

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

ÚSTAV TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ, PROJEKTOVÁNÍ A METROLOGIE



NÁVRH A VÝROBA PŘÍPRAVKU PRO
DOKONČOVÁNÍ KOLA RADIÁLNÍHO KOMPRESORU

DESIGN AND MANUFACTURING OF FIXTURE FOR IMPELLER FINISHING

DIPLOMOVÁ PRÁCE

AUTOR:	Bc. JAN SVOBODA
VEDOUCÍ PRÁCE:	Ing. ZDENĚK PITRMUC
STUDIJNÍ PROGRAM:	STROJNÍ INŽENÝRSTVÍ
STUDIJNÍ OBOR:	VÝROBNÍ A MATERIÁLOVÉ INŽENÝRSTVÍ

PRAHA, 2019

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení:	Svoboda	Jméno: Jan	Osobní číslo: 438615
Fakulta/ústav:	Fakulta strojní		
Zadávací katedra/ústav:	Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie		
Studijní program:	Strojní inženýrství		
Studijní obor:	Výrobní a materiálové inženýrství		

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Návrh a výroba přípravku pro dokončování kola radiálního kompresoru

Název diplomové práce anglicky:

Design and manufacturing of fixture for impeller finishing

Pokyny pro vypracování:

- 1) Rozbor SPM dokončovací technologie
- 2) Definice základních konstrukčních prvků přípravku
- 3) Tvorba CAD modelu
- 4) Tvorba výkresové dokumentace
- 5) Prototypová výroba

Seznam doporučené literatury:

- 1) Výrobní dokumentace stroje SPM LPG 1
- 2) POSPÍCHAL, Jaroslav. Technické kreslení. 4., přeprac. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2014. ISBN isbn:978-80-0105-595-3.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Zdeněk Pitrmuc, ústav technologie obrábění, projektování a metrologie FS

Jméno a pracoviště druhého(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **02.04.2019** Termín odevzdání diplomové práce: **19.07.2019**

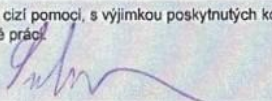
Platnost zadání diplomové práce: _____

 Ing. Zdeněk Pitrmuc podpis vedoucí(ho) práce	 Ing. Libor Beránek, Ph.D. podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry	 prof. Ing. Michael Valášek, DrSc. podpis děkana(ky)
--	---	---

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

17. 4. 2019 Datum převzetí zadání

 Podpis studenta

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracoval samostatně a použil jsem podklady (literaturu, patenty, software a další) uvedené v příloženém seznamu.

V Praze dne:

Podpis autora:

Poděkování:

Rád bych chtěl poděkovat svému vedoucímu diplomové práce Ing. Zdeňku Pitrmucovi za jeho cenné rady a připomínky na odborných konzultacích a také za pomoc při samotné výrobě přípravku.

Anotace:

Tato diplomová práce se zabývá návrhem a výrobou přípravku pro oběžné kolo radiálního kompresoru v leteckém motoru. Teoretická část pojednává o jednotlivých přípravcích a uvádí doporučený postup při navrhování přípravku. Navrhovaný přípravek je konstruován pro použití ve speciálním leštícím stroji SPM LPG 1. Hlavní část práce se tak orientuje na postupnou optimalizaci návrhu konkrétního přípravku. Dále práce uvádí výrobní postupy pro jednotlivé části přípravku.

Klíčová slova:

Přípravek, návrh, výroba, oběžné kolo, ustavení, upnutí, leštění

Abstract:

This diploma thesis deals with design and manufacturing of radial compressor's impeller in aircraft engine. The theoretical part deals with types of fixture and describes recommended procedure for fixture designing. The proposed fixture is designed for use in the special polishing machine SPM LPG 1. The main part of the thesis is focused on the gradual optimization of designing particular fixture. Furthermore, the thesis introduces manufacturing processes for each part of fixture.

Key words:

Fixture, design, manufacturing, impeller, locating, clamping, polishing



Obsah

1	Úvod	8
2	Přípravky ve výrobě	9
2.1	Definice, rozdělení a účel přípravků	9
2.2	Ekonomika přípravků	12
2.3	Základní požadavky na přípravky	13
2.3.1	Přesnost ustavení obrobků	13
2.3.2	Zajištění vhodnosti a bezpečnosti	13
2.3.3	Produktivita v kusové, sériové a hromadné výrobě	14
2.3.4	Nízké výrobní náklady	14
2.4	Proces navrhování přípravku	15
2.4.1	Přípravná část	15
2.4.2	Konstrukční část	16
2.5	Volba materiálu	18
2.6	Ustavení obrobků	19
2.6.1	Nepřesnost ustavení a upnutí	20
2.6.2	Pevné opěrné prvky	21
2.6.3	Prizmatické opěry	22
2.6.4	Kuželové opěry	23
2.6.5	Válcové opěry	24
2.7	Upínání obrobků	25
2.7.1	Mechanické upínací prvky	27
2.7.2	Upínání pneumatické a hydraulické	29
2.7.3	Magnetické upínání	32
2.8	Další části přípravků	34
2.8.1	Ustavující a vodící části	34
2.8.2	Tělesa a pomocné části	34
2.9	Univerzální přípravky	35
2.10	Stavebnicové přípravky	37
2.11	Využití počítače při návrhu přípravku	39
3	Analýza úkolu	41
3.1	Oběžné kolo	41
3.2	Leštění na stroji SPM LPG 1	42



3.3	Analýza výchozího stavu	44
3.3.1	Analýza součástí	44
3.3.2	Dostupnost polotovarů	47
3.3.3	Výrobní profil Ústavu	48
4	Navrhování přípravku.....	52
4.1	Návrh první.....	52
4.2	Návrh druhý	53
4.3	Návrh třetí	54
4.4	Návrh čtvrtý.....	56
4.5	Návrh pátý.....	59
4.6	Finální návrh.....	64
5	Výroba přípravku.....	66
5.1	Vybrané polotovary a použité nástroje.....	66
5.2	Výroba - horní kryt	68
5.3	Výroba - spodní kryt	72
5.4	Výroba - kruhová deska.....	75
5.5	Výroba - nastavovací kroužek	76
5.6	Výroba - segmenty krytu lopatek.....	78
5.7	Montáž přípravku.....	79
6	Závěr.....	82
7	Použitá literatura.....	83
8	Seznam obrázků	87
9	Seznam tabulek	89
10	Seznam symbolů a zkratk	90
11	Seznam příloh.....	93

1 Úvod

Ve strojírenské výrobě existují kritéria, která hodnotí výsledek výrobního procesu. Jedním z těchto kritérií je i drsnost povrchu součástí. U funkčních součástí, přes které proudí vzduch, může být tento parametr důležitý z hlediska účinnosti celého systému. Tak tomu je i u oběžného kola radiálního kompresoru, které je umístěno v leteckém motoru. Čím menší bude hodnota parametru drsnosti povrchu, tím bude vzduch proudit po lopatkách s nižšími ztrátami a oběžné kolo radiálního kompresoru tak bude pracovat s vyšší účinností.

Frézováním lopatek a prostoru mezi nimi, není možné dosáhnout velmi nízkých hodnot drsnosti povrchu na oběžném kole, protože se obrábí složité obecné plochy. Proto je nutné použít speciální metody obrábění. Jednou z těchto metod je leštění s leštícím médiem. Vibrační elementy stroje rozkmitají leštící médium, které tak proudí kolem obrobku v uzavřené komoře. Pokud ale je požadavek na leštění jen určité části obrobku, je nutné využít upínací a maskovací přípravky.

Přípravky mají především za cíl ustavit a upnout obrobek v požadované a stabilní poloze vůči nástroji stroje. Mohou ale také sloužit k zakrytí části obrobku. Jednotlivé ustavující a upínací prvky jsou použitelné jen pro určitý typ obrobku či výroby. Rozborem jednotlivých možností přípravku se zabývá teoretická část práce.

Hlavními cíli mé práce je tedy navrhnout přípravek pro leštění části oběžného kola radiálního kompresoru a následně i tento přípravek vyrobit. Návrh musí respektovat možnosti leštícího stroje, výrobní profil a dostupné polotovary na Ústavu technologie obrábění, projektování a metrologie, kde proběhne výroba přípravku. Správnost návrhu a výroby přípravku se provede umístěním přípravku na zkušební oběžné kolo.

2 Přípravky ve výrobě

Přípravky jsou speciálním nástrojem v obrábění, kontrole, montáži, svařování a mnoho dalších výrobních činnostech. Přípravky slouží k ustavení a upnutí obrobku tak, aby byla zajištěna pozice obrobku vůči nástroji. Hlavní funkcí tedy je podepření, umístění a upnutí obrobku. Jsou to doplňky výrobních strojů. Častá kontrola polohy, ustavení a upnutí na obrobku je eliminováno přípravkem, za účelem snížení nerovnoměrné kvality během výrobního procesu. Díky přípravkům má výrobní proces vyšší produktivitu. Také díky nim dochází ke zkrácení času potřebného k výrobě součásti. Přípravky jsou od nepaměti používány v průmyslu kvůli svým vlastnostech a nesporným výhodám. Mají totiž přímý vliv na náklady výrobku. Žádný druh výroby, ať jde o tradiční výrobu či moderní flexibilní výrobní systémy, se neobejde bez přípravků. Proto se na následujících stránkách této kapitoly budu zabývat přípravky nejdříve z obecného pohledu, poté jednotlivými druhy přípravků a na konci automatickým návrhem přípravku. [1,2]

Obráběná součást musí být na stroji upnuta a ustavena tak, aby stále zachovávala stálou polohu vzhledem k nástroji. Tato poloha se při práci působením řezných sil nesmí měnit. Toto je základní důvod, proč se přípravky používají. [3]

2.1 Definice, rozdělení a účel přípravků

Přípravek se dá definovat jako pomocné zařízení určené:

- a) k jednoznačnému ustavení a k pevnému uchycení součásti při procesu obrábění,
- b) k vzájemnému ustavení a přidržení více součástí při jejich montáži v celek,
- c) k vedení nástroje,
- d) ke kontrole obrobků. [3,4]

Přípravky se dají rozdělit dle:

- a) rozsahu použitelnosti na:
 - 1) *Stavebnicové přípravky*, které využívají typizované díly, které se skládají v jeden požadovaný celek (přípravek). Velkou výhodou je široká rozmanitost jednotlivých dílů. Lze tak sestavit velké množství různých přípravků;
 - 2) *Univerzální přípravky* sloužící k upínání několika druhů obrobků stejného typu, ale různých velikostí či tvarů. Některé přípravky však vyžadují pro každý druh obrobku speciální doplněk (např. speciální čelisti ve strojním svěráku);

- 3) *Skupinové přípravky*, kde celý přípravek nebo jeho část je společná pro skupinu obrobků. Tento typ přípravků se skládá ze stálých a vyměnitelných nebo seřiditelných součástí. Mezi stálé součásti lze zařadit těleso přípravku, upínací mechanismus a jeho silovou jednotku apod. Mezi vyměnitelné a seřiditelné součásti patří ustavovací a vodící elementy přípravku, ale v určitých případech i upínací elementy. Vyměnitelné součásti či jejich skupiny se řeší dle zvláštností tvaru každé součásti a skupiny součástí a vyměňují se při změně dávky součástí jednoho druhu za dávku součástí jiného druhu;
- 4) *Speciální přípravky*, které mají využití jen při jedné konkrétní operaci na obrobku. Jedná se o jednoúčelové přípravky, díky nimž lze obrobek upnout výhodněji oproti univerzálnímu přípravku. [3,4]

b) druhu operace na:

- 1) *přípravky k obrábění*, jejichž funkcí je upnutí obrobku v dané poloze vzhledem k nástroji. Je-li zároveň nutné nástroj vést, je toto vedení součástí přípravku.
 - *svěrák* - upnutí pro obrobky s rovnoběžnými stěnami. Pro nepravidelnými tvary se používají speciální čelisti pro správné upnutí bez poškození povrchu obrobku;
 - *rotační p.* - především sklíčidla pro upnutí rotačních součástí;
 - *brousící p.* - magnetické stoly;
 - *vyvrtávací p.* - přípravek má vlastnosti vrtacího nebo upínacího přípravku a dochází k rozšíření původní díry;
 - *opěrné prvky* - pevné se šestihrannou hlavou, s válcovou hlavou, opěrné lišty, boční opěry, stavitelné opěry, prizmatické opěry, kuželové a válcové opěry;
- 2) *Montážní přípravky*, které jsou primárně určeny k přidržení součásti při spojení rozebíratelném, ale i nerozebíratelném. I svařovací přípravky lze zařadit do této skupiny;
- 3) *Rýsovací přípravky*, díky nimž se rýsují tvary před obráběním;
- 4) *Kontrolní přípravky*, jichž se využívá ke kontrole rozměrů, potažmo geometrických tvarů;
- 5) *Ostatní pomocná a dílenská zařízení*. Sem lze zařadit pomůcky určené k obrábění ploch speciálních tvarů, které se dají obrábět na běžných obráběcích strojích jen s přídatným zařízením (např. zařízení k řezání závitů s proměnným stoupáním). Dále pomůcky, co vylepšují pracovní možnosti stroje (např. mnohovřetenové vrtací



hlavy). Řadí se sem i pomocná nakládací zařízení, díky nimž lze vkládat, polohovat a vyjímat těžké součásti ze stroje. [2,3,4]

c) způsobu upínání na:

- 1) *Přípravky s ručním či mechanickým upínáním*, které jsou navrhovány tak, aby fyzická námaha vynaložená dělníkem k upnutí obrobku byla co nejmenší. Dále je snaha o řešení takové, aby čas potřebný k výměně dělníkem (uvolnění, výměna, upnutí a očištění) byl co nejkratší;
- 2) *Přípravky s jiným upínáním*, kde se upínací síla vyvine:
 - *tlakovou kapalinou* (hydraulicky) - tlak kapaliny působí na píst válce,
 - *stlačeným vzduchem* (pneumatické) - membrány, pístové válce,
 - *elektromechanicky*, kde síla je vyvolána cívkou a jádrem,
 - *magnetickým polem* - elektromagnety, elektropermanentní upínač
 - *podtlakem* (vakuově) - přísátím základny,
 - *hmotou s pamětí*, kde se využije vlastností některých materiálů, které po stlačení následně získají svůj původní tvar,
 - *kombinací předchozích metod*. [3,4]

Přípravky ve výrobě napomáhají ke zlepšení výsledné kvality výrobku, a také k vyššímu výkonu pracovníka. Některé přípravky jsou nezbytné v procesu výroby, protože umožňují danou operaci provést. Konstrukce a použití se řídí typem výroby a dané aplikace. Při kusové výrobě se převážně využívají univerzální přípravky, protože výroba či nákup speciálních jednoúčelových přípravků by byl ekonomicky nevýhodný. Upínání tak většinou není jednoduché. Je nutné zabránit zmetkům, především u velmi drahých obrobků. Proto je zapotřebí zkušených pracovníků, kteří zvládnou nepohodlné, zdlouhavé a složité ustavení a upínání. Při sériové a hromadné výrobě je vhodné použití speciálních přípravků či speciálních výrobních zařízení. V důsledku použití speciálních přípravků se zaručuje rychlé a správné umístění součásti vzhledem k nástroji. Tímto použitím dochází ke snížení vlivu dělníka na výrobní proces. Dochází k podstatnému zkrácení vedlejších časů při zachování výroby s definovanou přesností. [3,4]

Účelem přípravků je:

- a) zpřesnění výroby,
- b) zjednodušení obsluhy a snížení vlivu dělníka na proces,
- c) zkrácení vedlejších časů,
- d) snížení nákladů na výrobu součástí,

- e) odstranění náročné a zdraví nebezpečné práce,
- f) rozšířit možnosti využití výrobního stroje. [5]

2.2 Ekonomika přípravků

Velmi důležitým aspektem každé výroby je její hospodárnost. A to platí především v dnešním konkurenčním prostředí, proto se budu krátce zabývat i ekonomikou přípravků. Hospodárnost výrobní pomůcky či přípravku je důležitá z hlediska možné úspory nákladů při výrobě součásti či součástí v rámci celého podniku. Zvyšování úspor na výrobních nákladech závisí na přípravku a zařízení. Konstrukci zařízení a přípravku konstruktér volí tak, aby umožňovala co největší zkrácení vedlejších časů výroby při dodržení funkčnosti. Důležitým faktorem také může být složitost práce se stroji a danými přípravky tak, aby byl zapotřebí méně kvalifikovaný pracovník, což ušetří mzdové náklady. Velmi složité, přesné a přemrštěné požadavky vyžadují použití speciálního nářadí, což vede ke zvýšeným nákladům na výrobu. Ve fázi návrhu musí konstruktér znát technické údaje a výkonnost strojů, pro které bude přípravek určen. [3,4]

Použitím vyššího počtu normalizovaných a typizovaných součástí se pracnost konstrukce zmenšuje a zkracuje se čas výroby. Celkově se tak usnadní a zlevní výroba zařízení a přípravků v nářadovnách. Mezi hlavní vlivy na cenu přípravku či zařízení lze zařadit zejména technologičnost konstrukce, rozměry a přesnost obrobku, technologický postup a materiál přípravku. Dále počet použitých normalizovaných a typizovaných součástí přípravku či zařízení. [3]

Výroba přípravku bude mít smysl, pokud bude rentabilní, tj. náklady na pořízení a udržování zařízení s přípravkem budou nižší než vzniklé úspory při zavedení přípravku. Přípravek bude rentabilní, pokud je splněn vztah (1):

$$U(1 + R_v) \geq \frac{C_p \frac{1}{K_p} + B}{n_v} \quad (1)$$

- kde: U úspora v přímých mzdách na jeden obrobek [Kč/ks],
 R_v koeficient režie příslušné výroby [%],
 C_p cena přípravku se započítanou režií [Kč],
 K_p pravděpodobná životnost přípravku [roky],
 B náklady na seřízení zařízení (přípravků) na stroji při výrobě n_v kusů [Kč/rok],
 n_v průměrný počet výrobků za jeden rok [ks/rok]. [3,4]

