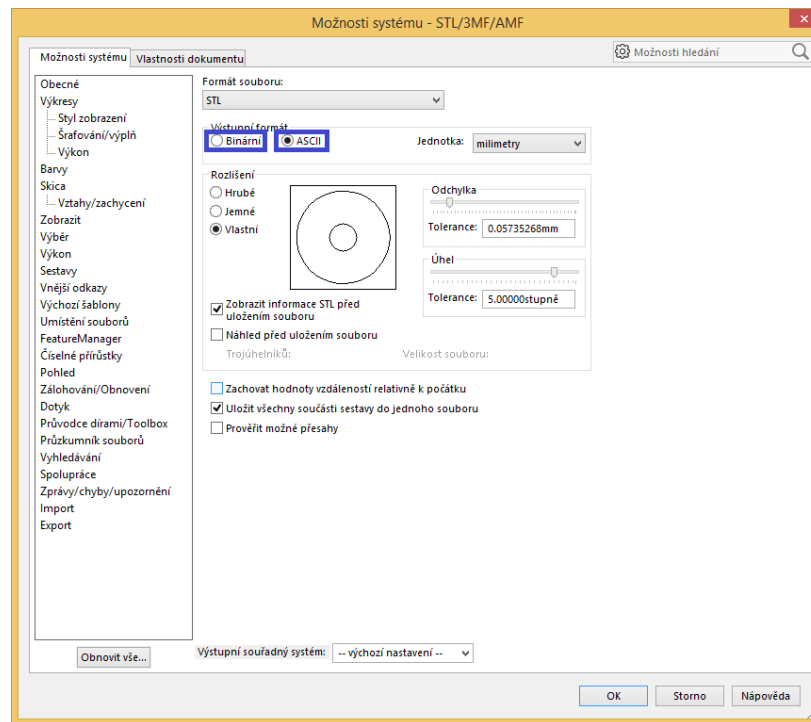
Obr. 3.11 Kotúčová spojka uložená v stojane.

5 REALIZÁCIA KOTÚČOVEJ SPOJKY

Realizácia kotúčovej spojky pozostáva z troch fáz. Prvou je pre-processing, ktorý zahŕňa prípravu počítačových dát a nastavenie tlače. Ďalšou fázou je processing, kedy prebieha samotná tlač modelov. A nakoniec post-processing počas ktorého sú odstránené podpory a model je povrchovo upravovaný.

5.1 Pre-processing

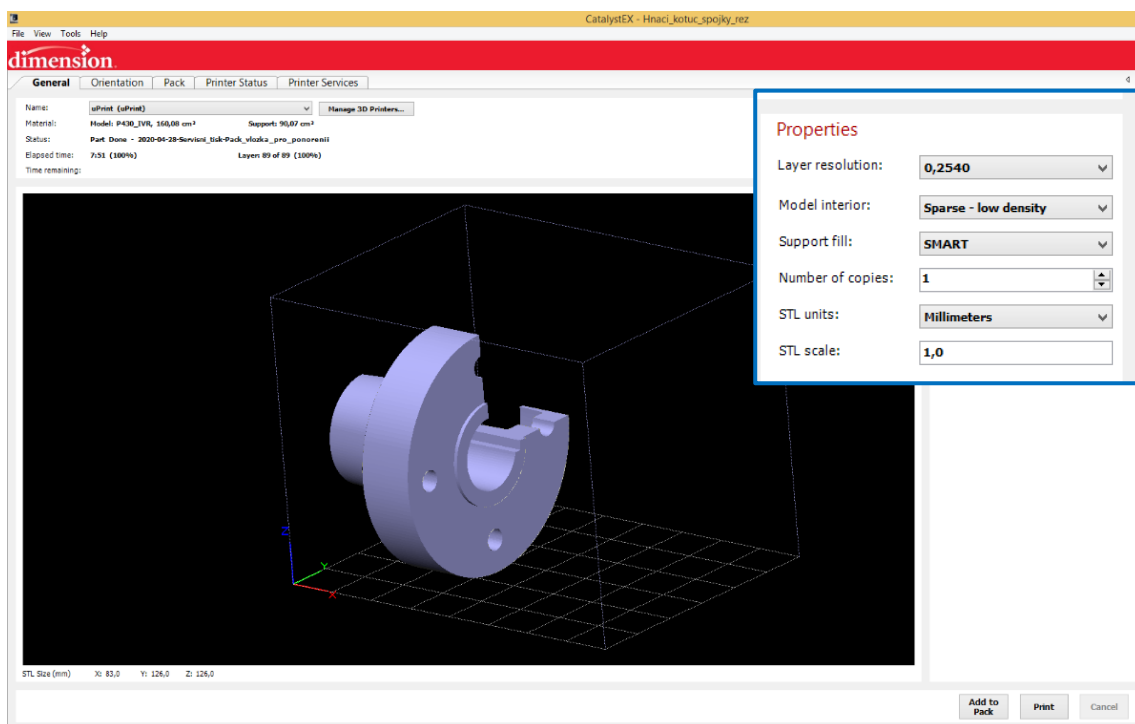
Pre-processing zahŕňa všetky prípravné procesy pred spustením samotnej tlače. Model hnacieho a hnaného kotúča spojky bol z programu Autodesk Inventor exportovaný do STL formátu. Pri exporte sa dajú zvoliť dva typy formátov (pozri obr. 5.1). Prvým je binárny STL formát, ktorý je dátovo menej objemnejší, ale je nečitateľný. Druhým je ASCII STL formát, ktorý je čitateľný a teda aj ľahšie opraviteľný. Jeho nevýhodou je väčší objem dát.