2.3 Základní požadavky na přípravky

Přípravky jsou vybavením ve výrobě, které se používají pro zvýšení efektivity výroby a kvality výrobků. Aspekty popsané v následujících čtyřech podkapitolách jsou obzvláště důležité při návrhu přípravků. [1,4]

2.3.1 Přesnost ustavení obrobků

Nejdůležitější věcí při návrhu přípravku je zajištění přesnosti při ustavení obrobku v každém nastavení, ale i zajištění příslušné rozměrové přesnosti. Při použití přípravku ve výrobě je přesnost ustavení zajištěna následujícími způsoby:

- a) Správný výběr a návrh polohovacích či ustavujících součástí a komponent tak, aby bylo možné správně vytvořit prostorové vztahy mezi obráběnými plochami a vztažným bodem ustavení;
- b) Správný výběr a návrh spojovacích součástí pro upnutí přípravku k základní desce či stolu obráběcího stroje tak, aby bylo možné opakovaně zajistit orientaci a polohu obrobku vzhledem ke stolu stroje;
- c) Návrh konstrukce přípravku s dostatečnou upínací silou tak, aby se polohy přípravků, zejména ustavujících prvků, neměnily při upínání či samotném obrábění. Aby se zabránilo vibracím během obráběcího procesu, je důležitá sledovat i dynamickou tuhost celé konstrukce;
- d) Pokud možno vycházet při všech operacích z jedné společné základny pro ustavení. Jiná ustavující plocha při další operaci vede k více nepřesnostem v dalších operacích. Výsledná přesnost je tak ohrožena;
- e) Konstruování přípravku s dostatečnou pevností a odolností proti opotřebením. To se využije zejména u přípravků, které se používají opakovaně. [1,4]

2.3.2 Zajištění vhodnosti a bezpečnosti

Při používání přípravků na NC obráběcích strojích a obráběcích centrech je vhodnost a bezpečnost při upínání a obrábění velmi důležitá z důvodu automatizovaného pohybu nástrojů a výrobních zařízení. Pokyny při návrhu přípravku, které by měli být uplatněny jsou následující:

- a) Navržení přípravku tak, aby byl vhodný pro vložení a vyjmutí obrobků ze stroje. Při vložení a vyjmutí obrobku z/do stroje je nežádoucí jakýkoliv dotyk nebo kolize komponent přípravku s nástroji či roboty sloužících k výměně nástrojů. Při návrhu přípravku je nutné dbát na dostatečný prostor pro upínání na stroji;
- b) Třísky mohou ovlivnit účinnost přípravku při výrobě. Třísky v přípravku mohou způsobit změnu polohy obrobku v přípravku nebo poškození upínacích prvků, ale v konečném důsledku i výrobu zmetků. Při řešení návrhu přípravku je nutné odstranit vliv třísek především jejich vhodným odstraňováním či krytováním. Vliv třísek je menší na zakalených přípravných či přípravných se zvýšenou odolností proti otěru. V neposlední řadě mohou třísky způsobit zranění pracovníka. Odstranění třísek lze dosáhnout dírami v přípravku, zešíkmením stěn a také uspořádáním přípravku tak, aby třísky z něho padaly vlastní hmotností nebo vylétávaly odstředivou silou. Dále je možné třísky odstranit proudem kapaliny, odsáváním nebo odfukováním stlačeným vzduchem;
- c) Návrh přípravku by měl být vhodný pro měření a seřizování. V určitých případech je nutné změřit polohu a orientaci obrobku před samotným obráběním, například dotykovou sondou. Proto je nezbytné mít dostatečný prostor pro tyto úkony. [1,3]

2.3.3 Produktivita v kusové, sériové a hromadné výrobě

Základním úkonem při návrhu přípravku do výroby je zjištění o předpokládané poptávce produktu. Je velký rozdíl navrhovat přípravky pro kusovou, sériovou a hromadnou výrobu. V kusové výrobě jsou nejčastější přípravky univerzální a to takové, aby s jedním přípravkem šlo upnout více obrobků. Standardizovaných a modulárních řešení se využívá především v sériové výrobě tak, aby byla zajištěna kvalita a rychlost výroby a nízké náklady na přípravky. V sériové výrobě se strategie upínání liší dle aplikace. V hromadné výrobě je produktivita důležitější, a proto jsou zvýšené náklady na speciální jednoúčelové přípravky rozvrhnuty do velkého počtu výrobků daného typu. Návrh těchto přípravků je ovšem časově velmi náročný. Proto je podstatné navrhovat přípravky přesně na míru bez chyb. Při velkých sériích se čas na upnutí nebo ustavení do přípravku stává důležitým faktorem z hlediska výše výrobních nákladů. [1]

2.3.4 Nízké výrobní náklady

Standardizované nebo modulární řešení přípravků hraje důležitou roli ve snižování nákladů na výrobu a ve zrychlení přípravy na zavedení přípravku. V rámci podniku, přípravky nejsou

finálními produkty. Opětovné použití jednotlivých částí přípravku je přínosné při výrobě kusové i sériové. Proto je žádané používání co nejvíce standardizovaných součástí při návrhu přípravku. Rozvoj modulárních a standardizovaných řešení je spjatí s vývojem softwaru pro návrh konfigurace přípravku (CAFD). V dnešní době jsou již integrovány do softwarů CAD/CAM i moduly plánující návrh přípravku pro daný obrobek automaticky. [1,4]

2.4 Proces navrhování přípravku

Úspěšné navrhnutí přípravku vždy začíná logickou a systematickou analýzou. Po kompletní analýze funkčních požadavků je pravděpodobnost pozdějšího odhalení chyb v návrhu velmi malá. Pokud se objeví chyby, je pravděpodobné, že některé základní požadavky na návrh přípravku byly opomenuty nebo nedostatečně vyhodnoceny. Analýza požadavků může trvat od několika hodin až po několik dní. Složitost, velikost a tvar přípravku je závislý na sériovosti výroby obrobku, pro nějž je přípravek určený. Návrh a konstrukci přípravku můžeme rozdělit na fázi přípravnou a na vlastní konstrukční práci. [2,5]

2.4.1 Přípravná část

Pokud se začíná uvažovat o zahájení návrhu nového přípravku, prvním bodem je jasné definování problémů nebo co je potřeba splnit. Čím více máme informací o požadavcích na daný přípravek, tím méně by měl obsahovat konstrukčních chyb. Shromáždění relevantních dat je tedy nezbytné. Hlavní zdroj informací se skládá z výrobních postupů a specifikací strojů, které jsou aktuální. Všechny myšlenky, pozorování, úvahy a návrhy je vhodné zapisovat do tzv. „Kontrolního seznamu úvah a návrhů“. Pro konstruktéra je vždy lepší vycházet z více nápadů a návrhů. [2,5]

Hlavním obsahem mé práce je navrhnout a vyrobit přípravek. Tudíž je nezbytné, abych uvedl doporučený postup při navrhování přípravku.

Přípravná část tkví ve:

- a) zjištění *počtu vyráběných kusů*, tedy velikosti vyráběné série. To má vliv na druh přípravku, a tudíž i na jeho hospodárnost. Pokud se ve výrobě nachází výrobek či výrobky, které jsou konstrukčně nebo technologicky podobné, je vhodné zvážit návrh skupinového přípravku;



- b) v analýze *výkresu výrobku* z hlediska technologičnosti konstrukce. Jde o možnou úpravu tvarů, předepsané přesnosti rozměrů anebo drsnosti ploch;
- c) v analýze *výrobního postupu a dostupnosti výrobních strojů*. Použitím přípravku mohou navrhnout změnu počtu a sledu operací, změnu typu a velikosti obráběcího stroje. Také mohou navrhnout vhodnější nástroj včetně vhodných řezných podmínek. Vždy je ale nutné vycházet z výrobního profilu (stroje, zařízení) firmy;
- d) v *dostupnosti pracovníků*, kteří buď navrhují, vyrábějí či montují přípravky. Nedostatek specializovaného personálu může být v dnešní době velkým problémem. [2,5]

2.4.2 Konstrukční část

Typický obrobek může být ve stroji umístěn a upnut několika odlišnými způsoby. Proto jsou na konstruktéra kladeny požadavky spojené s kreativitou při řešení návrhu přípravku. Člověk má přirozenou vlastnost myslet na jedno, dle vlastních myšlenek, nejlepší řešení, a to dále rozvíjet a vylepšovat. Zároveň potlačuje a blokuje další, v mnoha případech lepší řešení. Konstruktor či návrhář by měl zvážit a případně rozvinout více přijatelných variant. Pokud se samozřejmě záhy zjistí nevhodnost jednotlivého řešení přípravku, je tento návrh vyřazen. Hlavním důvodem pro vytvoření více variant je nutnost zhodnocení jednotlivé varianty i po stránce ekonomické, tedy konečných výrobních nákladů. Typicky probíhá rozhodování mezi přípravky univerzálními, modulárními a také speciálními jednoúčelovými. Každé toto řešení má ještě různé možnosti ustavení a upnutí obrobku. [2,5]

Pro vlastní konstrukční práce na přípravku je doporučen tento postup:

- a) první rozhodnutí se týká ohledně stanovení počtu výrobků, které budou najednou ustaveny, upnuty a dále obráběny v přípravku. Dalším kritériem je, zda bude přípravek použit pro jednu nebo více operací;
- b) rozhodnutí o umístění obrobku v poloze, v jakém bude v přípravku ustaven. Je vhodné připravit předběžný náčrt situace;
- c) zakreslení opěrných a ustavujících prvků - pokud je to možné, musí řezné síly primárně působit do plochy vymezené opěrnými body. Upínací síly musí působit proti jakémukoliv pevnému opěrnému bodu. Těžiště obráběné plochy je vhodné navrhovat tak, aby bylo uprostřed mezi opěrnými body;
- d) náčrt prvků, které slouží k nastavení nástrojů a vodicích prvků nástrojů při práci. Příkladem jsou vrtací pouzdra;



- e) určení ploch, za které lze provést upnutí. Zároveň nesmí dojít k deformaci obrobku. Upínací prvky musí zajistit přesné a bezpečné upnutí obrobku. Nesmí dojít ke kolizi upínacích prvků s nástroji při obrábění;
- f) vytvoření tělesa přípravku, kde se spojí jednotlivé části přípravku. Tedy ustavující a opěrné prvky, upínací prvky a prvky sloužící k vedení nástroje. [2,5]

Zanesení jednotlivých těchto bodů do nákresu pomůže identifikovat problémové oblasti v návrhu daného přípravku. [2]

Další zásady, kterých je vhodné dbát při návrhu přípravku:

- pro menší série je výhodné nakonfigurovat operace tak, aby se přípravek dal použít při více operacích,
- předcházející obrábění vytvoří plochy pro upnutí a ustavení v následující operaci,
- přípravek musí být tuhý tak, aby se vlivem upínacích a řezných sil nedeformoval,
- obráběná plocha musí ležet co nejbližší upínací ploše z důvodu zajištění stability přípravku,
- je dobré vzít v potaz již dostupné upínací prvky ke stroji,
- ovládací prvky jsou snadno přístupné a jejich počet je co nejmenší, obsluha ovládacích prvků je pohodlná a jednoduchá,
- využití co nejvíce normalizovaných či stavebnicových řešení,
- smysl otáčení ovládacích prvků je jednotný (ideálně ve smyslu hodinových ručiček),
- konstrukce přípravku nesmí umožnit ustavení a upnutí obrobku v jiné než předpokládané poloze
- zajištění snadného čištění hlavně dosedacích ploch a zajištění odvodu řezné kapaliny s třískami,
- plochy vystavené opotřebení mají být odolné proti otěru nebo vyměnitelné
- přípravky upínané do vřetena musí být lehké a vyvážené, aby nezvyšovaly moment setrvačnosti čili neztěžovaly rozbíhání a brzdění,
- obrábění s přípravky musí být přesné a opakovatelné k zajištění vysoké kvality výrobků
- ostré hrany, s kterými pracovník přijde do kontaktu, musí být zaobleny nebo sraženy,

- přípravek, s kterým se bude manipulovat ručně nesmí vážit více než 15 kg, přemísťování těžších je zajištěno např. závěsnými oky,
- využití moderních metod, např. 3D tisku z plastového nebo kovového materiálu,
- v dnešní době je důležité myslet i na celkový design přípravku,
- volba vhodného materiálu,
- ustavení, upnutí a vyjmutí musí proběhnout v co nejkratším čase,
- využití předhotovených součástí,
- stanovení tolerancí přípravku v rozumné míře, přípravky s velmi přísnými tolerancemi jsou dražší, ale nemusí zaručovat lepší ustavení a pevnější upnutí. [2,3,4]

Při finálním zhodnocení a výběru nejvhodnější varianty rozhoduje výše úspor na mzdě dosažená použitím přípravku. Při zpracování více variant je nejlepší zvolit tu variantu, která dosáhne nejvyšších úspor na mzdě na jeden výrobek. Výše úspor se počítá, dle již uvedeného vztahu (1) v podkapitole 2.2. [2,4]

Poslední fází je realizace vybraného návrhu. Všechny detaily již musí být vyřešeny. Nutností při výrobě přípravku či celého řešení je samozřejmě kompletní výkresová dokumentace. Ještě před implementací přípravku do výroby je nutné přípravek otestovat na zkušebních vzorcích. Při kombinaci těchto doporučených postupů a zdravého rozumu se dosáhne přípravku méně nákladného v konečném účtování. Zároveň přípravek zvyšuje účinnost výrobního procesu a snižuje náklady na mzdu na jeden obrobek. [2,4]

2.5 Volba materiálu

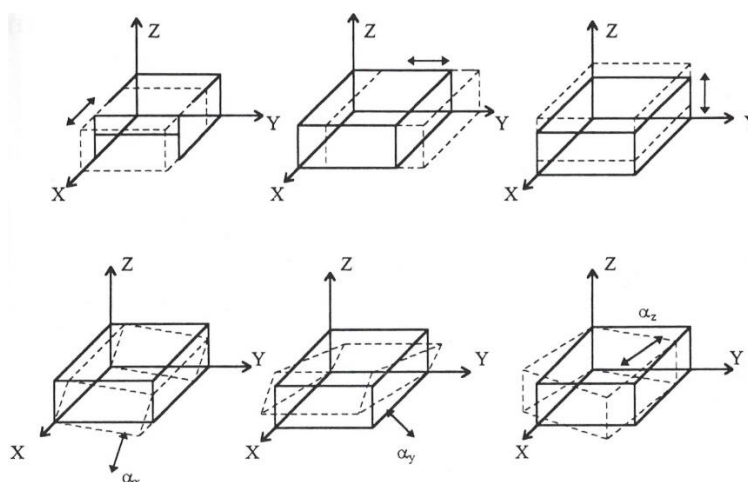
Dostatečná pevnost, pružnost, tuhost, odolnost proti opotřebení apod. To vše jsou požadavky, kterým musí materiál přípravek vyhovovat. Dnes je na konstruktéra kladen tlak, aby používal co možná nejlevnější materiály. V tom případě si ale konstruktér musí být jistý, že daný materiál přípravek bude vyhovovat všem požadavkům konkrétního obráběcího či jiného procesu. Přípravek má výrobu především zlevnit. Případné opakování výroby či samotného návrhu přípravku by mohlo celkovou výrobu nakonec prodražit, což není přípustné. U přípravků, s kterými se bude často manipulovat, je vhodné volit materiály nižší hustoty, tudíž ve výsledku menší hmotnosti. [3,4]

Hlavní zásady při volbě materiálu přípravku:

- zajištění požadované přesnosti přípravku,
- nízká hmotnost přípravku,
- cena (i normalizovaných a stavebnicových prvků),
- dostupnost materiálu ve skladu firmy,
- stupeň obrobení jednotlivých částí přípravku,
- pracovní prostředí, kterému bude přípravek vystaven,
- zajištění požadavků (tuhost, pružnost, odolnost proti otěru, a další), tvaru a funkce. [3,4]

2.6 Ustavení obrobků

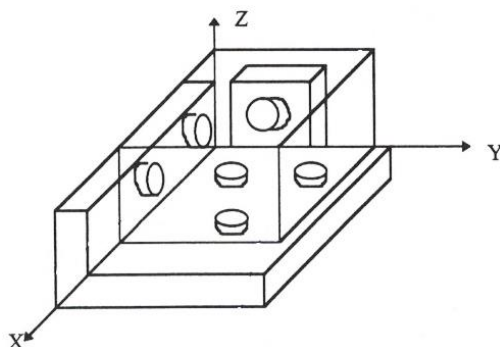
Součást se musí uložit na stroj nebo upnout do přípravku během výroby v určité poloze vzhledem k nástroji. Základní plocha obrobku se dělí na plochu *základní rozměrovou*, od níž konstruktér udává vzdálenost obráběné plochy a na plochu *základní ložnou* (dosedací). To je plocha, která dosedává do přípravku. Na stroji nebo v přípravku jsou *plochy opěrné* (ustavující). Při ustavení obrobku dochází ke kontaktu základní ložné plochy obrobku a opěrné plochy přípravku. Základní plochou může být rovina, vnější válcový povrch, válcová díra, zuby ozubených kol apod. Ustavující plocha může být hrubá (polotovar, neobrobená část) nebo čistá (obrobená). Ustavující plocha má být rozměrná tak, aby opěrné body byly od sebe co nejvíce vzdáleny a zajistily tak dostatečnou stabilitu. Ustavující plochy se v jednotlivých operacích mohou lišit, ale pokud je to možné, je lepší zvolit jednu společnou plochu. [3,5]



Obrázek 1: Poloha obrobku určená šesti stupni volnosti [1]

Každé tuhé těleso má svoji polohu v prostoru určenou *šesti stupni volnosti* viz obrázek 1. V kartézském souřadném systému jde o tři posuvy v osách X , Y , Z a tři rotace kolem každé z nich.