Obr. 5.1 Nastavenie vlastností STL formátu.

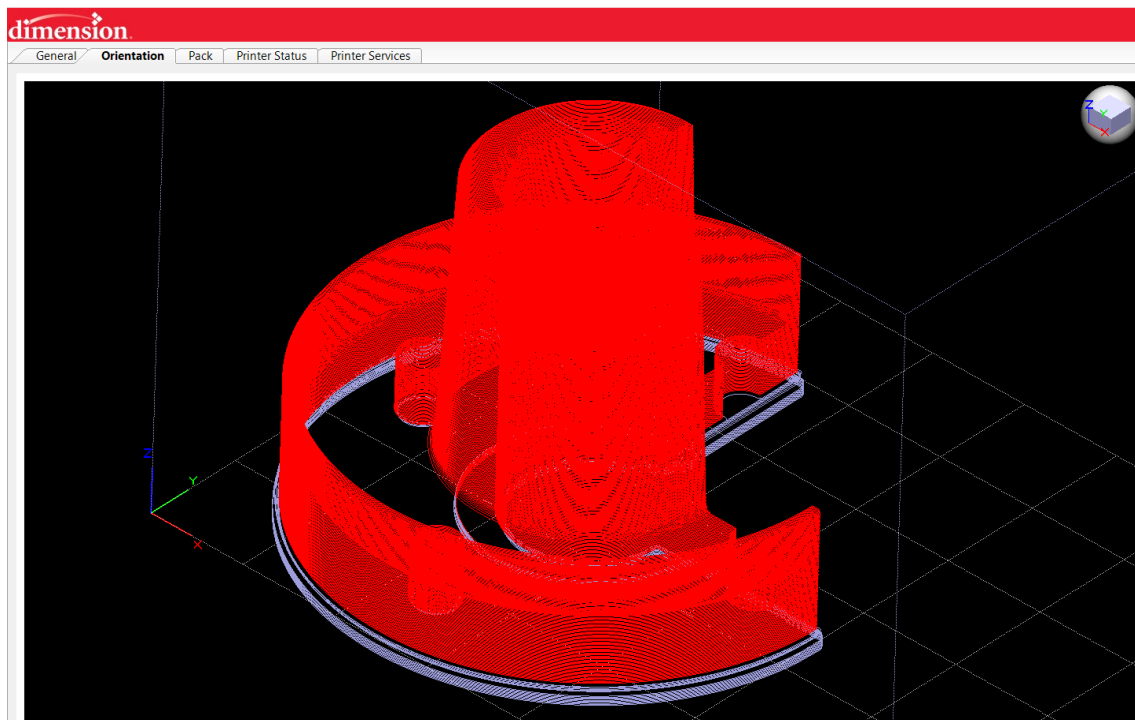
Po overení kvality STL súborov, bol spustený program CatalystEX. Do programu boli importované dáta hnacieho kotúča spojky vo formáte STL a postupne boli nastavené parametre tlače (pozri obr. 5.2). Ako prvá bola nastavená hrúbka nanášanej vrstvy na 0,254 mm. Ďalej bol z dôvodu šetrenia materiálu zvolený spôsob vyplnenia objemu modelu na riedku voštinu. Typ podpor bol nastavený ako SMART, čo znamená, že podporný materiál bude len tam, kde je nevyhnutný. V tomto prípade sa jedná len o základnú vrstvu podporného materiálu nanesenú na tlačovú podložku z dôvodu fixovania modelu k podložke. Ďalej sa dá nastaviť počet kópií tlačeného modelu, jednotky a mierka tlače.

Po nastavení týchto parametrov sa zvolí vhodná orientácia modelu v pracovnom priestore. Pri tom sa dbá na správnu výstavbu modelu a minimalizáciu použitia podporného materiálu (pozri obr. 5.3).