K podepření neobrobené plochy stačí tři body, pokud neleží v přímce. Pro zvýšení tuhosti se doporučuje alespoň čtyř bodů. Další body k zajištění šesti stupňů volnosti jsou dány upínacími prvky. Ustavení obrobků se tedy provádí kombinací opěrných a ustavujících prvků. Jeden z příkladů ustavení je znázorněn na obrázku 2. [1,5]



Obrázek 2: Šestibodový princip ustavení [1]

2.6.1 Nepřesnost ustavení a upnutí

Každý přípravek musí umožnit vložení, jednoznačné ustavení a upnutí tak, aby poloha obrobku byla neměnná při upnutí, a hlavně při obrábění. Nepřesnost ustavení a upnutí obrobku v přípravku Δs se počítá dle vztahu (2):

$$\Delta s = \sqrt{\Delta u^2 + \Delta u_p^2} \quad [\mu\text{m}] \quad (2)$$

kde Δu nepřesnost ustavení [μm],
 Δu_p nepřesnost upnutí obrobku [μm]. [4]

Pro přibližné stanovení dovolené nepřesnosti ustavení obrobku Δ_{max} lze využít vztah (3):

$$\Delta_{max} = \delta - \Delta \quad [\mu\text{m}] \quad (3)$$

kde δ tolerance rozměru obrobku [μm],
 Δ celková nepřesnost (bez chyb v ustavení) určená z tabulek s ohledem na střední hospodárnou přesnost [μm]. [4]

Skutečná nepřesnost ustavení Δ_{us} musí být menší než dovolená nepřesnost ustavení (4): [4]

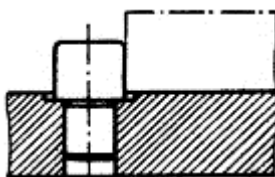
$$\Delta_{us} \leq \Delta_{max} \quad (4)$$

2.6.2 Pevné opěrné prvky

Jsou určeny ke zcela jednoznačnému ustavení obrobku v přípravku, tj. k dosažení požadované polohy vůči nástroji. Vzájemná poloha opěrných prvků musí být co nejvzdálenější a jejich rozmístění musí být takové, aby výsledné řezné síly procházely plochou, které ohraničují opěrné prvky. Opěrné plochy těchto prvků se kalí, cementují nebo tepelně zušlechťují. Důvodem těchto úprav je velké namáhání opěrných prvků, protože dosedací plochy jsou velmi malé, často přímkového či bodového charakteru. [3,4,5]

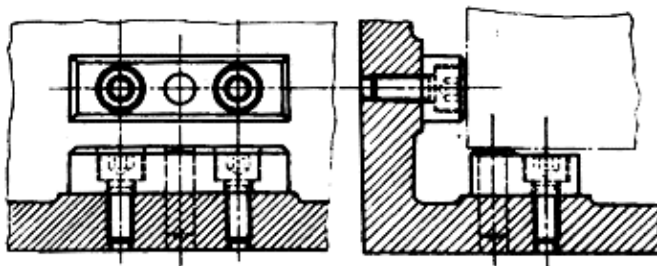
Pokud budou dále uváděné prvky a části ustavujících a upínacích zařízení vystaveny abrazivnějšímu prostředí, například při leštění tlakem média, je vhodné použít nerezovou ocel. Poté volba závisí na druhu abrazivního prostředí či požadované korozivzdornosti jednotlivých prvků. [6]

Pevné opěrky s válcovou (obrázek 3) nebo *šestihrannou hlavou*, jiným označením *čepy*. Jsou ve dvojím provedení. Se zaoblenou hlavou pro neobrobenou hrubou základnu a s rovnou hlavou pro ustavení obrobků s obrobenou základnou. [4,5]



Obrázek 3: Pevná opěrka s válcovou hlavou [4]

Opěrné lišty (obrázek 4) slouží k opění rozměrných a těžkých obrobků nebo k zachycení velkých řezných sil. Dosedací plocha obrobku musí být obrobená. Pomocí zápusťných šroubů jsou opěrné lišty přichyceny k tělesu přípravku. Lišty se dělají krátké, úzké a odlehčené, pokud je to možné. Vyrábí se například ze zušlechťené oceli, následně brynýrované a na dosedacích plochách broušené. [5,7]



Obrázek 4: Kombinace opěrných lišt [4]

Pevné boční opěrky se používají výhradně pro ruční upínání. Lze je upnout do drážek stolu tvaru T. [4,5]

Opěrné kameny se obzvlášť hodí jako vestavby do upínacích zařízení, upínacích čelistí a výkyvných opěrek. Jsou zárukou nadprůměrné přídržné síly. Materiálem je tvrzená nástrojová ocel. Tyto kameny jsou rýhované. Zvláštní provedení opěrného kamene je s polyuretanovým povrchem, který je navulkanizován do základního tělesa. Perlovitý povrch umožňuje vytvoření vysokých přídržných sil a tím se vytvoří sací efekt, kdy nedojde k tak velkému úniku vzduchu. [7]

Výkyvné opěrky jsou speciální prvky se zploštělou kuličkou, která funguje jako zarážka, opěrka nebo jako tlačný prvek ve výrobě přípravků. Kulička je dle provedení buď hladká, vroubkovaná nebo s vložkou z materiálu POM. Kulička je z oceli pro valivá ložiska a je proniklována. [7]

Stavitelné opěrky se používají k ustavení obrobků, které se liší například délkou. Využití najdou hlavně v malosériové výrobě. [5]

Samostavitelné opěrky se využívají jako pomocné prvky pro zvýšení stability a tuhosti ustavení. A také pokud působící řezné nebo upínací síly mohou způsobit deformaci obrobku. [5]

Velice zajímavé řešení poskytuje *polohovací jednotka s pružným kuželem*. Pružný kužel se pomocí kolíku nastaví v definovaném rozmezí. Toto řešení se hodí, pokud se podpírá obrobek s velmi malými rozdílnými výškami dosedacích ploch obrobku. [7]

Jednou z nejnovějších vychytávek je *doraz 5D*, který slouží k ustavení polohy na obráběcích strojích a při montážních pracích. Lze jej velmi rychle přestavovat v pěti osách. Upínací kloub je z vysokopevnostního hliníku a je eloxován. Osový čep, opěrný talíř a dorazová tyč je z oceli, která je brynýrovaná. V nabídce dodavatelů již dnes jsou k dispozici i různá kombinovaná řešení. Pro příklad je to výkyvná opěrka přestavitelná, výkyvná opěrka s vyměnitelnými vložkami a další speciální prvky. [7]

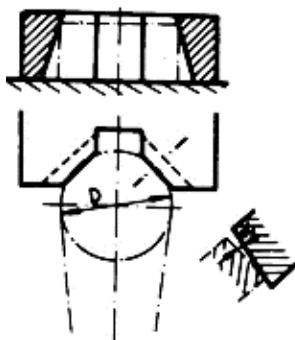
2.6.3 Prizmatické opěry

Prizmatická opěra neboli prizma je určena k podepření obrobků s válcovou plochou. Úhel sevření prizmatických ploch α je nejčastěji roven 90° . Může ale být v rozmezí od 60° do 120° . Prizma určuje polohu obrobku nejen výškově, ale i stranově. Proto se prizmatická opěra jistí dvěma kolíky a k tělesu přípravku se připevňuje dvěma šrouby. [3,5]

Při volbě prizmatické opěry pro konkrétní obrobek je nezbytné znát rozměr H , určující vzdálenost středu kontrolního válečku od základny. Rovnice (5) pro výpočet H [mm]:

$$H = h + \frac{1}{2} \left(\frac{D}{\sin \frac{\alpha}{2}} - \frac{C}{\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} \right) \quad (5)$$

kde C vzdálenost hran prizmatu [mm],
 D průměr válcové plochy [mm],
 h výška prizmatu [mm],
 α úhel sevření dosedacích ploch prizmatu [°]. [5]



Obrázek 5: Prizma pro upnutí obrobku za neobrobenou plochu [4]

Prizma pro ustavení obrobků za neobrobenou válcovou plochu (obrázek 5) se upraví zkosením ustavujících ploch pod úhlem větším, než jsou úkoso odlitků a výkovků. Stavitelné a přestavitelné prizma se používá, pokud se ustavuje obrobek do dvou protilehlých prizmat a pokud je válcová plocha nepřesná a vyosená. Přesné ustavení se provede dvěma stavitelnými šrouby. Prizma se vyrábí například ze zušlechtěné oceli, která je následně bryňována a dosedací plochy jsou broušeny. [3,5,7]

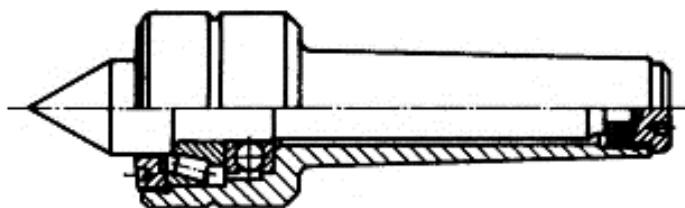
2.6.4 Kuželové opěry

Kuželové opěry, jiným názvem upínací hroty, slouží k ustavení dlouhých obrobků za účelem obrábění vnějších válcových a jiných rotačních ploch. Lze je použít i pro obrábění nerotačních ploch jako je například výroba ozubení nebo frézování drážek. Tyto opěry jsou normalizované. Do vřeten strojů se upínají za kužel Morse nebo metrický kužel. [3,5]

Pevné upínací hroty poskytují nejpřesnější uložení. Tradiční úhel hrotu má zpravidla 60° . Čím vyšší je úhel hrotu, tím se zvyšuje pevnost hrotu. To má důsledek v nárůstu osových sil.

Vrchol dŮlku má být odlehčen, aby se zabránilo místnímu dosednutí hrotu do vrcholu dŮlku. Aby nedošlo k poškození kraje dŮlku, je vhodné zarovnat kraj ochrannou kuželovou plochou. Hroty musí vydržet tepelné a pevnostní namáhání a musí mít odolnost proti otěru. Proto se pevné upínací hroty vyrábí z legovaných a nástrojových ocelí, které musí mít velkou pevnost a povrchovou tvrdost. Při použití vyšších otáček, kdy je potřeba vyšší odolnost proti otěru, se konec hrotu (funkční část) vyrábí ze slinutého karbidu či tvrdokovu. [3,5,8]

Otočné upínací hroty (obrázek 6) se používají při soustružení s vysokými otáčkami. Hodí se také pro upínání velmi lehkých obrobků. Přesnost je však oproti hrotům pevným menší. Pro upnutí obrobku s dírou velkého průměru se použije kuželová upínací vložka s vrcholovým úhlem 60° nebo 90°. Vyrábějí se i v odlehčeném provedení a také s prodlouženým hrotem, tak aby soustružnický nůž mohl nerušeně najet na čelo obrobku. Otočné hroty se dají také flexibilně vyměňovat na jednom základním tělese díky vyměnitelným vložkám. [5,8]

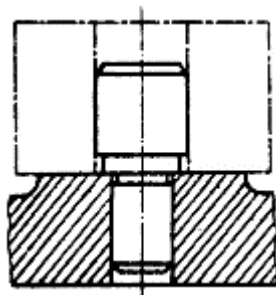


Obrázek 6: Otočný upínací hrot [4]

Hroty s talířovými pružinami se používají při obrábění vysokými řeznými rychlostmi. Obrobek se notně ohřívá a tím pádem i prodlužuje. Hroty jsou vystaveny zvýšenému tlaku a rychlejšímu opotřebení. Pro vyrovnání tepelných účinků se používají talířové pružiny a další pružící prvky. Používají se tam, kde je potřeba tlumit rázové zatížení nebo kde se kompenzuje délková dilatace. [5,8]

2.6.5 Válcové opěry

Slouží k ustavení obrobku za jednu nebo dvě vnitřní válcové plochy. Obrobky mohou být rotační i nerotační. Na *trny* se ustavují rotační obrobky s průchozí dírou. Je to častý případ při soustružení a broušení. *Středicí vložky* neboli nákrůžky jsou určeny ke středění přípravku např. na upínací desku soustruhu. Při ustavení obrobku na dlouhý trn nebo čep může dojít ke vzpříčení obrobku. Abychom zabránili poškození obrobku nebo trnu při uvolňování, je vhodné použít trn nebo čep se zaváděcím zakončením. Nalisovaný čep je znázorněn na obrázku 7. [3,5]



Obrázek 7: Středící čep nalisovaný [4]

Tyto opěrná a dorazová tělesa vždy závisí na průměru lícovaného šroubu, který dosedne na vnitřní vybrání pro dosednutí hlavy šroubu nebo na velikosti nástrčného pouzdra se šroubem s válcovou hlavou. Materiálem válcové opěry může být zušlechtná ocel, broušená na dosedacích plochách. [7]

2.7 Upínání obrobků

Po vhodném ustavení je nutné obrobek upnout. Je důležité zabezpečit jeho polohu a stálý styk s podpěrami. Řezné síly v průběhu obrábění mění svoji velikost, působíště a častokrát i směr. Proto musí upínací zařízení působit na obrobek takovými silami, které zabrání nechtěnému pohybu obrobku, ale i chvění součásti, které by mohlo vést k nepřesné výrobě. [3,5]

Řezná síla se při obrábění zvětšuje od nuly až po určitou maximální hodnotu a má tak vliv na velikost upínacích sil. Je třeba brát v úvahu i kmitavý pohyb, který vzniká při obrábění. Velikost řezné síly závisí na obráběném materiálu. S otupujícím se nástrojem se řezná síla zvyšuje o desítky procent. Další činitele mající vliv na velikost upínacích sil již nemají tak velký dopad. Mezi tyto činitele patří hmotnost součásti, odstředivé, pružící a třecí síly a síly způsobené změnou teploty. Hmotnost má vliv hlavně u přípravků, kde je součást ustavena na šikmé či svislé ploše. Odstředivé síly mají vliv u obrobků nevyvážených. [3,4]

Ve většině případů stačí úlohu řešit staticky, kde působením vnějších sil dojde k rovnováze součásti. Upínací síly se volí co největší, ale zároveň tyto síly nesmí deformovat obrobek svou velikostí. Ke správnému návrhu upínání patří i zjištění o tuhosti ustavujících a upínacích prvků, součinitelích tření f_t a bezpečnostních součinitelích K . [3]

Celková tuhost ustavujících prvků k_c [$\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$] se počítá dle rovnice (6):

$$\frac{1}{k_c} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \dots + \frac{1}{k_n} \quad (6)$$



kde k_1 tuhost ve styku obrobku s opěrami přípravku [$\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$],
 k_2, \dots, k_n tuhost prvků, přes které působí upínací síla (ustavující zař.) [$\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$]. [3]

Celková tuhost upínacích prvků k_u se počítá dle rovnice (7):

$$\frac{1}{k_u} = \frac{1}{k'_1} + \frac{1}{k'_2} + \dots + \frac{1}{k'_n} \quad (7)$$

kde k'_1 tuhost ve styku součásti přímým upínacím prvkem [$\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$],
 k'_2, \dots, k'_n tuhost prvků, přes které působí upínací síla (upínací zařízení) [$\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$]. [3]

Velikost součinitele tření f_t závisí na typu kontaktu obrobku s ustavujícími a upínacími prvky. Čím hladší a kvalitnější plocha, tím je součinitel menší. Součinitel lze snížit působením emulze, minerálních olejů a dalších kapalin. Rozdílná hodnota je i při použití ostrých hrotů a hrotů s malými ploškami. Příloha 1 obsahuje velikost součinitele tření f_t v závislosti na dotykové ploše přípravku a obrobku. [3]

Další důležitou složkou je součinitel bezpečnosti K . Ten zajišťuje řádné upnutí obrobku při jakýchkoliv působících silách. Skládá se z dílčích součinitelů a počítá se dle vzorce (8):

$$K = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \quad (8)$$

kde K_0 zaručený součinitel bezpečnosti, vždy $K_0 = 1,5$,
 K_1 vliv eventuálních nerovností na součásti,
 K_2 zachycuje otupení řezného nástroje,
 K_3 vliv přerušného obrábění, potom $K_3 = 1,2$,
 K_4 charakterizuje upínací zařízení vzhledem ke stálosti velikosti upínací síly. [3]

Nerovnosti na součásti vedou ke zvětšení řezných sil. Tudíž pro hrubé obrábění je součinitel $K_1 = 1,2$. Pro jemné je roven 1. I při otupení řezného nástroje se zvyšují řezné síly, pak je $K_2 = 1,0$ až 1,9. Příloha 2 obsahuje přehled o velikosti součinitele K_2 závislém na druhu obrábění a působící složce řezné síly. Při ručním upínání, nelze vždy stanovit stejnou upínací sílu. Při výkyvu rukojeti do 90° je $K_4 = 1,3$ a při výkyvu nad 90° je $K_4 = 1,6$. Pro upínání hydraulické, pneumatické a jiné je $K_4 = 1$. Při použití specifických přípravků se mohou vyskytnout další činitele, které zasáhnou do součinitele bezpečnosti. [3]

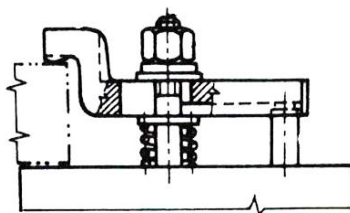
2.7.1 Mechanické upínací prvky

Šroub a matice jsou jedny z nejpoužívanějších prvků pro upínání. Šroub může na obrobek upínací silou působit buď přímo nebo prostřednictvím dalších částí. Mezi tyto další části patří upínky, klíny apod. Velkou výhodou je jednoduchost, všestranné použití, samosvornost, univerzálnost a dosažení velké upínací síly při působení malé síly. Nevýhodou je upínací čas, který je dlouhý. Proto šrouby nejsou vhodné pro upínání, kde jsou větší zdvihy. Zkrácení upínacího času lze v některých případech řešit rychloupínacími šrouby a maticemi. [4,5,7]

Při praktické části nejvíce využívám šroub nebo matici s metrickým závitem, proto v podkapitole 2.7 uvedu jen vzorec pro upínací sílu pro šroub nebo matici s podložkou (9).

$$F_U = \frac{F \cdot l}{r_s(\operatorname{tg} \psi + 1,15f) + \frac{2}{3} \frac{R^3 - r^3}{R^2 - r^2} \cdot f_t} \quad (9)$$

kde	F_U	celková upínací síla [N],
	F	síla působící na rameno klíče [N],
	l	délka ramene klíče [mm],
	r_s	střední poloměr závitu šroubu [mm],
	ψ	úhel stoupání závitu [°],
	f_t	součinitel tření,
	R	velký poloměr dosedací plochy matice [mm],
	r	malý poloměr dosedací plochy matice [mm]. [4,5]