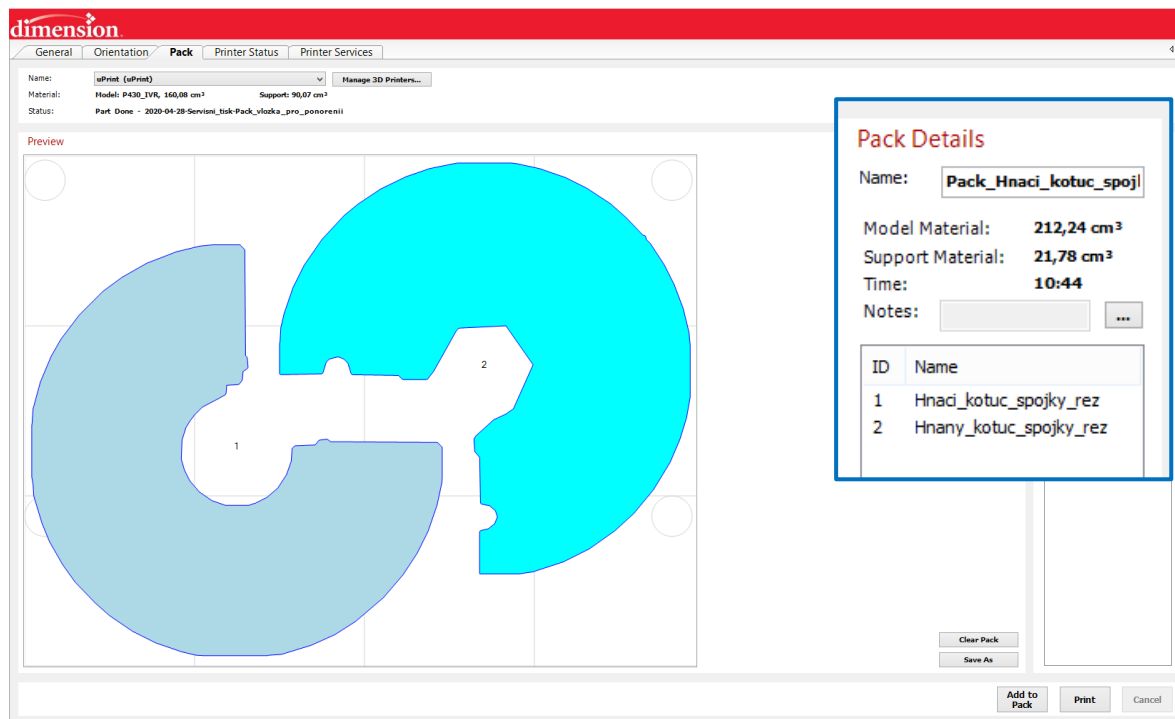
Obr. 5.2 Nastavenie parametrov tlače v softvéri CatalystEX.

Následne je model rozdelený na jednotlivé vrstvy materiálu a to na stavebný (červená farba) a podporný (šedá farba) (pozri obr. 5.3).



Obr. 5.3 Orientácia modelu a vytvorenie vrstiev modelu v softvéri CatalystEX.

Potom bol hnací kotúč umiestnený na tlačovú podložku a do softvéru CatalystEX bol importovaný súbor s hnaným kotúčom. Vlastnosti tlače hnaného kotúča sa automaticky nastavili podľa už zvolených parametrov pre hnací kotúč. Pri umiestňovaní oboch kotúčov na tlačovú podložku bolo nutné zabezpečiť dostatočný odstup oboch kotúčov nielen od seba ale aj od okraju tlačovej podložky (pozri obr. 5.4).



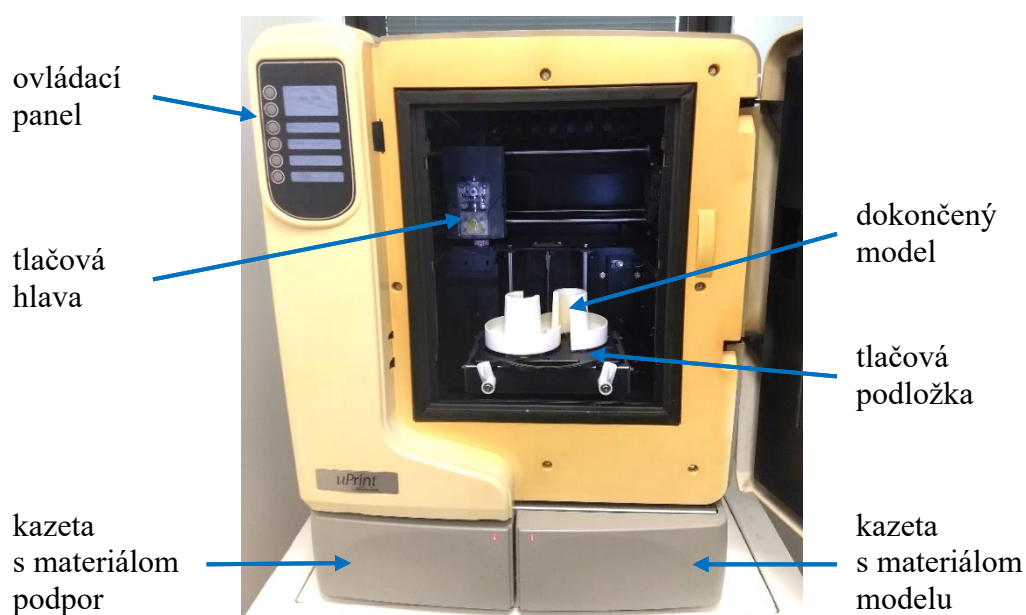
Obr. 5.4 Umiestnenie modelov na tlačovej podložke v softvéri CatalystEX 4.5.

Nakoniec bola z programu CatalystEX odoslaná požiadavka na tlač. Aby začala prebiehať samotná tlač modelov, musela byť táto požiadavka potvrdená na tlačiarni Dimension uPrint.

5.2 Processing

Samotná tlač jednotlivých modelov bola realizovaná na 3D tlačiarni Dimension uPrint (pozri obr. 5.5) na Fakulte strojního inžinierstva VUT v Brně. Po vyhriatí pracovnej komory 3D tlačiarne začala prebiehať tlač. 3D tlačiareň využíva ako stavebný materiál ABS plus v slonovinovej farbe. Tlač prebiehala automaticky, ak to bolo nutné, bola doplnená nová kazeta, či už s podporným alebo stavebným materiálom.

Obidva kotúče spojky boli vytlačené spolu za 10 hodín a 44 minút. Na ich tlač bolo spotrebovaných $212,24 \text{ cm}^3$ stavebného materiálu a $21,78 \text{ cm}^3$ podporného materiálu (pozri obr. 5.4). Kotúče spojky boli vytlačené v trojštvrťinovom reze z dôvodu názorného prevedenia učebnej pomôcky. V tomto prevedení je vidno lícovaný skrutkový spoj a drážku pre pero v reze.



Obr. 5.5 3D tlačiareň Dimension uPrint.

5.3 Post-processing

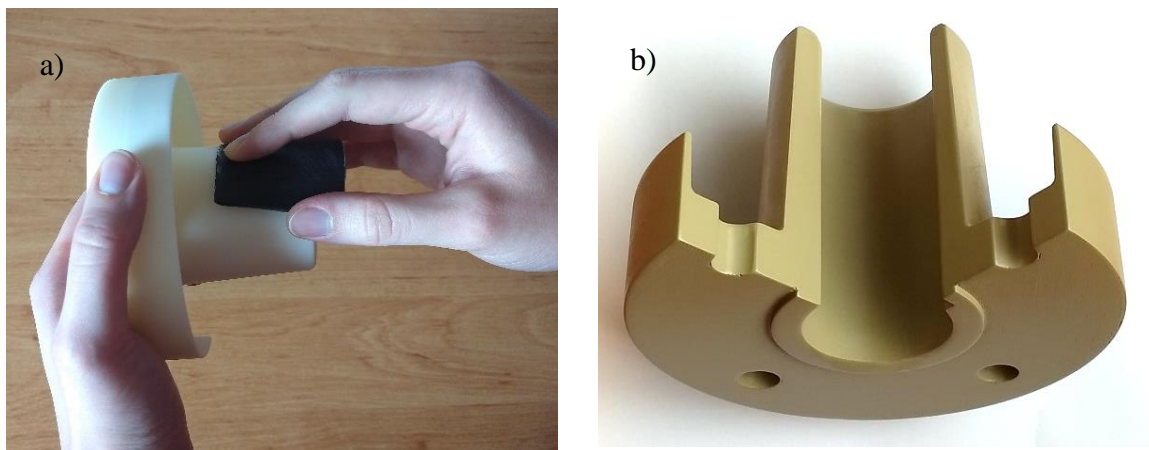
Post-processing zahŕňa všetky dokončovacie procesy na vytlačenej modeli, ktorých cieľom je dosiahnuť hladký a farebný povrch modelu. Z 3D tlačiarne boli vytiahnuté kotúče spojky na tlačovej podložke. Po ich miernom vychladnutí boli mechanickým spôsobom oddelené modely od podporného materiálu a tlačovej podložky. Aby bolo vidieť rozdiel medzi opracovaným povrchom modelu a nerovnomerným povrchom vytvoreným pomocou 3D tlače, bol finálne opracovaný len jeden z kotúčov. Jedná sa o brúsenie, tmelenie plničom a finálny nástrek farbou (pozri obr. 5.6).



Obr. 5.6 Brúsne papiere, lieh, plnič a akrylová farba v spreji potrebné na post-processing.