Obrázek 8: Vyhnutá upínka v kombinaci se šroubem a maticí [5]

Upínky jsou v principu dvouramenné páky, které přenášejí sílu v ose šroubu F_s na obrobek. F_R je síla působící na upínku od tělesa přípravku. Upínkou se mění velikost i směr upínací síly F_U . Upínka ulehčuje vkládání a vyjímání obrobku. Upínky jsou ploché, sedlové, vyhnuté (viz obrázek 8) a tvaru U. Nejčastějším materiálem upínky je konstrukční nelegovaná ušlechtilá ocel, která je navíc zušlechťována na $R_m = 880 \pm 50$ MPa. Nejčastější uplatnění upínky

najdou na frézkách, vrtačkách nebo bruskách. Upínky se převážně navrhují dle norem, pokud to nevyžaduje konkrétní případ jinak. [4,5]

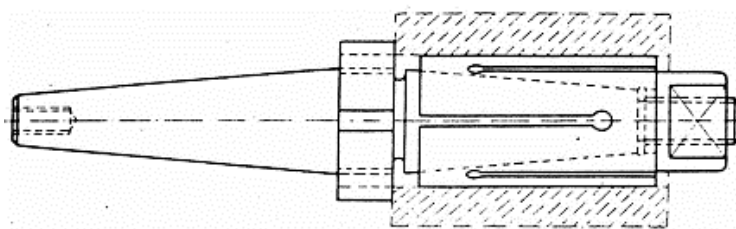
Výstředníky jsou upínací prvky, jejichž upínací plocha je kruhová s výstředně uloženým bodem, dle něhož se výstředník otáčí. Oproti šroubům působí rychleji, ale disponují malým pracovním zdvihem. Proto jsou vhodné pro obrobky s malými rozměrovými úchytkami. Jedna z výhod je levná a snadná výroba. Výstředník musí být v upnuté poloze samosvorný, tzn. moment upínací síly musí být vyvážen momentem sil třecích. Nejběžnějším používaným materiálem je cementační ocel o pevnosti $R_m = 580$ MPa, která se tepelně zpracovává na tvrdost $HRC = 60 \pm 2$. Šířka styčné plochy se určuje s ohledem na otláčení. Je také nutné dodržet podmínku, aby řezné síly nepůsobily proti směru upínání. Úhel samosvornosti se doporučuje minimálně 30° . [4,5]

Vačky spolu s výstředníky patří mezi rychloupínací prvky. Axiální vačky jsou ve tvaru šroubové plochy a radiální vačky jsou podobné výstředníkům. Vačky mají větší zdvih a disponují samosvorností v celém rozsahu stoupání. Výrobně jsou ale dražší než výstředníky. Funkční plocha (obrysová křivka) je vytvořena Archimédovou či logaritmickou spirálou nebo šroubovou plochou. Speciálním případem vačky je *klínový mechanismus*. Vačky mají menší rozměry a výhodou je možnost změny směru upínací síly. Používají se jako zesilovací prvky v kombinaci s pneumatickými upínači. Při malém úhlu klínu α_k jsou velké ztráty při vyvození upínací síly. [3,4,5]

Kuželové a válcové trny se používají při jemném soustružení na přesných soustruzích nebo při broušení na hrotových bruskách. Obrobek tak musí mít díru ve stupni přesnosti IT5 až IT8. Na jednoduchých ručních lisech se obrobky na trny nalisují. Tím se dosáhne velmi dobré souososti obráběné plochy a díry. Lisování ale probíhá dlouho. Velmi nepraktické je, že pro každý průměr díry musí být nový trn. Kuželovitost trnů je od 1 : 1 500 až po 1 : 2 500. Trny jsou kaleny na tvrdost $HRC = 58 \pm 2$. Trny i jejich důlky jsou broušené. U válcových trnů se vyvození potřebného tlaku mezi trnem a obrobkem dosáhne přesahem. [3,5]

Rozpínací trny (viz obrázek 9) se používají pro obrobky s větší tolerancí děr. Jsou tak méně přesné než kuželové a válcové trny. Výhodou je ale rychlost a snadnost upnutí. Rozpínací pouzdro má výřezy na obou stranách střídavě tak, aby se pouzdro rozpínalo v celé délce a spolehlivě tak upnulo obrobek. Pouzdro se na rozpínací trn tlačí upínací maticí. *Kleštiny* mají podobnou funkci jako rozpínací trny. Vrcholový úhel u kleštinové hlavy, do které se kleština přitahuje nebo vtlačuje je u tažné kleštiny 31° a u tlačné 29° . Tento úhel nesmí být samosvorný

pro dané řešení. Ovládání kleštiny se provádí pomocí táhla spojeného se závitem. Rozříznuté díly kleštin a rozpínacích trnů musí být dokonale pružné a poddajné. Vyrábí se z nástrojové oceli nebo také z chromniklové cementační oceli. Po nauhličení stykových ploch se díly ještě zpravidla kalí na dvojí tvrdost. Existují také kleštiny pro upínání za vnitřní a vnější válcové, ale i za nesymetrické plochy. [3,5,7]



Obrázek 9: Rozpínací trn s pouzdrem [4]

Existuje ještě celá řada dalších možných řešení založená na mechanickém upínání. Některá tyto řešení se používala spíše v letech minulých. Záleží také na konkrétním podniku, co využívá. [4]

Mezi další řešení patří:

- pákové a kloubové mechanismy pro získání velkých upínacích sil,
- upínání pomocí pryžových kroužků,
- přípravky s kovovou membránou,
- válečkové přípravky,
- pastorek a ozubený hřeben zajištěný závěrem,
- pružinové upínání,
- rozpínací talířové pružiny ocelové a polyamidové,
- svěrky,
- membránové přípravky. [3,4,5]

2.7.2 Upínání pneumatické a hydraulické

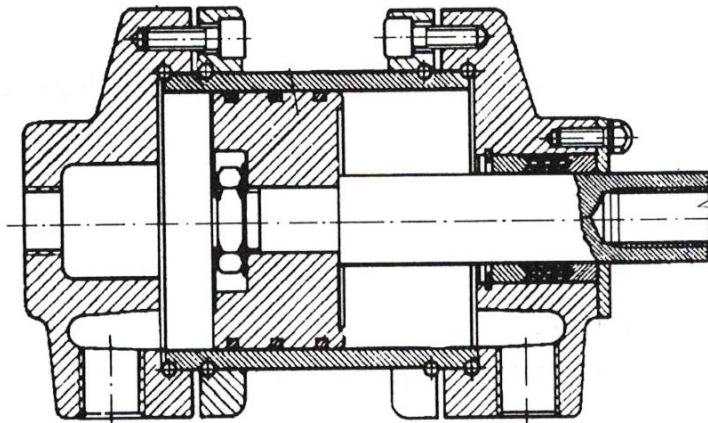
Pneumatické a hydraulické upínání je založené na jiných principech vyvinutí upínací síly. Tyto technologie umožňují dramatický nárůst vlastností při upínání. [3,4]

Hlavní výhody oproti ručnímu mechanickému upínání:

- snadná obsluha, obrobky se upínají ve více bodech centrálně a současně,
- automatizace upínání a uvolňování obrobku, regulace upínacích sil,

- značná upínací síla i při malých rozměrech (hlavně hydraulické upínání),
- upínací síla působí po celou dobu obrábění konstantně,
- až desetinové zkrácení vedlejšího času při větší rychlosti upínání,
- pořizovací náklady nejsou vysoké u pneumatického upínání. [4,5]

Pneumatické upínání se vyplatí firmám, které disponují kompresorovou stanicí. Stlačený vzduch se tlakuje na 0,4 až 0,7 MPa a rozvádí se potrubím z centrálního zdroje. Vzduch vycházející z kompresoru postupně prochází čističem a odlučovačem, kde se odstraní zkondenzovaná voda a tuhé nečistoty. Poté v redukčním ventilu dojde ke zredukování pracovního tlaku. Poté ještě vzduch projde maznicí s olejovou mlhovinou. Přes rozdělovač se stlačený vzduch přivádí do upínače dle potřeby. Náhlému poklesu tlaku v potrubí zabraňuje zpětný ventil. Používá se pneumatické upínání pístové, membránové, vzdušnice a vlnovce. Pístové i membránové upínače se dělí na pevné, výkyvné, otáčivé a vestavěné. U membránového upínání není síla působící na pístnici konstantní. Může klesnout o více jak polovinu své maximální hodnoty. Moderní pneumatické systémy jsou často bezúdržbové. Nejsou u nich problémy s únikem provozního média. Systémy jsou jednodušší s méně elementy (ventily, regulátory, rozvody z běžných plastových trubiček apod.). [4,5,9]



Obrázek 10: Hydraulický válec [5]

Hydraulické upínání (na obrázku 10) má ještě výhody navíc oproti pneumatickému. Zařízení má menší rozměry, dosahuje větší upínací síly a upnutí je díky nestlačitelnosti kapalin tužší a spolehlivější. Nevýhodou je vyšší cena a náročnost na těsnost. Zdroj tlaku nevyžaduje externí zařízení, jelikož je většinou součástí zařízení. Dodávaný tlak je v rozmezí 2,5 až 5 MPa. Dnes je již možné dosáhnout i tlaku okolo 20 MPa, ale za cenu extrémních nákladů a velkých bezpečnostních rizik. Využívá se především u stavebnicových obráběcích strojů a výrobních linek. V provedení vysokotlakého čerpadla se vysoký tlak vyvine malým množstvím kapaliny.



Nízkotlaké čerpadlo dodává velké množství kapaliny tak, aby rychlost při pohybu na prázdno byla zajištěna. [4,5,9]

Multiplikátor neboli pneumaticko-hydraulický zesilovač je kompromisem mezi těmito technologiemi. Volíme ho v případě, když velkých tlaků v pneumatickém upínači nedosáhnou dostatečným dimenzováním potrubí a válců. To by bylo neekonomické. Multiplikátor má část nízkotlakou (pneumatickou) a vysokotlakou (hydraulickou). Účinnost je až 85 % a lze dosáhnout tlaků i přes 10 MPa. [4,5]

Neobvyklým řešením je využít plast, který se díky zvýšení teploty přivede do tekutého stavu a nalije se do dutiny přípravku. Za normální teploty je hmota plastická a chová se jako tekutina. Tlak vyvolaný šroubem se tak šíří rovnoměrně. Přípravek je vhodný pro obrobky s opracovanou dírou přesnosti H7 a pro trn g6. [5]

Vakuové upínání je příbuzné pneumatickému, jelikož také pracuje se vzduchem. Využívá se pro svou manipulační jednoduchost a pro možnost obrábění ze všech stran. Při vakuovém upínání se vytvoří podtlak pod obrobkem odsáváním vzduchu. Na obrobek ale působí atmosférický tlak, který tak zajišťuje dostatečnou přitlačnou sílu. Hlavně u velkých obrobků se tímto způsobem eliminují vibrace, jelikož přitlačná síla je stejnoměrná. Vakuové upínání se používá pro velkoplošné desky, nemagnetické a tenkostěnné díly a U-profilů. Zařízení obsahuje vakuovou desku a vakuovou pumpu. Vakuová deska může být i ve vertikální pozici, většinou ale v kombinaci s ustavujícími či upínacími prvky. [10,11]

Netradiční řešení nabízí způsob upínání pomocí *zamrazení obrobku*. Systém se skládá z rozvodné skříně a pracovního stolu. Využívá se u neforemných křehkých dílů, které se těžko uchopují např. v hodinářském průmyslu. Toto upínání je vhodné pro všechny kovové materiály a pro některé materiály z umělé hmoty. Chladicí médium se uzavřenou soustavou kanálků vede k pracovnímu stolu, který je tak schlazen až na -8°C . Pomocí rozprašovače se tenkým vodním filmem pokryje pracovní stůl i obrobek. Do 15 až 60 sekund díly přimrznou k pracovnímu stolu. Pro odmrazení se čerpadlo přepne do tepelného módu. Nepravidelné plochy je možné zmrazit ve vodní lázni. Zmrzlý film při obrábění na obrobku nevádí, jelikož je velice tenký a snadno se obráběním odstraní. Přílnavost oproti vakuovému systému je až dvacetinásobná. [11]

2.7.3 Magnetické upínání

Poslední metodu upínání, kterou více rozvedu do podrobností, je upínání pomocí magnetické síly. Součástí, pro kterou v praktické části navrhuji přípravek, bude dokončována pomocí leštícího stroje SPM LPG 1, ve kterém se využívá magnetického upínání k upnutí součásti či přípravku.

Magnetické upínače se používají k upnutí feromagnetických obrobků na frézkách, bruskách, hoblovkách, vrtačkách, soustruzích a dalších strojích. Magnetické upínání je vyhledávané pro svou jednoduchost, časovou nenáročnost a pro svou vysokou variabilitu upnutí více obrobků najednou. To ve výsledku zvyšuje produktivitu. [12]

Faktory ovlivňující velikost magnetické upínací síly:

- a) *Druh materiálu* - oceli s nízkým obsahem uhlíku vedou tok magnetických silnicí snadno. U slitin již dochází k problémům, jelikož obsahují nemagnetické částice. Litina redukuje upínací sílu téměř o 50 % oproti ocelím s nízkým obsahem uhlíku. Velikost upínací síly ovlivňuje materiál obrobku i přípravku společně;
- b) *Tloušťka materiálu* - buď obrobku nebo přípravku, podle toho, co je upnuto přímo na magnetickou desku. Při slabších tloušťkách, než je šířka pólu magnetu, tak indukční čáry protékají i mimo obrobek a nepřispívají k upínání;
- c) *Vzduchová mezera* - je to součást elektrického obvodu a magnetické indukční čáry vzduchem jen obtížně prostupují. Pokud je vzduchová mezera mezi některými částmi obrobku a magnetické desky, upínací síla není tak velká. Barva, lak, rez a další magneticky neaktivní vrstvy působí obdobně;
- d) *Kontaktní plocha* - souvisí se vzduchovou mezerou. Pro dosažení maximální magnetické upínací síly je nutné minimalizovat vzduchovou mezeru, tj. maximalizovat velikost kontaktní plochy obrobku s magnetickou deskou. Vhodné je, aby kontaktní plochou procházelo co nejvíce severních a jižních pólů. Pokud je obrobek menší, je možné použít magnetické doplňky upínačů, které pomohou uzavřít okruh mezi severním a jižním pólem;
- e) *Teplota* - nejen teplotní roztažnost materiálu může způsobit problémy. Při dilatačních jevech dochází k poškození izolace. Hlavní vliv teploty je na takzvaný negativní teplotní koeficient. U permanentních magnetů se zhoršují magnetické vlastnosti se

vzrůstající teplotou. Při 50°C se upínací síla sníží až o 10 % podle typu magnetického materiálu. [12,13]

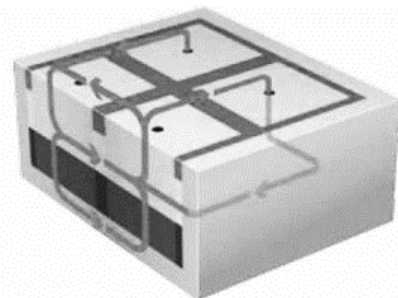
V praxi se využívá tří různých principů magnetického upínání. Jejich vývoj sahá až do roku 1896, kdy byl patentován první elektromagnet pro broušení. Za druhé světové války v roce 1943 byl patentován permanentní magnet a v roce 1960 elektropermanentní magnet, který se dodnes nejvíce používá. [12]

Elektromagnetický upínač pracuje na principu cívky napájené usměrněným proudem, z které se stane elektromagnet. Tento typ magnetického upínání je tak závislý na vnějším zdroji energie po celou dobu upínání obrobku. Pokud dojde k vypnutí zdroje nebo ke ztrátě energie, magnetické pole rychle zaniká a magnetická síla klesá na remanentní hodnotu. To je nebezpečné, jelikož dojde k uvolnění obrobku. Nevýhodou je také nárůst teploty upínače v důsledku tepla vytvářeného cívkou, a to zvyšuje nepřesnost ustavení. Používá se u rovinných brusek. [12,13]

Magnetické upínače využívají pro vznik upínací síly permanentní magnety z různých materiálů. *Permanentní magnetické upínače* jsou nezávislé na zdroji energie a upínání je tak bezpečnější. Magnety se nezahřívají. Neodymové magnety jsou nejčastější, protože poskytují nejvyšší hodnotu magnetické remanence B_r . Nevýhodou je následné nutné odmagnetování obrobku nebo upínače. Velkým limitem je maximální upínací plocha 300 x 600 mm. [12,13]

Princip *elektropermanentního* upínače spojuje výhody předcházejících dvou řešení. Tento upínač potřebuje jen milisekundový impuls energie elektromagnetického pole k aktivaci magnetického materiálu. Materiál je nasycen zdrojem permanentního magnetického toku. Systém se nezahřívá a rozměrová stabilita je tak zajištěna. Upínací síla je zajištěna i při výpadku energie. Opačně orientovaný energetický impuls odmagnetuje upínač či obrobek. Opět se nejvíce používají neodymové magnety. [12,14]

Elektropermanentní upínač se čtvercovými póly v maticovém formátu (viz obrázek 11) je nejlepší řešení. Každý pól je obklopen póly různé polarity. To zajistí velkou upínací sílu, protože kolem každého pólu vznikne intenzivní magnetické pole. Jednotlivé póly jsou umístěné jako na šachovnicovém poli. Při aktivaci se uzavřou indukční čáry do kříže, což ještě zvyšuje upínací sílu. [12]



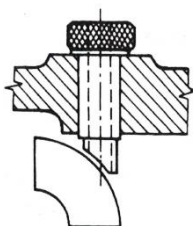
Obrázek 11: Elektropermanentní upínač [12]

2.8 Další části přípravků

2.8.1 Ustavující a vodící části

Obrábění obrobku v různých polohách při jednom upnutí se docílí pomocí pohyblivých mechanismů a otočných stolů. Tyto prvky musí vykazovat vysokou přesnost. Tato zařízení (prvky) můžeme dělit na ústrojí vodící pro kruhový a přímočarý pohyb, pro zajištění nastavené polohy a ústrojí upevňovací. Klasickým příkladem ústrojí s přímočarým pohybem je svěrák s pohybujícími se čelistmi po lóži. [4,5]

Vrtací pouzdra (ukázka je na obrázku 12) jsou nejčastějším prostředkem k vedení nástroje a jsou součástí vrtacích přípravků nebo vrtacích skříní. Tyto součásti zajišťují přesnost jednotlivých otvorů, jejich vzájemnou polohu a rozteč. Vyrábějí se z cementačních ocelí, které se nauhličují a kalí na $HRC = 60 \pm 2$. Povrch musí být tvrdý, jelikož je vystaven působení břitů nástroje a odcházejícím třískám. Rozlišují se hladká pevná vrtací pouzdra, hladká pevná vodící pouzdra, nástrčná vrtací pouzdra, vrtací kostky a vrtací šablony, které mají tvar desky. [4,5]



Obrázek 12: Vrtací pouzdro na oblé stěny [5]

2.8.2 Tělesa a pomocné části

Menší přípravky jsou často montované a jejich části jsou sešroubované, a vzájemná poloha jednotlivých částí se jistí kolíky. Tělesa větších přípravků mohou být svařovaná, litá anebo se vše

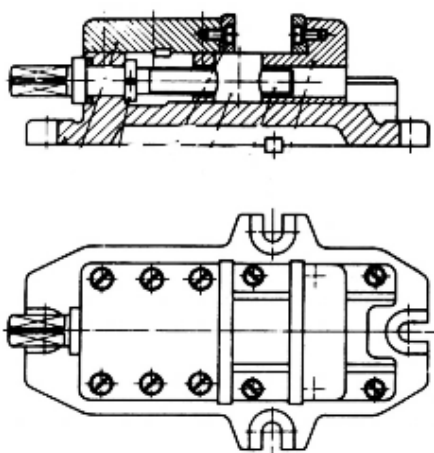
konstruuje v jeden celek jako montáž. Dnes již využití najde i finančně dostupný 3D tisk součástí. Mezi tělesa můžeme zařadit např. desky, rotační tělesa a skříně. [4,5]

Pomocné části přípravků jsou nejčastěji prvky spojovací, které zajišťují polohu a upnutí a jsou normalizovány. Mezi tyto prvky patří:

- *Sklopný závěr* - nahrazuje funkci upínky a v poloze je zajištěn západkou,
- *Otočný třmen* - také nahrazuje funkci upínky,
- *Čepová západka s knoflíkem* zajišťuje dělicí přístroj v dané poloze,
- *Vyhazovač*, který usnadňuje vyjímání obrobků malých rozměrů,
- *Matices s posuvnou rukojetí, kruhové podložky, křídlaté rukojeti, pojišťovací kolíky, ustavující kolíky, šroubové rozpěrky a další.* [5]

2.9 Univerzální přípravky

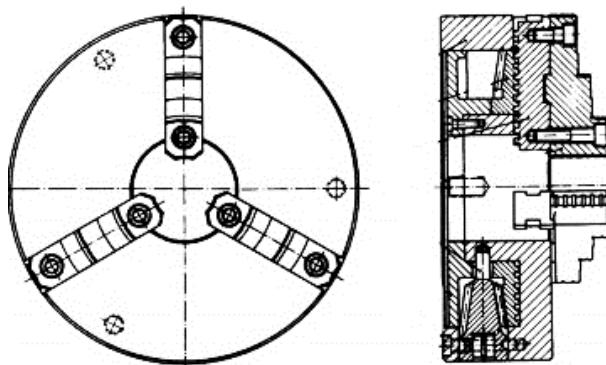
Pokrývají hlavně poptávku po upínání tvarově a technologicky podobných obrobků v určitém rozsahu velikostí a tvarů. [4]



Obrázek 13: Strojní svěrák s tažnou čelistí [4]

Strojní svěráky (viz obrázek 13) se používají pro upínání menších obrobků na frézkách, vrtačkách, hoblovkách, obrážkách a na dalších strojích. Sevřením obrobku čelistmi dojde k upnutí. Sevření se provádí pomocí šroubu s ruční klikou, výstředníku a páky nebo tlakem vzduchu. Bezpečnost upnutí je funkcí vlivu délky vedené posuvné čelisti a průměru upínacího šroubu. Pro širší použitelnost se vyrábí svěráky otočné a sklopné, které ustavují obrobek pod určitým úhlem vůči vřetenu obráběcího stroje. Jednoduchý svěrák se skládá z tělesa svěráku s pevnou čelistí, vedení čelistí, posuvné čelisti, upínacího šroubu, stavěcího kroužku, závitového pouzdra a kamenných vložek, které jsou vyměnitelné. Dále se používají otočné svěráky

s upínacím šroubem, svěráky pákové s výstředníkem, svěráky samostředící čelistové nebo svěráky pneumatické membránové. [4,5]



Obrázek 14: Univerzální tříčelistové sklíčidlo [4]

Univerzální sklíčidla slouží k upínání rotačních obrobků malé až střední velikosti při výrobě kusové i hromadné. Pokud je požadavek na obrobení dlouhých obrobků, je možné použít opěrný prvek koník (kuželový opěrný prvek). V hlavní části tělesa sklíčidla jsou uloženy radiálně přestavitelné čelisti. Podle počtu čelistí se tyto sklíčidla nazývají dvoučelistová, tříčelistová (viz obrázek 14), čtyřčelistová apod. U sklíčidla se čelisti přestavují vždy současně a upínání se provádí ručně pomocí nástrčného klíče nebo s přidavným hydraulickým nebo pneumatickým válcem. Vzorec (10) pro výpočet upínací síly F_U [N] sklíčidla s n čelistmi: [4]

$$F_U = \frac{F_z \cdot D_1 \cdot k}{n \cdot f \cdot D} \quad (10)$$

kde F_z tangenciální složka řezného odporu [N],
 D_1 aktuálně obráběný průměr [mm],
 k koeficient bezpečnosti,
 n počet čelistí,
 f koeficient tření mezi čelistmi a obrobkem,
 D upnutý průměr obrobku. [4]

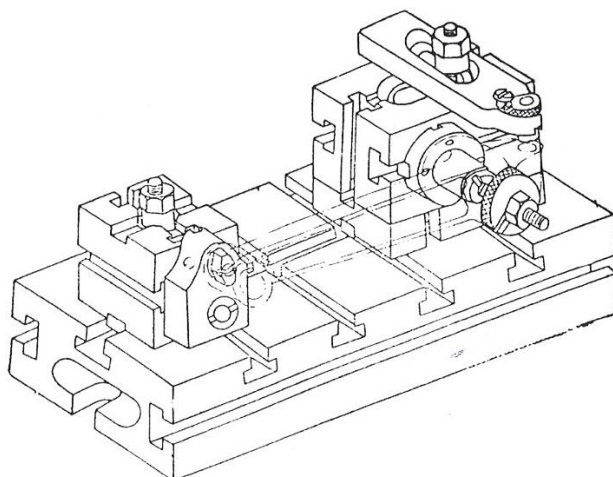
Lícni desky jsou velmi podobné univerzálnímu sklíčidlu. Lze s nimi ale upnout i obrobky obecného tvaru s upínacími úhelníky. Hlavní rozdíl je v tom, že čelisti se přestavují nezávisle na sobě. Lícni desky jsou k přírubě vřetena připevněny šrouby nebo jsou přímo našroubované do vřetena stroje. [4]

2.10 Stavebnicové přípravky

V dnešní době se navrhují a následně vyrábí výrobky všemožných tvarů. Vývoj jednotlivých technologií přinutil i konstruktéry přípravků k navrhnutí nových řešení. Stavebnicové přípravky nebo systémy, někdy též nazývány modulární, jsou jedním z těchto řešení. Pomocí nich se zefektivňuje upínání obrobků. [1,15]

Stavebnicové řešení přípravku je navrženo jako sada standardizovaných, typizovaných nebo normalizovaných součástí a jednotek s relativně úzkými geometrickými tolerancemi. Tyto jednotky se dají rychle sestavit do nepřeberného množství konfigurací dle požadavků na upnutí a výrobní přesnost. Zároveň se stavebnicové jednotky dají rychle rozebrat a přestavit na jinou konfiguraci. Stavebnicové přípravky jsou předpokladem k zajištění flexibility upínání ve výrobním podniku. Existuje více typů stavebnicového upínání, nejvíce se ale používají dva principy. [1,15]

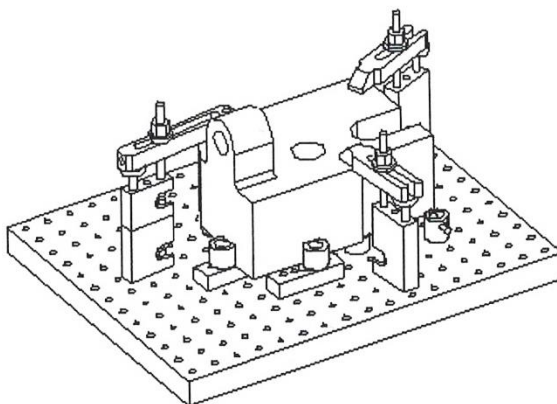
Prvním z nich je systém založený na *T drážce* (T-slot), ukázkový příklad je na obrázku 15. Polohy mezi jednotlivými součástmi přípravku se určují přesně pohybem v T drážkách. Tyto součásti jsou upevněny šroubem a maticí. Funkce tohoto systému jsou: ustavení, upínání, podepření a vedení. Tento systém má široká využití kupříkladu při frézování, vrtání nebo vyvrtávání. [1]



Obrázek 15: Ukázka stavebnicového systému (T-slot) [1]

Systém je založený na *kolíku* (Dowel-pin), který prochází jednotlivými komponenty. Příslušenství je upnuto pomocí šroubového spojení. Systém je založen na usazování elementů pomocí kolíku a děr, tento systém není plně nastavitelný. Tento typ se nejčastěji používá v CNC obrábění pro menší množství jednoho typu výrobku. Oproti T drážce je systém výhodnější ve

vyšší pevnosti upínání, levnější výrobě samotných prvků, rychlejším sestavení požadované konfigurace a v opakovatelném ustavení. Ukázka řešení je na obrázku 16. [1]



Obrázek 16: Ukázka stavebnicového systému (Dowel-pin) [1]

Základní čtyři technologické a ekonomické výhody stavebnicového řešení:

- a) Snížení času stráveného nad návrhem přípravku až o 80 %. Konfiguraci je možné do několika hodin reálně sestavit. To se hodí, pokud je potřeba uvést na trh zrychleně nějaký výrobek;
- b) Výrazné snížení výrobních nákladů, protože každá jednotka stavebnicového řešení je znovu použitelná v jiné konfiguraci;
- c) Zajištěná kvalita výroby v jakékoliv konfiguraci díky standardizovaným, typizovaným a normalizovaným komponentům, které mají velmi úzké tolerance;
- d) Rozšiřuje možnosti výrobních zařízení a zvyšuje rychlost samotné výroby. [1]

Jejich oblast využití je široká. V prototypové výrobě jednoho kusu lze rychle a levně ustavit a upnout obrobek. Při změně designu obrobku se vymění jen některé stavebnicové jednotky. Pokud vlivem chyby při obrábění dojde k poškození nebo kontaktu modulárních jednotek s nástrojem, lze tyto jednotky rychle vyměnit a pokračovat tak ve výrobě. [1,16]

Stavebnicové jednotky se člení do následujících skupin. Základové bloky a desky čtvercového, kruhového a jiného tvaru. Dále ustavující jednotky jako jsou čepy, kolíky, středící pouzdra a další. A nakonec opěrné, upínací, nastavbové, přechodové a ovládací prvky. [1,7,15,16]

2.11 Využití počítače při návrhu přípravku

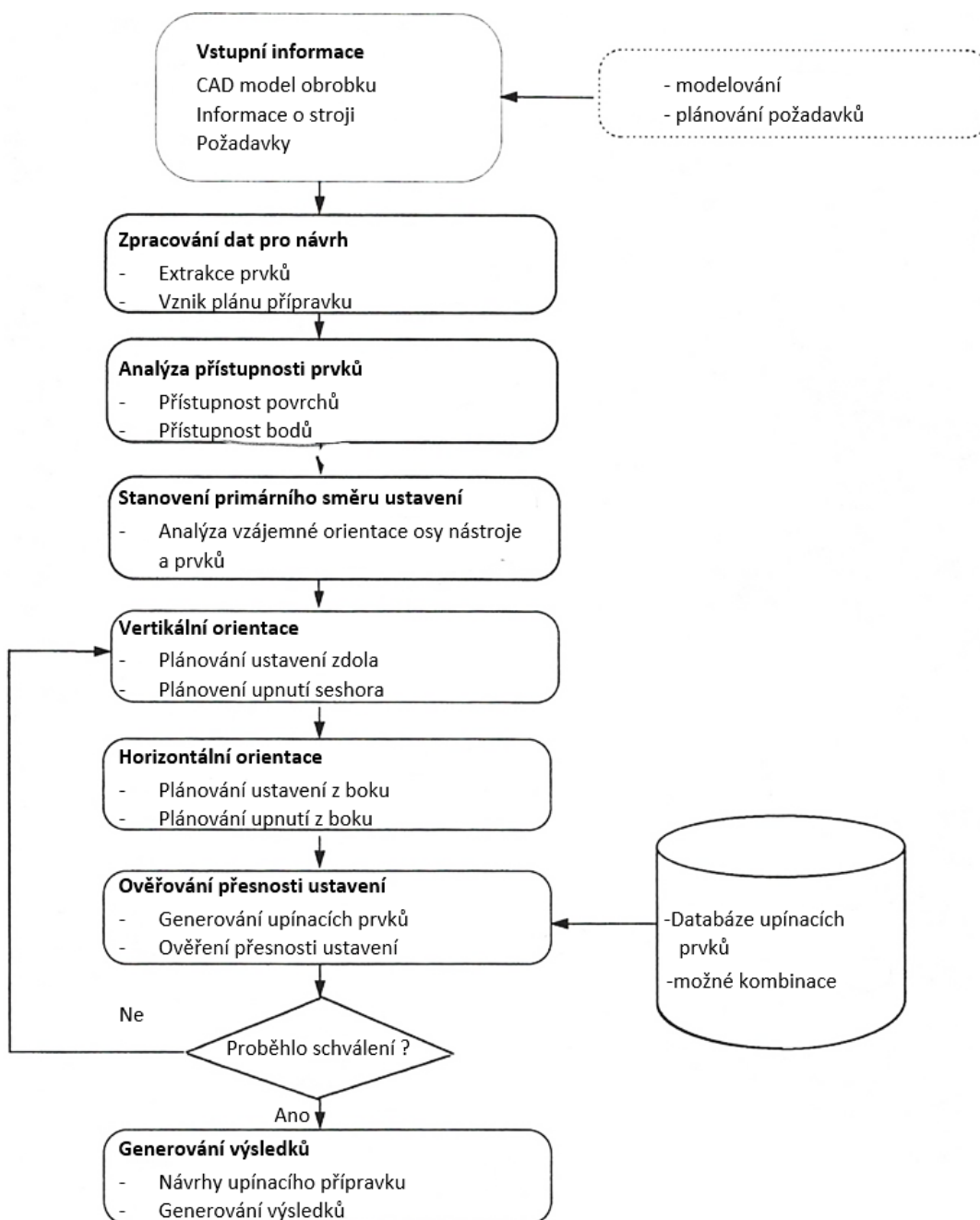
Počítač a programy pomáhající navrhnout přípravek jsou neodmyslitelnou součástí některých výrobních podniků. Proto se budu v poslední podkapitole o přípravných zabývat tím, jak funguje navrhování přípravku s využitím počítače.