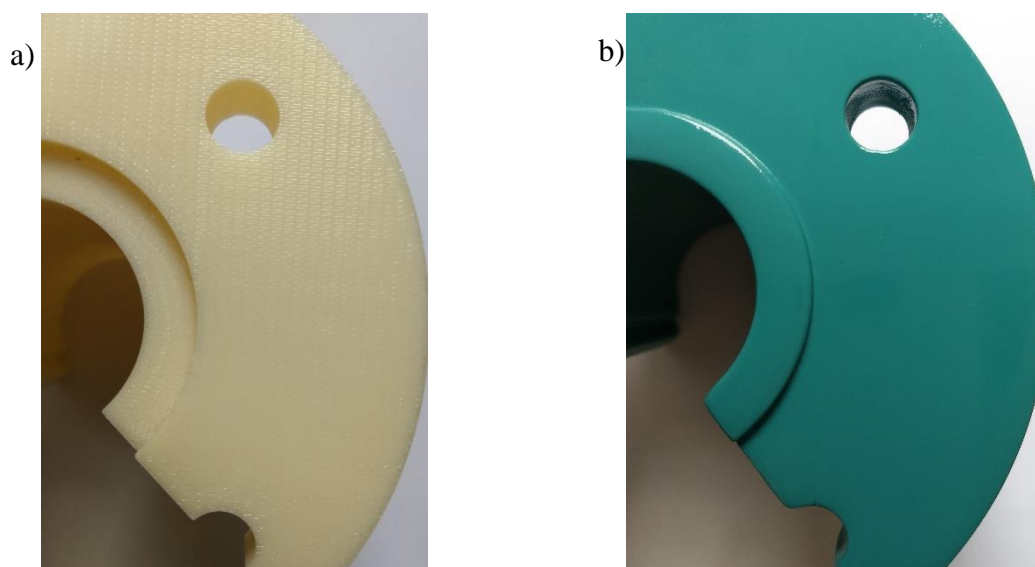
Najskôr boli všetky plochy kotúča spojky postupne brúsené pomocou brúsneho papiera o zrnitosti P400 z dôvodu vyhladenia povrchu pred nanosením plniča. Povrch kotúča

bol pomocou 96 % liehu odmastený a zbavený nečistôt. Následne bol postupným striekaním nanášaný na kotúč plnič PRISMA TECH v spreji. Jedná sa o základný béžový náter a tmel v spreji na akrylovej báze. Jeho cieľom je vyplniť nerovnomerný povrch spôsobený 3D tlačou. Po zaschnutí (24 hod) bol povrch postupne brúsený brúsnymi papiermi o zrnitosti P400, P600 a P800 aj s použitím vody (pozri obr. 5.7).



Obr. 5.7 Post-processing: a) brúsenie plôch kotúča spojky brúsnyim papierom, b) kotúč spojky po aplikácii plniča v spreji.

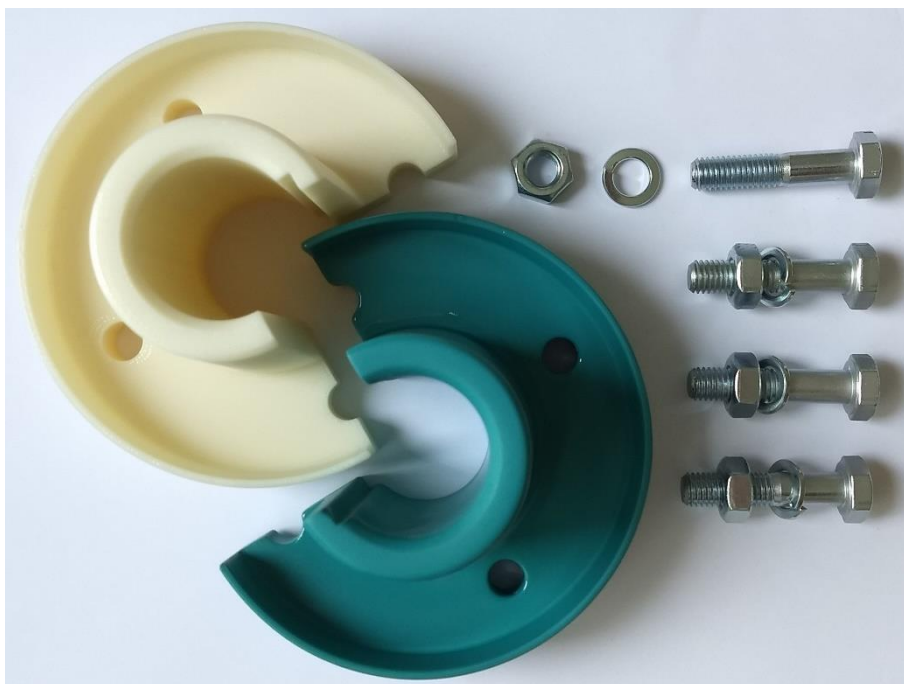
Finálnym krokom post-processingu bolo nanesenie farby a bezfarebného laku v spreji. Použitá bola akrylová farba DUPLI-COLOR v spreji odtieňu modrá tyrkysová. Po očistení povrchu bola na kotúč postupne nanášaná farba. Po zaschnutí (24 hod) bol povrch kotúča brúsený brúsnyim papierom o zrnitosti P800, z dôvodu dosiahnutia, čo najhladšieho povrchu. A následne po očistení bol aplikovaný finálny nástrek farby. Nakoniec bol kotúč ešte ošetrený nástrekom lesklého bezfarebného laku. Vďaka post-processingu boli odstránené nerovnosti spôsobené 3D tlačou a kotúč spojky získal hladký a lesklý farebný povrch (pozri obr. 5.8).



Obr. 5.8 Porovnanie povrchu: a) nerovnosti vytvorené 3D tlačou, b) kotúč spojky po nanesení akrylovej farby a bezfarebného laku v spreji.