Většina programů pro navrhování přípravků vychází z databáze programu nebo z elektronických databází, které obsahují modely stavebnicových prvků používaného CAD konstrukčního softwaru. Většinou jsou dostupné oba systémy stavebnicového upínání (T drážka i kolíkový systém). Dnešní CAD systémy se svými doplňkovými moduly umožňují vytvoření simulace montáže, simulace kinematické pro dráhy pohybu jednotlivých prvků a další moduly umožňují pevnostní, tepelné nebo deformační výpočty. CAD systémy pro návrh přípravku tak zjednodušují tvorbu výrobní dokumentace a její případné změny. Snižují chybovost návrhu přípravku, snižují výsledné výrobní náklady a zvyšují kvalitu výrobního procesu a výrobků. Velkým přínosem je možnost okamžité změny přípravku v CAD softwaru, tudíž možné konfigurace je možné řešit souběžně a porovnávat je tak v reálném čase. [15,17]

CAFD (Computer-aided fixture design) jsou programy založené na databázích jednotlivých modulů, z kterých uživatel vybírá a sám kombinuje jednotlivé řešení přípravku. Systém je intuitivní a interaktivní. Přizpůsobuje se daným rozhodnutím a v dalších krocích nabízí jen možné další kompatibilní stavebnicové jednotky. Vždy záleží na rozsahu jednotlivých databází. Nejdříve se načte CAD model obrobku. Dále pomocí jednotlivých modulů, které software obsahuje, se postupně zvolí metoda a jednotlivé prvky přípravku. Software obsahuje tyto moduly: ustavující modul, modul pro zvolení systému upínání, modul pro vyhodnocení obrobku, modul pro vložení a umístění přípravku. V literatuře [1] jsou pro jednotlivé moduly uvedeny podrobnosti. Pokud uživatel projde všechny tyto moduly, uvidí na obrazovce zvolené řešení přípravku. Pokud se dané řešení nezdá optimální, lze ho rychle upravovat a porovnávat s předešlými konfiguracemi stavebnicového či jiného systému. [1,17]

AFCD (Automated fixture configuration design) je pokročilejší verzí *CAFD*, kde software automaticky navrhuje řešení přípravku podle zadaných kritérií. Software si umí poradit i s několika operacemi, které se plánují na jednu upnutí, aniž by došlo ke kolizi nástrojů s přípravkem. Software plánuje na základě čtyř faktorů. Těmito faktory je model obrobku včetně dat o tolerancích, výrobní profil včetně všech nástrojů a možných řezných podmínek, počáteční a výsledné obrobky v každém nastavení a obsah databáze stavebnicových prvků. Software plánuje volbu upínací plochy dle algoritmů na základě těchto úvah: jaké plochy lze zvolit jako

upínací, orientace upínacích ploch vzhledem k ose řezného nástroje, přesnost možných upínacích ploch, stabilita upínání a přístup k upínacím plochám. Dále jsou algoritmy naprogramovány primárně na plánování upínacích prvků seshora a z boku obrobku. Výsledkem je plán upínání, který je možný provést díky stavebnicovým a upínacím prvkům obsažených v databázi. Software dle požadavků může zpracovat i další varianty, které pak ještě uživatel dodatečně může upravit a vyhodnotit tu nejlepší po konkrétní požadavky. Zjednodušený postup, jak software plánuje upnutí obrobku je znázorněn na obrázku 17. Velice detailně se systémem AFCD zabývá literatura [1]. [1,17,18]



Obrázek 17: Procedura plánování AFCD [1]

3 Analýza úkolu

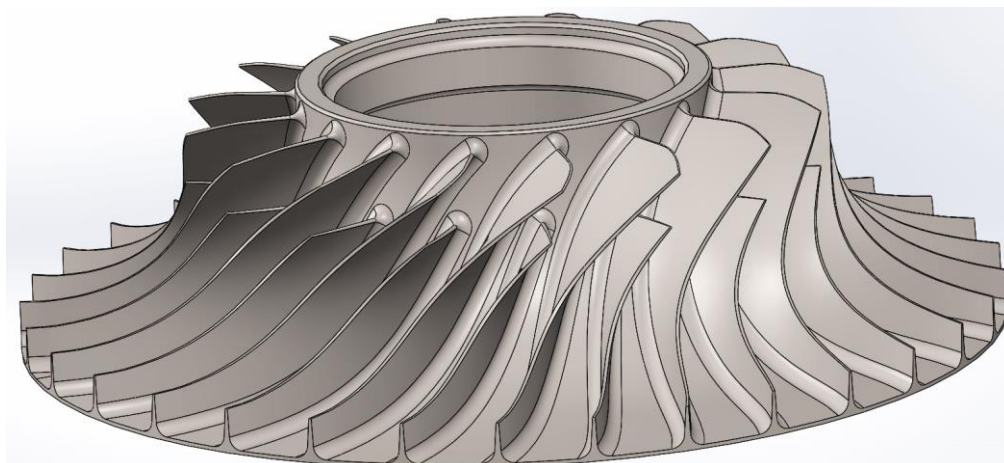
Mým prvním úkolem v praktické části diplomové práce je navrhnout přípravek pro oběžné kolo radiálního kompresoru (dále jen „oběžné kolo“). Druhým úkolem je tento navržený přípravek vyrobit. Toto oběžné kolo spolu s přípravkem bude v budoucnu umístěno do stroje na leštění s leštícím médiem. Požadavek je kladen na obrobení plochy lopatek, děličů a ploch mezi nimi. V této kapitole se budu zabývat i samotnou technologií leštění stroje SPM LPG 1, protože z technologie tohoto stroje vycházejí návrhy na jednotlivá řešení. Dále zanalyzuji výchozí stav pro řešení návrhu přípravku. Výroba jednotlivých částí přípravku proběhla v dílnách Ústavu technologie obrábění, projektování a metrologie na Fakultě strojní, ČVUT (dále jen „Ústav“). Proto jsem při návrhu musel vzít v potaz strojní a nástrojové vybavení Ústavu. Také jsem musel vycházet z polotovarů, které byly na Ústavu dostupné ve skladě materiálu.

3.1 Oběžné kolo

Součástí, pro níž jsem navrhnul a vyrobil přípravek, je oběžné kolo radiálního kompresoru v leteckém motoru. Kompresor je určen ke zvýšení tlaku atmosférického vzduchu. Spalovací komora míchá kompresorem stlačený vzduch s palivem a tato směs se spaluje ve spalovací komoře. Turbína umístěná za spalovací komorou je poháněna touto směsí expandujícího vzduchu. První stupeň turbíny je umístěn na stejné hřídeli jako kompresor a slouží tedy k pohonu po ose turbíny motoru. Na obrázku 18 je ukázkové oběžné kolo, pro které jsem navrhnul přípravek. Konkrétně, toto oběžné ale nebude předmětem samotného leštění. Je to pouze předváděcí kolo. Obrázek 19 zobrazuje CAD model oběžného kola. [19,20]



Obrázek 18: Oběžné kolo



Obrázek 19: CAD model oběžného kola

Kompresor obsahuje jeden nebo více rotorů, z nichž každý obsahuje určitý počet lopatek a děličů ve tvaru profilu toku vzduchu. Tyto lopatky a děliče mezi sebou vytváří kanálky pro proudění vzduchu ve spirálové podobě podle profilu lopatek. Proto tato oběžná kola mají složitý tvar. Oběžná kola jsou obráběna z jednoho polotovaru, nejčastěji z titanové nebo niklové slitiny. Pro správné a účinné proudění vzduchu je rozhodující povrch lopatek a kanálek mezi nimi, kde vzduch proudí. Vzduch se opírá o tyto lopatky. V současné době je na výkresu předepsána drsnost Ra 1,6 μm . Běžně se dosahuje drsnosti Ra 1,0 až 1,2 μm po frézování a následném kuličkování. Cílová drsnost, která by měla být dosažena po aplikaci SPM leštění je maximálně Ra 0,2 μm . Dle aero-thermo dynamické studie další snižování drsnosti nevede k výraznému zvýšení účinnosti kompresoru. [19,20]

3.2 Leštění na stroji SPM LPG 1

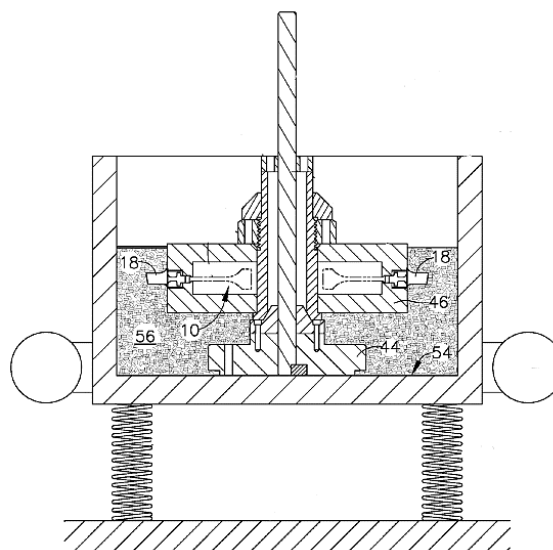
Leštění se řadí mezi metody dokončovací s úběrem materiálu. Leštění je metoda, při které se dosahuje lesklého povrchu především z důvodu požadavku na vzhled. V mém případě jde o již popsanou snahu dosáhnout povrchu s drsností Ra 0,2 μm kvůli proudění vzduchu na oběžném kole tak, aby ztráty byly nižší. Při leštění se z povrchu odstraňují mikronerovnosti, nečistoty, vrstvičky oxidů a jiných sloučenin. Pokud je leštění provedeno správně, nedojde k vyhřátí povrchu. Povrch s nižší drsností tak obsahuje méně technologických vrubů a tím je únavově odolnější. Ve většině případů se jako nástroje používají brousící plátina, pásy a kotouče. Pro jemnější stupeň leštění se zrna volně rozptýlí v kapalině nebo leštící pastě na textilním kotouči nebo pásu. Pokud se pod pás nedá kapalina a zároveň se zvýší rychlost pohybu pásu, dochází třením k zahřátí a plastické deformaci povrchu neboli dochází k rozleštění vrcholků nerovností. Zrnitost brousících zrn se volí dle materiálu, který je broušen. Častá je zrnitost 80 – 600. [21]



Obrázek 20: Lešticí stroj SPM LPG 1 [22]

Stroj SPM LPG 1 (viz obrázek 20) firmy S.P.M Mould Polishing System je určen pro leštění skla, forem a součástí z oceli, bronzu a dalších kovů. Stroj používá technologii leštění za mokra, kde úběr materiálu je v řádu mikrometrů. Oproti konvenčnímu leštění zde nehrozí vyhřátí povrchu, tudíž nedojde ke vzniku nežádoucích tahových napětí. Stroj disponuje jedním pracovním boxem, kam lze na elektropermanentní magnetickou desku upnout více obrobků bez rizika kontaktu mezi nimi v průběhu leštění. Lešticí médium je do pracovního prostoru přivedeno i odvedeno automaticky. [22]

Pro můj návrh přípravku je důležité znát velikost pracovního prostoru. Pracovní prostor má délku 448 mm, šířku 448 mm a výšku 350 mm. Rozměry stroje jsou 1700 x 1100 x 2200 mm. Instalovaný výkon je 16 kW při 32 A. Příkon je 1,1 kW. [22]



Obrázek 21: Schéma lešticího stroje [19]

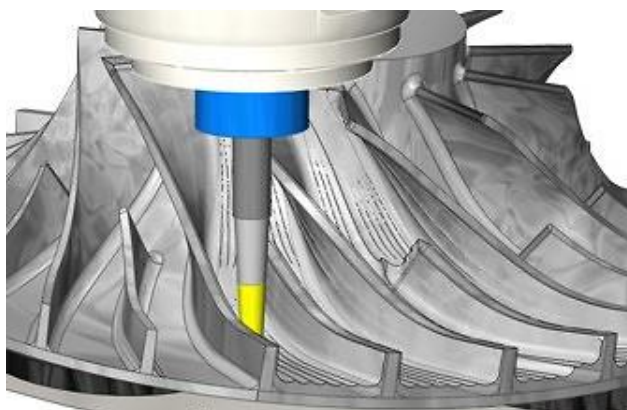
Klasické leštění je založeno na úběru materiálu. To je ale na povrchu lopatek oběžného kola nepřijatelné. Proto je nutné hledat způsob leštění i pro složitější součásti bez změny geometrie a tvaru součásti. To splňuje technologie použitá na stroji SPM LPG 1. Lešticí médium z hmotnostního hlediska obsahuje 98 % kovových třísek, v mém případě měděných, spolu s necelými 2 % kapaliny a zhruba 0,05 % abraziva. Po upnutí součásti na elektropermanentní magnetickou desku se do pracovního prostoru přivede lešticí médium. Následně vibrační elementy rozkmitají lešticí médium proudící kolem obrobku. Leštění probíhá do té doby, než je dosaženo požadované kvality povrchu. Schéma lešticího stroje s touto technologií je na obrázku 21. Tento stroj využívá patentu EP3471917A1 [19]. [19,20]

3.3 Analýza výchozího stavu

V této podkapitole se budu zabývat analýzou výchozího stavu pro návrh a následnou výrobu přípravku. Nejdříve analyzuji samotnou součást, pro kterou budu přípravek navrhovat. Budu brát v potaz výrobní profil dílny Ústavu, nástrojové vybavení a také polotovary na skladě Ústavu, z kterých musí být přípravek vyrobené.

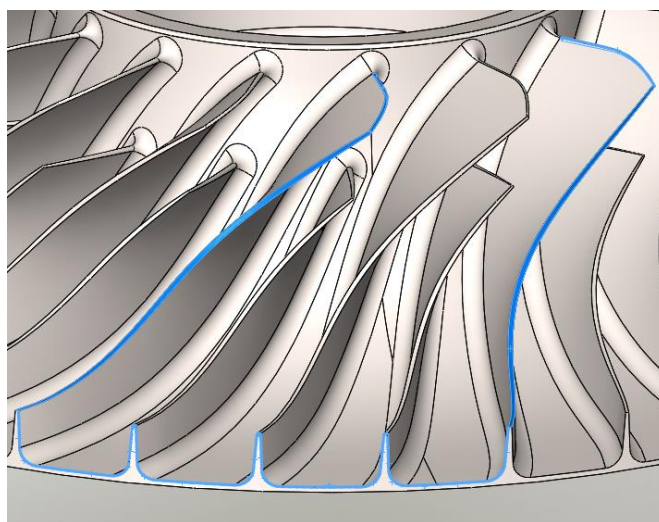
3.3.1 Analýza součásti

Analyzovanou součástí je tedy již výše uvedené oběžné kolo (obrázek 19). Je to rotační obrobek s lopatkami a děliči na náboji. Oběžné kolo se bude leštit v již představeném stroji SPM LPG 1. Leštit se budou pouze lopatky, děliče a prostor mezi nimi. Přesné dosedací plochy a centráže jsou zhotoveny ve stupni přesnosti IT 5 a nesmí být při leštění dotčeny. Lopatky a děliče jsou na náboji po celém kole rozmístěny pravidelně. Lopatek je umístěno na náboji šestnáct, stejné číslo je i u počtu děličů.



Obrázek 22: Ukázka frézování jiného oběžného kola [23]

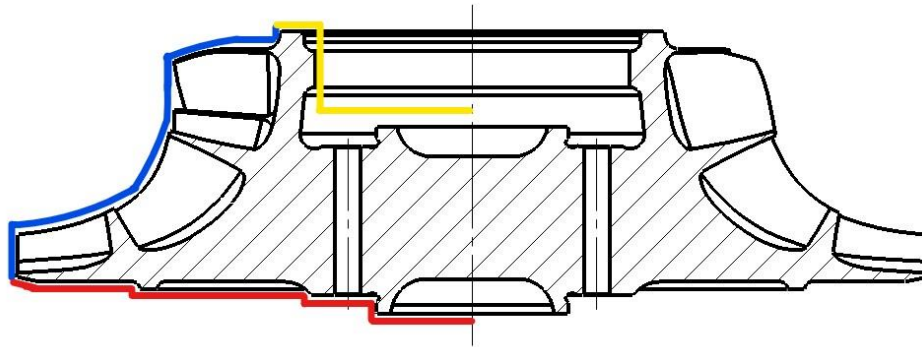
Cílem leštění je dosáhnout co nejlepší kvality povrchu. Hlavním důvodem leštění oběžného kola je snaha o odstranění stop po frézování lopatek, děličů a prostoru mezi nimi. Tyto stopy způsobují, že vzduch se nepohybuje ideálně po povrchu, a to znamená nižší účinnost stroje. Kontura dosažená obráběcím nástrojem (zubatý profil) je znázorněna na obrázku 22. Leštící médium může mít různé složení. Jedno konkrétní složení je uvedeno v podkapitole 3.2. Složení se ale může měnit v závislosti na materiálu leštěné součásti. Na testovacím oběžném kole se při leštění budou měnit vstupní podmínky leštění. Leštit se tak vždy bude jen určitá část kola s lopatkami a děliči. Spolu s vedoucím diplomové práce jsme se dohodli, že jedny podmínky leštění se vždy budou týkat dvou ohraničujících lopatek. Prostor mezi nimi vyplňuje ještě jedna lopatka a dva děliče. Tento prostor je přibližně zobrazen na obrázku 23. Přípravek pro krytí lopatek tak musí obsahovat prvky, které budou kopírovat profil lopatek. [19]



Obrázek 23: Oběžné kolo - ohraničená oblast pro jedny podmínky leštění

Přípravek pro krytí lopatek tak bude mít obecný tvar dle profilu lopatky. Takovou součást ale prakticky nelze jednoduchým a ekonomicky přijatelným způsobem obrábění vyrobit. Ústav ale disponuje 3D tiskárnou, která tiskne součástky z termoplastického materiálu. K dispozici je i tiskárna pro tisk z kovového materiálu.

Na oběžném kole se při leštění nesmí leštící médium dostat mimo plochu vymezenou pro leštění. Při pohledu na řez oběžného kola je patrné, že je nutný přípravek pro zakrytí spodní i horní části oběžného kola a pro zakrytí lopatek. Pro zakrytí horní části je nezbytný rotační přípravek, který přibližně kopíruje žlutou čáru znázorněnou na obrázku 24. Pro zakrytí spodní části bude též nezbytný rotační přípravek, který kopíruje přibližně červenou čáru znázorněnou na obrázku 24. Na obrázku 24 modrá čára znázorňuje přibližný profil přípravku pro krytí lopatek. Podrobný výkres oběžného kola je přiložen v příloze 3.



Obrázek 24: Řez oběžným kolem

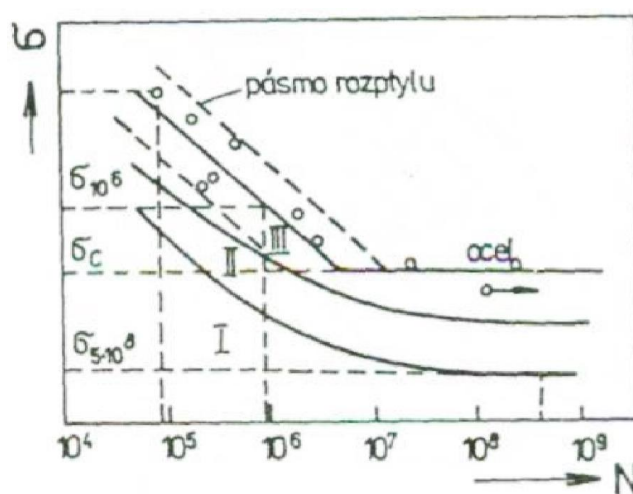
Leštit se bude pravděpodobně jedno oběžné kolo, na kterém se vyzkouší různé leštící podmínky. Z tohoto zadání je patrné, že přípravek jsem navrhoval pro kusovou výrobu. Pro kusovou výrobu je nejčastější navrhnout použití co nejvíce univerzálních a rychle dostupných přípravků. Výroba speciálních jednoúčelových přípravků je více typická pro velkosériovou výrobu, kde se náklady na vývoj a výrobu rozloží do většího množství kusů. Z analýzy součásti a z výrobní operace leštění je ale patrné, že součást bude muset být krytá před vlivem leštícího média. Z tohoto důvodu jsem se zaměřil na návrh speciálního jednoúčelového přípravku, který bude vyrobitelný za co nejmenší náklady dostupným výrobním profilem Ústavu s využitím polotovarů ze skladu Ústavu. [4]

Dalším přípravným krokem popsaným v podkapitole 2.4.1 je rozbor technologičnosti konstrukce součásti. V mém případě můžu uvažovat jedinou operaci, a to již popisované leštění ve speciálním stroji. Plochy lopatek, děličů a prostor mezi nimi má výkresovou drsnost Ra 1,6 μm . Cílem celého přípravku je dosáhnout při leštění hodnoty drsnosti Ra 0,2 μm bez změny geometrie povrchu. Již ze zadání je patrné, že nemůžu provádět žádné změny ve výrobním postupu či v návrhu a úpravě rozměrů součásti, případně žádné změny parametrů drsnosti a dalších parametrů. Musel jsem tedy uvažovat tyto skutečnosti jako zadané. Mnou navržený přípravek bude součástí plánované operace leštění, a bude tak pouze pomáhat k dosažení cíle, tj. požadované hodnoty Ra .

Zatím jsem jen rozepsal důvody, proč je nutné leštit lopatky, děliče a prostor mezi nimi z technického pohledu na věc. Úplným prvopočátkem, proč navrhnout přípravek pro leštění oběžného kola není hezký vzhled nebo aerodynamické proudění vzduchu po lopatce. Prvotním důvodem je snaha o snížení provozních nákladů leteckých společností nebo nákladů na údržbu samotných motorů a jejich součástí.

Každý stroj má určitou účinnost, stejně je tomu tak i u leteckého motoru. Pokud bude letecký motor fungovat s vyšší účinností, tak spálí za stejnou trasu letu menší množství paliva. A letecké palivo je velký provozní náklad. Zvýšená účinnost bude výhodou pro výrobce letadlových motorů. Výrobní náklady sice nepatrně porostou (navrhovaná operace leštění), ale zájem leteckých společností o nákup letadel s tímto typem motoru se dá očekávat, že bude zvýšený.

Součást je v provozu vystavena cyklickému a teplotnímu namáhání, a to v materiálu znamená vnesené působící napětí. Dle Wöhlerovy křivky pro cyklické namáhání na obrázku 25 je vidět, že se snižujícím se napětím σ , roste počet cyklů N , při kterém nedojde ke kritickému šíření trhliny v materiálu. [24]

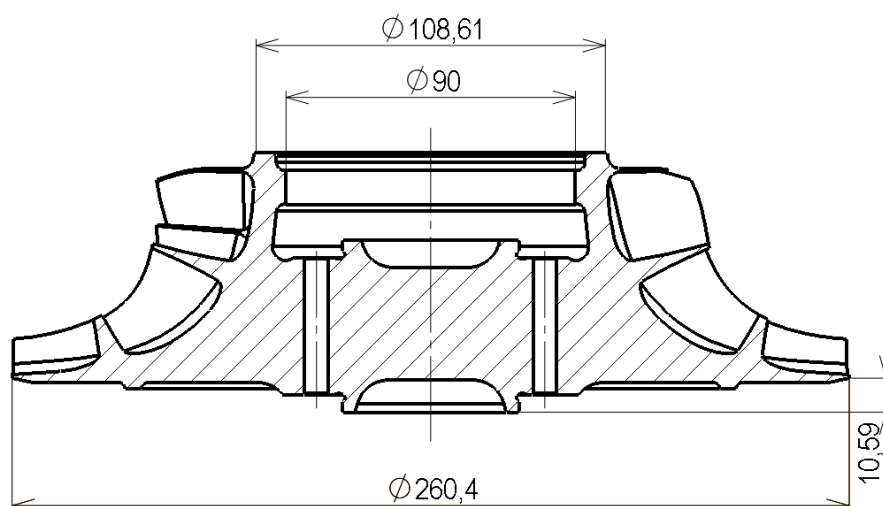


Obrázek 25: Wöhlerova křivka [24]

3.3.2 Dostupnost polotovarů

Při návrhu přípravku pro krytí oběžného kola jsem musel vycházet z polotovarů, které byly před samotnou výrobou dostupné ve skladu materiálu Ústavu. Sklad Ústavu disponuje polotovary především v podobě tyčí o různých průměrech. Nejčastější délka polotovarů na skladě je jeden až dva metry. Nejčastěji se ve skladu vyskytují tyče materiálu ČSN 12 050 a podobných ocelí, dále korozivzdorné oceli, tyče z hliníku a jeho slitin. Sklad disponuje také polotovary z plastových materiálů jako je POM a PA.

Z analýzy součásti vyplynula potřeba dvou polotovarů kruhového průřezu. Jeden polotovar pro krytí horní části součásti a jeden pro krytí spodní části součásti. Na obrázku 26 jsou vidět důležité rozměry pro volbu polotovarů pro jednotlivé části přípravku. Z obrázku 26 vyplývá, že pro horní část je požadovaný minimální průměr polotovarů 109 mm. Pro spodní část krytí je požadován průměr alespoň 261 mm.



Obrázek 26: Řez oběžným kolem s vybranými rozměry

Pro část přípravku, který bude krýt lopatky jsem nepotřeboval žádný polotovár ze skladu materiálu. Jelikož tento kryt má obecné plochy a Ústav disponuje 3D tiskárnou, rozhodl jsem se spolu s vedoucím práce tento kryt vytisknout na 3D tiskárně. Polotovarem pro tento kryt tak je vlákno materiálu na cívce, které je součástí FDM tiskárny Stratasys F370. Tuto součást si mohu dovolit vytisknout, protože kryt lopatek nebude vystaven většímu tahovému, tlakovému ani jinému namáhání. Jediným působícím prvkem bude lešticí médium. Cena za 3D tisk je na přijatelné hladině, a tak mohu tuto součást vytisknout velmi rychle a levně. To celkově výrazně zlevní celý jednoúčelový přípravek.

3.3.3 Výrobní profil Ústavu

Pod pojmem výrobní profil se skrývá veškeré strojní vybavení, které je dostupné v konkrétním výrobním podniku. Jedním z bodů přípravné fáze návrhu přípravku je i zjištění dostupných strojů pro možnou výrobu přípravku. Na Ústavu je dostupná široká paleta strojů. Najdeme zde soustruhy, frézky, vrtačky, brusky, CNC frézky, 5ti-osá obráběcí centra, 3D tiskárnu na plastový materiál, 3D tiskárnu na kovový materiál a mnoho dalších strojů.

Při návrhu přípravku je výrobní profil velmi důležitý faktor. S širokým výběrem strojů rostou možnosti, jak navrhnout přípravek, tak abych ho byl schopen vyrobit co nejrychleji, případně co nejekonomičtěji. Na dalších řádcích této podkapitoly popíšu všechny stroje, které jsem použil při výrobě finálního návrhu přípravku.

a) CNC frézka VMC 500

Výkon:	3,7 kW
Max. nosnost stolu:	350 kg
Max. otáčky vřetene:	6000 ot/min
Počet nástrojů:	21
Upínací délka stolu:	800 x 500 mm
Pojezdy X, Y, Z:	500 x 500 x 500 mm
Řídící software:	Acramatic 2100



Obrázek 27: CNC frézka VMC 500 [25]

Jedná se o vertikální obráběcí centrum firmy Kovosvit MAS. Tento stroj je postaven na nosném rámu tvaru C. Tvar a uspořádání nosného rámu stroje (odlitku) je optimalizováno především na požadavky jako je vysoká statická tuhost a stabilita, a to díky optimalizaci konstrukce metodou konečných prvků. Lineární vedení ve všech lineárních osách zajišťuje požadovanou dynamiku a přesnost při obrábění. Pracovní prostor stroje je vodotěsný a přístup do něj je zajištěn pomocí posuvného krytu. Zásobník nástrojů může disponovat až 21 nástroji s automatickou výměnou nástroje dle programu. Výměna nástrojů tak může probíhat přímo v jednom programu bez potřeby zásahu operátora výroby. Pro zvýšení řezných podmínek či k lepšímu chlazení místa obrábění lze využít chladicí kapaliny. [25,26]

b) OKUMA GENOS L200E-MY

Max. otáčky vřetene:	4500 ot/min
Max. obráběný průměr:	205 mm
Pojezdy X, Y, Z:	165 x 80 x 400 mm
Počet nástrojů:	12
Max. otáčky hnaného nástroje:	6000 ot/min
Výkon vřetene:	11 kW
Výkon revolverové hlavy:	4 kW
Řídící systém:	OSP-P200LA-R



Obrázek 28: OKUMA GENOS L200E-MY [27]

Jedná se o univerzální CNC soustruh se čtyřmi řízenými osami X, Y, Z a C a s poháněnými nástroji a s koníkem. Řídicím systémem stroje je OSP-P200LA-R. Ovládání se provádí pomocí dotykové obrazovky, na které lze množství nastavení včetně víceprocesních operací měnit bez častého přeskokování v řídicím systému. Stroj disponuje funkcí pro automatické nastavení řezných podmínek po zadání vstupních údajů (polotovary, výsledný tvar součásti apod.). Dále umí zobrazit 3D simulaci obráběcího procesu včetně kolizí. [27]

c) soustruh SV 18 RA

Max. soustružená délka:	750 mm
Max. obráběný průměr:	350 mm
Max. hmotnost obrobku:	300 kg
Výkon elektromotoru:	7,5 kW
Max. otáčky:	2800 /min



Obrázek 29: Soustruh SV 18 RA [28]

Jedná se o mechanický hrotový soustruh, který je vysoce přesný a výkonný. Je vhodný pro univerzální použití v kusové a malosériové výrobě. Obrábět lze většinu druhů kovových i nekovových materiálů. [28]

d) Pracovní stůl - sklíčidlo

Tříčelistové sklíčidlo na pracovním stole ve školní dílně. Sklíčidlo sice není stroj, ale pomocný upínací prvek, ve kterém jsem do některých částí přípravku vyřezával závity, natáčel závitové vložky a také srážel hrany.



Obrázek 30: Sklíčidlo na pracovním stole

e) FDM tiskárna STRATASYS F370

Rozměry, hmotnost:	864 x 711 x 1626 mm, 227 kg
Technologie 3D tisku:	FDM
Hlučnost:	46 dB
Max. velikost modelu:	355 x 254 x 355 mm (X, Y, Z)
Stavební materiál:	ASA, ABS-M30, PC-ABS, QSR
Podpůrný materiál:	PLA, QSR
Výška vrstvy:	0,330; 0,254; 0,178 a 0,127 mm
Přesnost:	$\pm 200 \mu\text{m}$ nebo $\pm 2 \mu\text{m}/\mu\text{m}$
Přihrádky pro materiál:	2 pro model a 2 pro podpory
Software:	GrabCAD Print, Insight



Obrázek 31: FDM tiskárna
STRATASYS F370 [29]

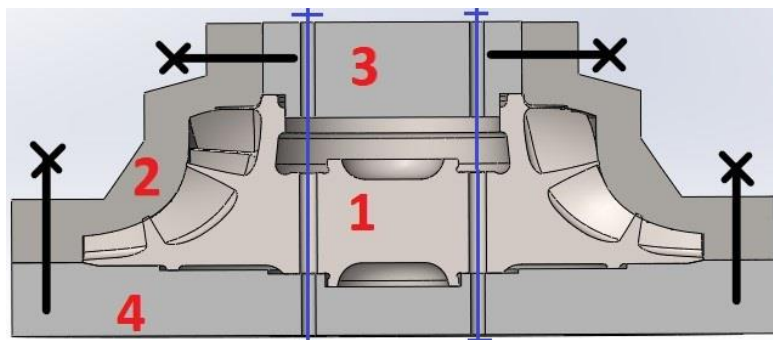
Tato tiskárna patří do rodiny tiskáren Stratasys F123 Series, které jsou komplexním řešením pro rychlé vytváření prototypů. Tiskárna umožňuje i uživatelům bez zkušeností zhotovit přesné a pevné prototypy z různých termoplastů ve formě vlákna (filamentu). Použitelná je napříč celým procesem prototypování, tj. od prvotního ověření konceptu či designu až po finální funkční testování. Tiskárna využívá technologii FDM v uzavřené temperované komoře s konstrukčním a tiskovým softwarem GrabCAD Print, a umožňuje tak tisknout rychle a levně prototypové modely, ale i odolné sestavy. [29,30]

Technologie FDM je aditivní technologie založená na tuhé bázi. Princip FDM je založen na povrchové chemii, tepelné energii a technologii kladení vrstev. Tisková hlava doslova vytlačuje roztavený polotekutý termoplast a klade ho vrstvu po vrstvě v pracovní komoře předehřáté na 95°C. Používají se dva modelovací materiály. Jeden stavěcí, který tvoří součást a druhý podpůrný, který podpírá součást při tisku. Jakmile skončí tisk, uživatel má dvě možnosti na odstranění podpůrného materiálu. Buď ho mechanicky odstraní nebo ho nechá rozpustit v detergentu a vodě. FDM se vyznačuje těmito výhodami: výroba funkčních modelů a prototypů, výroba součástek pro výuku a použití ve výuce, minimální plýtvání materiálu, kvalitní podpory a jejich snadné odstranění, rychlá změna materiálu vlákna, poměrně velký pracovní prostor. Nevýhodou je omezená přesnost, pomalejší výroba a někdy nepředvídatelné smrštění. [31]

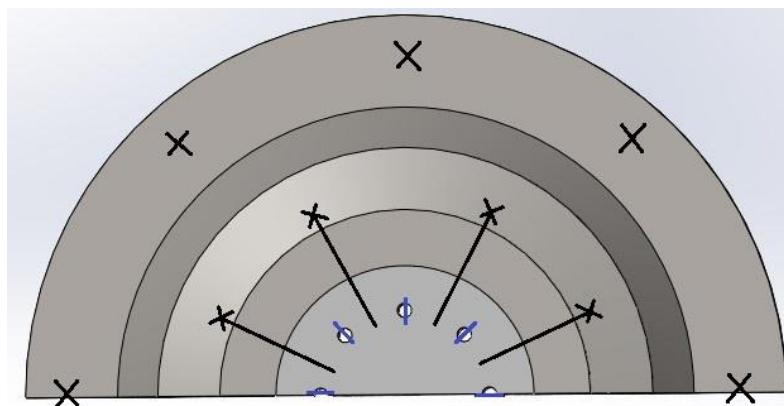
4 Navrhování přípravku

4.1 Návrh první

U prvního návrhu jsem se snažil vytvořit koncept, který odpovídá analýze oběžného kola hlavně z hlediska nutného krytování téměř celé součásti. Oběžné kolo jsem se rozhodl v tomto návrhu zakrytovat celé, tak abych jednotlivé části přípravku mohl lehce spojit. Nejjednodušší, ale hlavně i účinné řešení je spojení pomocí šroubového spoje.



Obrázek 32: Návrh 1 - pohled v řezu



Obrázek 33: Návrh 1 - pohled seshora

Navrhl jsem pro zakrytování oběžného kola (na obrázku 32 vyznačeno číslem 1, v dalších návrzích bude číslování dílů zachováno) celkem tři části přípravku. Horní kryt (3), spodní kryt (4) a kryt lopatek (2).

Horní i spodní kryt jsou rotační součásti. Obě součásti se dají jednoduše soustružit na soustruhu SV 18 RA. Spojení těchto dvou částí přípravku jsem navrhnul pomocí osmi závitových tyčí, které na obou koncích jsou zajištěné maticemi s podložkami (obrázek 32 - schematicky znázorněno modrými čarami). Toto spojení se nabízelo přímo z analýzy oběžného kola.

To obsahuje 8 technologických děr se stejnou úhlovou roztečí. Těch jsem při prvním návrhu využil a dírami a dírami ve spodním a horním krytu závitové tyče prochází.

Jak už jsem zmiňoval v podkapitole 3.3.2, součást pro krytí lopatek se tiskne na FDM tiskárně Stratasys F370. Navrhnutá součást kopíruje tvar lopatek z profilu. Kryt lopatek dosedne na spodní kryt a přilehne k oběžnému kolu a k hornímu krytu.

Vzájemné spojení krytu lopatek a horního krytu nebo spodního krytu jsem navrhl jako šroubové spojení (viz schematický nákres na obrázcích 32 a 33 černými čarami). Šroub projde dírou v krytu lopatek a zašroubuje se do vnitřního závitu spodního či horního krytu. Těchto šroubových spojení by bylo 8 u spodního krytu a 8 u horního krytu. Vnitřní závity u horního i spodního krytu by se vytvořily pomocí strojního závitníku. Na frézce VMC 500 by se vyvrtaly průchozí díry pro závitové tyče.

Při leštění musí být součást ustavená a upnutá. Kombinace tří výše navrhnutých krytů a jejich vzájemného spojení oběžné kolo jasně ustavuje. Oběžné kolo je tak i jasně upnuto, jelikož je v sevření tří krytů.

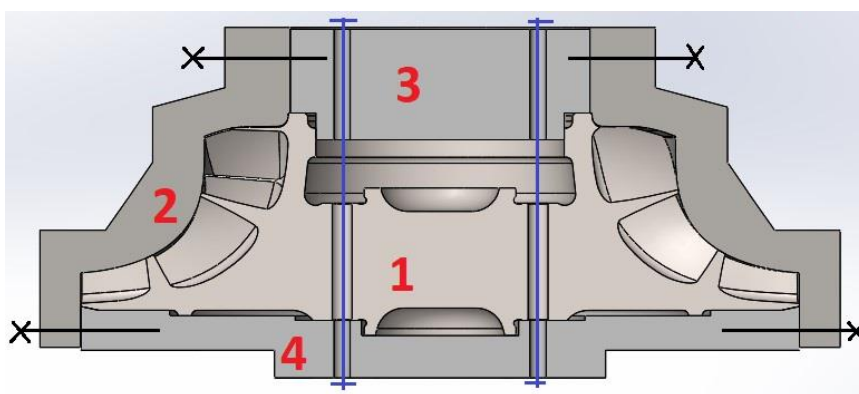
4.2 Návrh druhý

Při návrhu přípravku jsem musel vycházet z dostupných polotovarů na skladě Ústavu. Proto jsem se v druhém návrhu zaměřil na optimalizaci první varianty z hlediska dostupných polotovarů.