5.4 Montáž

Na zostavenie spojky bolo potrebné zakúpiť 4 lícované skrutky s šesťhrannou hlavou M10 x 45 a k tomu odpovedajúce šesťhranné matice a pružné podložky. Komponenty potrebné na zostavenie spojky sú zobrazené na obr. 5.9. Finálny model kotúčovej spojky je zobrazený na obr. 5.10.



Obr. 5.9 Komponenty potrebné na montáž spojky.



Obr. 5.10 Finálna kotúčová spojka.

ZÁVER

Táto bakalárska práca sa zaoberala návrhom a výrobou kotúčovej spojky s využitím technológie 3D tlače. Cieľom práce bolo zhotoviť komplexnú učebnú pomôcku pre študentov SOŠ.

Zhrnutie dosiahnutých cieľov bakalárskej práce:

- bola spracovaná rešeršná štúdia v oblasti spojok s podrobnou charakteristikou kotúčovej spojky,
- taktiež bola popísaná aditívna technológia Rapid Prototyping so zameraním na metódu Fused Deposition Modeling a materiály, ktoré táto metóda využíva,
- bol uskutočnený pevnostný návrh kotúčovej spojky na konkrétnom príklade z praxe,
- v parametrickom programe Autodesk Inventor bol zhotovený konštrukčný návrh spojky,
- výroba jednotlivých kotúčov spojky bola realizovaná na 3D tlačiarni Dimension uPrint z aditívneho materiálu ABS plus,
- jeden z kotúčov spojky bol povýrobne opracovaný a na záver došlo k zostaveniu finálneho modelu kotúčovej spojky,
- zhotovená bola aj výkresová dokumentácia, zostavný výkres a výrobný výkres hnacieho kotúča spojky, ktorá je priložená k práci.

Záverom je možné zhodnotiť, že všetky ciele bakalárskej práce boli splnené.

ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV

- [1] ŘEŘÁBEK, Antonín. *Stavba a provoz strojů 2: pro školu a praxi. Strojní součásti*. 1. vyd. Praha: Scientia, 2009, 254 stran. ISBN 978-80-86960-21-0.
- [2] HOSNEDL, Stanislav a Jaroslav KRÁTKÝ. *Příručka strojního inženýra: obecné strojní části. 1, [Spoje, otočná uložení, hřídelové spojky, akumulátory mechanické energie]*. 1. vyd. Praha: Computer Press, 1999, 313 s. ISBN 80-7226-055-3.
- [3] BOLEK, Alfred a Josef KOCHMAN. *Části strojů. 1. svazek*. Vyd. 5., přeprac. (v SNTL 1. vyd.). Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1989, 775 s. ISBN 80-03-00046-7.
- [4] MÁLIK, Ladislav. *Konštruovanie. II*. 1. vyd. Žilina: Žilinská univerzita, 2009, 510 s. ISBN 978-80-8070-971-6.
- [5] BOŠANSKÝ, Miroslav. *Konštruovanie. II, Konštrukčné uzly*. 1. vyd. Bratislava: Nakladateľstvo STU, 2011, 326 s. ISBN 978-80-227-3510-0.
- [6] ZELENÝ, Jiří. *Stavba strojů - strojní součásti: učebnice pro střední průmyslové školy*. 2. vyd. Praha: Computer Press, 2003, 157 s. ISBN 80-7226-311-0.
- [7] MAŠEK, Antonín a Adolf NĚMEC. *Spojky*. 1. vyd. Bratislava: SVTL, 1963, 226 s.
- [8] Pružinové spojky Falk Steelflex. In: *Bmc-tech.cz* [online]. [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: <https://bmc-tech.cz/shopimg/37060.jpg>
- [9] Spojky PERIFLEX. In: *Kovomontprerov.cz* [online]. [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: https://kovomontprerov.cz/_files/200000013-9f3a2a032a/450/periflex.jpg
- [10] Pojistná spojka EAS-Compact. In: *Bmc-tech.cz* [online]. [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: https://bmc-tech.cz/download/96290_pojistna-spojka-eas-compact-pojistna-spojka-eas-compact.pdf
- [11] Amsbeck odředivá spojka. In: *BMC-TECH* [online]. Brno [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: https://bmc-tech.cz/shopimg/Amsbeck%20odst%C5%99ediv%C3%A1%20spojka_2.jpg
- [12] Volnoběžné spojky a zpětné brzdy Stieber. In: *Bibus.cz* [online]. [cit. 2020-05-06]. Dostupné z: https://www.bibus.cz/fileadmin/editors/countries/bisro/Produkty/Stieber/Volnob%C4%9B%C5%BE%C3%A9_spojky_a_zp%C4%9Bn%C3%A9_brzdy_Stieber_05.jpg
- [13] Elektromagneticky ovládané spojky GOIZPER. In: *Bmc-tech.cz* [online]. [cit. 2020-05-06]. Dostupné z: https://bmc-tech.cz/shopimg/Electromagnetic_edited.jpg
- [14] Hřídelová lamelová spojka ROBA DS. In: *Bmc-tech.cz* [online]. [cit. 2020-05-06]. Dostupné z: <https://bmc-tech.cz/shopimg/37144.jpg>
- [15] Hydrodynamická spojka WESTCAR Rotofluid. In: *Bmc-tech.cz* [online]. [cit. 2020-04-22]. Dostupné z: <https://bmc-tech.cz/shopimg/BETA%20DCF.jpg>
- [16] Elektromagnetická spojka ROBATIC. In: *Bmc-tech.cz* [online]. [cit. 2020-05-06]. Dostupné z: https://bmc-tech.cz/shopimg/ROBATIC_G_12_08.jpg
- [17] PÍŠKA, Miroslav. *Speciální technologie obrábění*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2009, 247 s. ISBN 978-80-214-4025-8.
- [18] SEDLÁK, Josef. *Aditivní technologie: Rapid Prototyping* [prednáška]. Brno: Fakulta strojního inženýrství VUT v Brně, [cit. 2020-05-26]. Dostupné z:

- http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/podklady/sto_bak/cv_STV_04_Aditivni_tehnologie_metody_Rapid_Prototyping.pdf
- [19] Základy 3D tisku s *Josefem Průšou* [online]. Praha: Prusa Research a.s., 2019 [cit. 2020-05-26]. Dostupné z: <https://www.prusa3d.cz/wp-content/uploads/zaklady-3d-tisku.pdf>
- [20] Postup výroby součásti [online]. [cit. 2020-06-08]. Dostupné z: <https://pc-rady.estranky.cz/clanky/3d-tisk/postup-vyroby-soucasti.html>
- [21] STL File Format. In: SOLIDWORKS *Tech Blog* [online]. [cit. 2020-06-04]. Dostupné z: <https://www.solidsolutions.co.uk/Uploaded/Image/BLOG-PICS/Nick%20Jones/SOLIDWOKRS-Blog-3D-Printing-STL-Res-Type.JPG>
- [22] ŘASA, Jaroslav a Zuzana KEREČANINOVÁ. Nekonvenční metody obrábění 9. díl. In: MM Průmyslové spektrum [online]. 2008, [cit. 2020-06-02]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metody-obrabeni-9-dil.html>
- [23] Stereolitografie [online]. [cit. 2020-06-01]. Dostupné z: <https://www.materialise.com/cs/manufacturing/technologie-materialy-a-dokoncovaci-upravy/stereolitografie>
- [24] ZEMČÍK, Oskar. Speciální technologie výroby: Metody Rapid Prototyping. [prednáška]. Brno: Fakulta strojního inženýrství VUT v Brně, [cit. 2020-05-26].
- [25] ŘASA, Jaroslav a Zuzana KEREČANINOVÁ. Nekonvenční metody obrábění 10. díl. In: MM Průmyslové spektrum [online]. 2008, [cit. 2020-06-01]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metody-obrabeni-10-dil.html>
- [26] Laserové sintrování [online]. [cit. 2020-06-02]. Dostupné z: <https://www.materialise.com/cs/manufacturing/technologie-materialy-a-dokoncovaci-upravy/laserove-sintrovani>
- [27] 3D tisk kovů [online]. [cit. 2020-06-02]. Dostupné z: <https://www.materialise.com/cs/manufacturing/technologie-materialy-a-dokoncovaci-upravy/3d-tisk-kovu>
- [28] Fused Deposition Modeling (FDM) [online]. [cit. 2020-06-04]. Dostupné z: <https://www.materialise.com/cs/manufacturing/technologie-materialy-a-dokoncovaci-upravy/fused-deposition-modeling-fdm>
- [29] FDM 3D Printing. In: Researchgate.net [online]. [cit. 2020-06-03]. Dostupné z: <https://www.researchgate.net/publication/327731187/figure/fig2/AS:672265947598851@1537292100603/FDM-3D-Printing-3.jpg>
- [30] Slovník materiálů: ABS [online]. [cit. 2020-06-15]. Dostupné z: <https://www.materialpro3d.sk/slovník-materialov/abs/>
- [31] Průvodce materiály [online]. [cit. 2020-06-15]. Dostupné z: <https://www.prusa3d.cz/materialy/>
- [32] Slovník materiálů: PLA [online]. [cit. 2020-06-15]. Dostupné z: <https://www.materialpro3d.sk/slovník-materialov/pla-material-pre-3d-tlac/>
- [33] Slovník materiálů: ASA [online]. [cit. 2020-06-15]. Dostupné z: <https://www.materialpro3d.sk/slovník-materialov/asa/>
- [34] Slovník materiálů: NYLON (PA) [online]. [cit. 2020-06-15]. Dostupné z: <https://www.materialpro3d.sk/slovník-materialov/nylon--pa/>

- [35] Slovník materiálů: PC [online]. [cit. 2020-06-15]. Dostupné z: <https://www.materialpro3d.sk/slovník-materialov/pc/>
- [36] 3D tisk z polykarbonátu (PC) [online]. [cit. 2020-06-15]. Dostupné z: <https://sharplayers.cz/support/3d-tisk-z-polykarbonatu-pc/>
- [37] Slovník materiálů: PET, PET-G, PET-G/CF [online]. [cit. 2020-06-15]. Dostupné z: <https://www.materialpro3d.sk/slovník-materialov/pet--pet-g--pet-g-cf/>
- [38] Slovník materiálů: PVA [online]. [cit. 2020-06-15]. Dostupné z: <https://www.materialpro3d.sk/slovník-materialov/pva/>
- [39] Slovník materiálů: HiPS [online]. [cit. 2020-06-15]. Dostupné z: <https://www.materialpro3d.sk/slovník-materialov/hips/>
- [40] Varimixer AR200 [online]. [cit. 2020-04-11]. Dostupné z: https://varimixer.com/wp-content/uploads/2017/10/Data-sheets_AR200.pdf
- [41] SIEMENS: Motory nové generace [online]. [cit. 2020-04-11]. Dostupné z: <http://www.mezmilko.sk/katalog/1LA7-NEW-MEZ.pdf>
- [42] ČERNOCH, Svatopluk. Strojně technická příručka I. 13. vyd. Praha: SNTL, 1977, 1294 s.
- [43] SVOBODA, Pavel a Jan BRANDEJS. Výběry z norem pro konstrukční cvičení. Doplněné vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2016, 234 s. ISBN 978-80-7204-838-0.
- [44] LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření. 1. vyd. Úvaly: Albra, 2003, 865 s. ISBN 80-86490-74-2.
- [45] SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE, Richard G. (Richard Gordon) BUDYNAS, Martin HARTL a Miloš VLK. *Konstruování strojních součástí*. 1. vyd. Brno: VUTIUUM, 2010, 1159 s. ISBN 978-80-214-2629-0.

ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK

Skratka	Popis
3D	Trojrozmerný
ABS	Akrylonitril Butadién Styren
ASA	Akrylonitril Styren Akrylát
CAD	Computer Aided Design
CO₂	Oxid uhličité
DMLS	Direct Metal Laser Sintering
FDM	Fused Deposition Modeling
HIPS	Húževnatý polystyrén
LOM	Laminated Object Manufacturing
MJM	Multi Jet Modeling
PA	Polyamid
PC	Polykarbonát
PET - G	Polyetylén Tereftalát – Glykol
PLA	Polymliečna kyselina
PVA	Polyvinylalkohol
RP	Rapid Prototyping
SGC	Solid Ground Cutting
SLA, SL	Stereolitografie
SLS	Selective Laser Sintering
SOŠ	Stredná odborná škola
STL	Stereolitografie
UV	Ultrafialové žiarenie
VUT	Vysoké učenie technické

Symbol	Jednotka	Popis
A_s	[mm ²]	prierez jadra skrutky v závitovej časti
b	[mm]	šírka pera
D	[mm]	rozstupový priemer skrutiek
D_2	[mm]	vonkajší priemer kotúča
D_s	[mm]	stredný polomer trecej plochy
d	[mm]	priemer hriadeľa
d'	[mm]	priemer valcového konca hriadeľa zmenšený o hĺbku drážky v hriadeli
d_2	[mm]	priemer lícovaného drieku skrutky
d_3	[mm]	priemer osadenia na centrovanie
F_1	[N]	obvodová sila na polomere rozstupovej kružnice
F	[N]	sila namáhajúca perový spoj
F_A	[N]	osová sila v jednej skrutke
F_T	[N]	trečia sila
f	[-]	súčiniteľ šmykového trenia medzi kotúčmi
i	[-]	počet skrutiek
K	[-]	prevádzkový súčiniteľ
l	[mm]	dĺžka pera
l_{min}	[mm]	minimálna dĺžka lícovaného drieku v kotúči spojky
M_v	[N.m]	výpočtový prenášaný krútiaci moment vplyvom prevádzkových javov
M_{men}	[N.m]	menovitý moment spojky
M_{ne}	[N.m]	menovitý krútiaci moment elektromotora
p_0	[MPa]	základná hodnota tlaku pre náboj
p_{a1}	[MPa]	dovolený tlak na bokoch drážky v náboji
p_{a2}	[MPa]	dovolený merný tlak
R_e	[MPa]	medza klzu
R_{se}	[MPa]	medza klzu v šmyku
S_1	[mm ²]	plocha prierezu skrutky v lícovanej časti drieku
S_2	[mm ²]	otláčaná plocha skrutky v kotúči
t	[mm]	hĺbka drážky v hriadeli

t_1	[mm]	hĺbka drážky v náboji
W_k	[mm ³]	modul kruhového prierezu v krute
σ_{DT}	[MPa]	dovolené napätie v ťahu
τ_{DK}	[MPa]	dovolené napätie v krute
τ_{DS}	[MPa]	dovolené napätie v šmyku
τ_{max}	[MPa]	maximálne napätie v šmyku

ZOZNAM PRÍLOH

- | | |
|-----------|--|
| Príloha 1 | Konceptný návrh kotúčovej spojky pre skrutkový spoj s lícovanou skrutkou |
| Príloha 2 | Zostavný výkres s kusovníkom |
| Príloha 3 | Výrobný výkres hnacieho kotúča spojky |