U krytu lopatek (2) jsem řešil stavební materiál pro tisk. Tiskárna Stratasys nabízí možnost tisknutí z těchto materiálů (termoplastů): ASA, ABS-M30, PC-ABS, QSR. Vybral jsem materiál ABS-M30, který má zvýšenou pevnost o 25 až 70 % oproti klasickému ABS. Materiál má také hladší výsledný povrch s jemnějšími detaily. Odolnost proti tahu, ohybu a rázová odolnost je také větší. Tyto vlastnosti zaručují zesílené vazby při nanášení jednotlivých vrstev. Jako podpůrný materiál jsem zvolil dostupný termoplast QSR. [29,30]

U spodního krytu (4) ale nastal problém. Ve skladě materiálu jsem nenašel vhodný polotovar, tj. polotovar alespoň o \varnothing 320 mm (odpovídá obrázku 32). Největší průměr oběžného kola je \varnothing 260,4 mm (viz obrázek 26). Ve skladu jsem našel jediný vhodný polotovar nad tento průměr, a to polotovar \varnothing 290 - 35 ČSN 755-3 ze slitiny hliníku EN AW 7075. S tímto polotovarem jsem ale musel upravit první návrh, protože by nebylo možné realizovat šroubová spojení mezi spodním krytem a krytem lopatek. Proto jsem navrhnul jiné řešení. Šroubové spojení ale bude

obdobné, jako je tomu u spojení horní krytu a krytu lopatek. Toto řešení je schematicky zakresleno na obrázku 34 černými čarami. Spodní kryt tak má $\varnothing 260,4$ mm. Zároveň jsem optimalizoval výšku spodního krytu na 27 mm. Také jsem navrhnul osazení o $\varnothing 120$ mm, hloubky 10 mm. Tuto optimalizaci jsem navrhl z technologického hlediska, aby obrobek při soustružení šel lépe upnout do sklíčidla. Při upnutí polotovaru na $\varnothing 290$ mm jsou čelisti sklíčidla na školním soustruhu SV 18 RA chyceny pouze jednou drážkou ve spirále. Po opatrném soustružení osazení, tak již nebude problém s upnutím za $\varnothing 120$ mm a dalším obráběním. Osazení se také hodí ke snížení hmotnosti celé sestavy. S úpravou spodního krytu došlo i k úpravě tvaru krytu lopatek, který již nedosedá na spodní kryt, ale přiléhá k němu.



Obrázek 34: Návrh 2 - pohled v řezu

Návrh horního krytu (3) má $\varnothing 108,61$ mm a výšku 40 mm. Zvolil jsem polotovar $\varnothing 120 - 50$ ASTM D 6778 z materiálu POM-C. Tento polotovar z plastu jsem zvolil kvůli jeho vhodným rozměrům, a tudíž minimalizovanému potřebnému obrábění. Také se hodí z hlediska nižší hmotnosti. Horní kryt je v tomto návrhu beze změn.

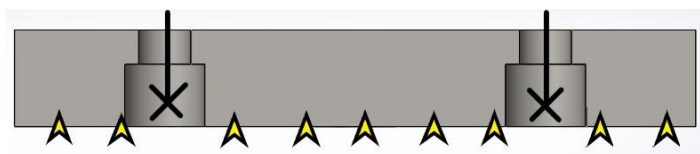
4.3 Návrh třetí

Z požadavků na zakrytování součásti a z mého předcházejícího návrhu je oběžné kolo sice ustaveno a upnuto, ale pouze v rámci samotného přípravku. Po volbě polotovarů jsem se musel zaměřit na to, jak celý přípravek spolehlivě upnout do lešticího stroje SPM LPG 1. Tento stroj používá k upnutí elektropermanentní magnetickou desku. Z tohoto důvodu je nutné navrhnout takové řešení, aby se celý přípravek dal upnout za tuto desku. Princip a podrobnosti tohoto typu upínání jsem popsal v podkapitole 2.7.3.

Hlavním předpokladem pro upnutí je součást z materiálu, který má magnetické vlastnosti. Z druhého návrhu je patrné, že tento přípravek není možné upnout na elektropermanentní

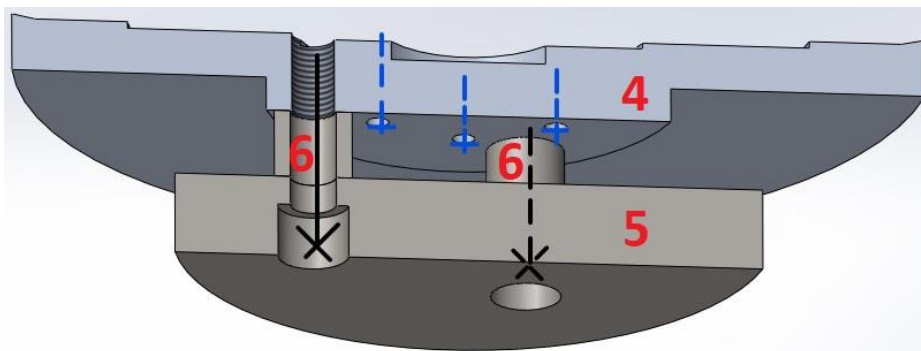
magnetickou desku, jelikož kryt lopatek a horní kryt je z termoplastu či plastu. Dolní kryt je z hliníkové slitiny, která má paramagnetické vlastnosti a není tak vhodná pro tento druh upnutí, protože nedokáže udržet magnetické pole. Z druhého návrhu je ale zřejmé, že na spodní kryt nemůžu využít jiný vhodný polotovar ze skladu Ústavu. Mnou navržený třetí návrh reflektuje potřebu upnutí přes materiál, který má feromagnetické vlastnosti, tj. že dokáže udržet magnetické pole i při zániku vnějšího pole. [32]

Po konzultaci s vedoucím diplomové práce jsem se rozhodl nevyrábět součást k magnetickému upnutí. Využil jsem kruhovou desku z feromagnetické materiálu, která na Ústavu již neměla využití. Tato kruhová deska má \varnothing 170 mm o výšce 24 mm. Rozhodl jsem se opět pro šroubové spojení, které spojí spodní kryt s kruhovou deskou. Šrouby spojující tyto dvě části přípravku ale musí být zahloubeny tak, aby z kruhové desky nekoukaly jejich hlavy. Čtyři průchozí díry se zahloubením (rozteč 90°) se vyvrtají a vyfrézují. Zahloubení s průchozí dírou je schematicky znázorněné na obrázku 35. Šroubové spojení je opět načrtnuto černými čarami. Na spodní straně kruhové desky je žlutými šipkami naznačené magnetické upnutí stroje SPM LPG 1.



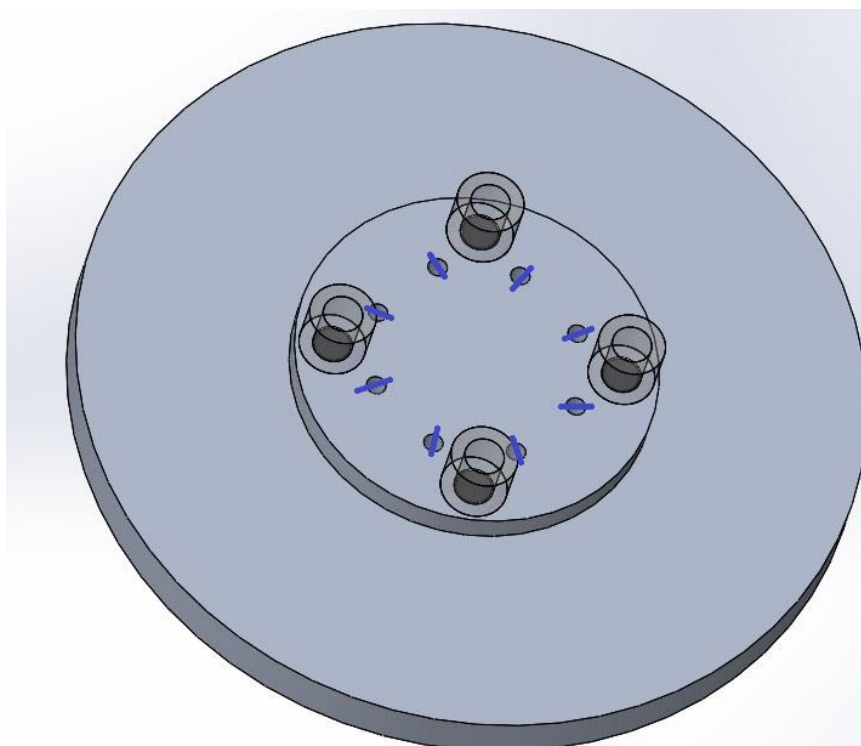
Obrázek 35: Návrh 3 - kruhové deska v řezu

Tuto kruhovou desku (na obrázku 36 vyznačena číslem 5) ale nemohu přiložit a upevnit ke spodnímu krytu (4), protože na spodní straně spodního krytu jsou konce závitových tyčí opatřené maticemi s podložkami (naznačené modrými čarami v obrázku 36), které tak zabráňují dosednutí kruhové desky. Proto jsem navrhl ještě nastavovací kroužky (6), které vytvoří mezeru mezi spodním krytem a kruhovou deskou. Velikost této mezery je dána výškou nastavovacího kroužku, který má průchozí díru pro šroub. Výška nastavovacích kroužků musí být alespoň taková, aby byla vyšší, než vykukující části závitových tyčí. Kruhová deska je z korozivzdorné oceli ČSN 17 145. Pro nastavovací kroužky jsem zvolil dostupný polotovar \varnothing 25 - 500 ČSN 755-3, materiál 17 240. Korozivzdornou ocel jsem zvolil z důvodu působícího leštícího média při leštění.



Obrázek 36: Návrh 3 - řez pro znázornění uchycení kruhové desky

Na obrázku 37 je znázorněno rozmístění děr ve spodním krytu tak, aby nastavovací kroužky (průhledné prvky) nepřišly do kontaktu s podložkami pod maticemi (schematicky načrtnuto modrými čarami), které uchycují závitové tyče. Rozteč a rozmístění děr se zhloubením je na kruhové desce totožné jako rozteč a rozmístění vnitřních závitů ve spodním krytu.

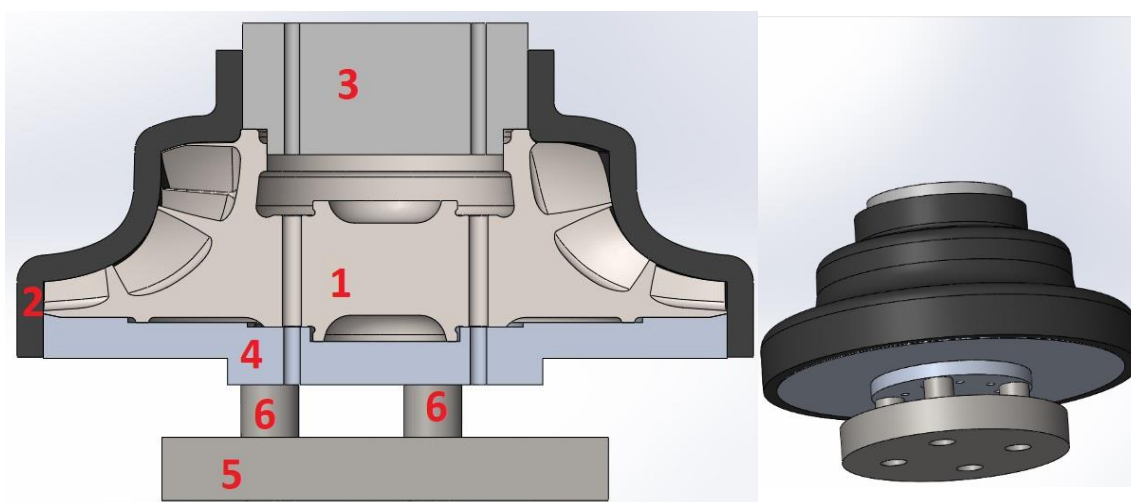


Obrázek 37: Návrh 3 - rozmístění polohy děr ve spodním krytu a nastavovacích kroužků

4.4 Návrh čtvrtý

Již jsem v předcházejících návrzích vyřešil ustavení a upnutí oběžného kola v přípravku a také upnutí celého přípravku do lešticího stroje. Prozatím jsem neoptimalizoval kryt lopatek a horní kryt.

Z obrázku 34 je patrné, že tloušťka krytu lopatek je nekonzistentní. Proto jsem navrhnul úpravu, kde vnější obrys v řezu tohoto krytu bude mít od vnitřního obrysu konstantní vzdálenost. Zároveň jsem navrhnul stlačit tloušťku krytu na co nejmenší hodnotu. Kryt lopatek bude vytištěn z termoplastu ABS-M30, který má vyšší pevnost než ABS. Rozhodl jsem se po poradě s vedoucím diplomové práce, že tloušťka stěny bude 10 mm. Na kryt lopatek nebude působit žádné velké napětí. Nízké hodnoty napětí lze očekávat akorát od utahovaných šroubů, u kterých bude tlak rozložen přes podložky. Na obrázku 38 je znázorněný optimalizovaný kryt lopatek (2). Tento kryt bude lehčí než kryt návrhu druhého, ale zároveň bude i po designové stránce vypadat pěkně.

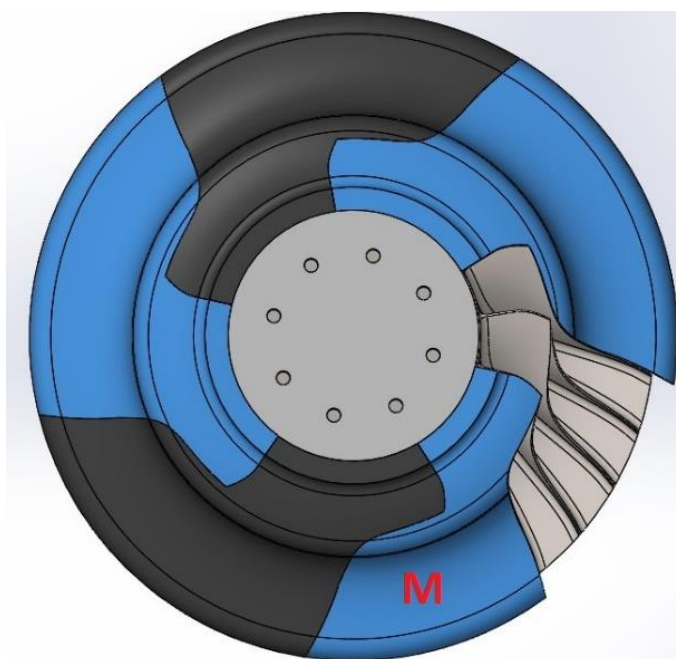


Obrázek 38: Návrh 4 - pohled v řezu a 3D pohled

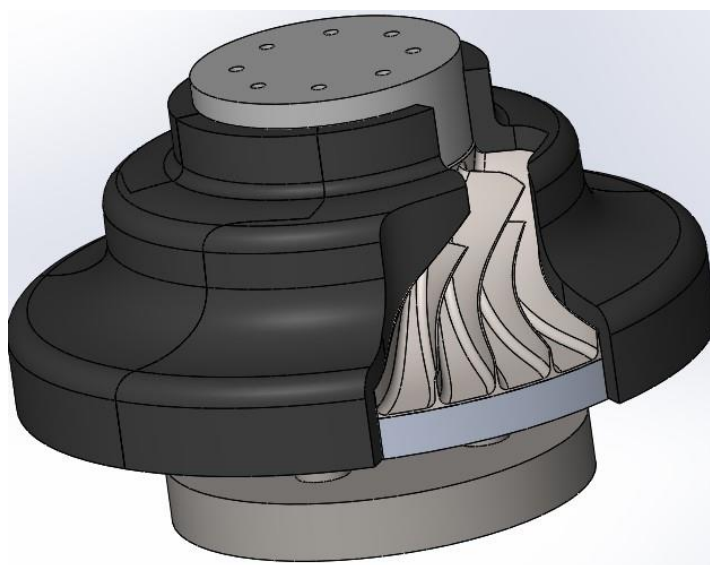
Zatím jsem kryt lopatek navrhoval tak, aby zakryl celé oběžné kolo. Při leštění, ale musí být pro lešticí médium dostupná vymezená část oběžného kola (viz obrázek 23). Na krytu lopatek jsem navrhl výřez, který přesně odpovídá požadované leštěné části oběžného kola pro jedny podmínky leštění. Při jiných lešticích podmínkách, by se kryt lopatek pouze pootočil o požadovaný úhel. Pokud by vznikl požadavek na leštění většího množství lopatek, děličů a prostorů mezi nimi, bylo by nezbytné vytisknout nový kryt lopatek s jinak velkým výřezem pro jedny podmínky leštění. Zároveň by tento díl při 3D tisku vyžadoval obrovské množství materiálu pro podepření stavěcího materiálu. Pokud by se součást nepovedla vytisknout, znamenalo by to velkou ztrátu materiálu. Toto řešení není optimální.

Z výše popsaných vlastností jsem se rozhodl kryt lopatek s výřezem rozdělit na několik segmentů. Navrhnuté krytování by tak bylo modulárním řešením. Přestavení jednotlivých segmentů krytu lopatek by tak bylo časově nenáročné. Navrhl jsem rozdělit kryt lopatek na celkem šest segmentů. Čtyři segmenty budou krýt prostor mezi čtyřmi lopatkami a dva segmenty

budou krýt prostor mezi třemi lopatkami. Pokud odstraním jeden segment pokrývající prostor mezi třemi lopatkami, zpřístupním tak tento prostor pro leštící médium (viz obrázek 39 a obrázek 40). Na obrázku 39 jsou znázorněné jednotlivé segmenty. Segment označený písmenem M, pokrývá prostor mezi třemi lopatkami. Ostatní segmenty pokrývají prostor mezi čtyřmi lopatkami. Segmenty jsou z pohledu shora ohraničené stejnou křivkou, akorát úhlově posunutou. Tudíž je možné jednotlivé segmenty za sebe skládat. Tvary jednotlivých segmentů jsou dosti netradiční a klasickým obráběním prakticky nevyrobitelné. S 3D tiskárnou si ale tyto tvary mohou dovolit.



Obrázek 39: Návrh 4 - pohled shora - segmenty

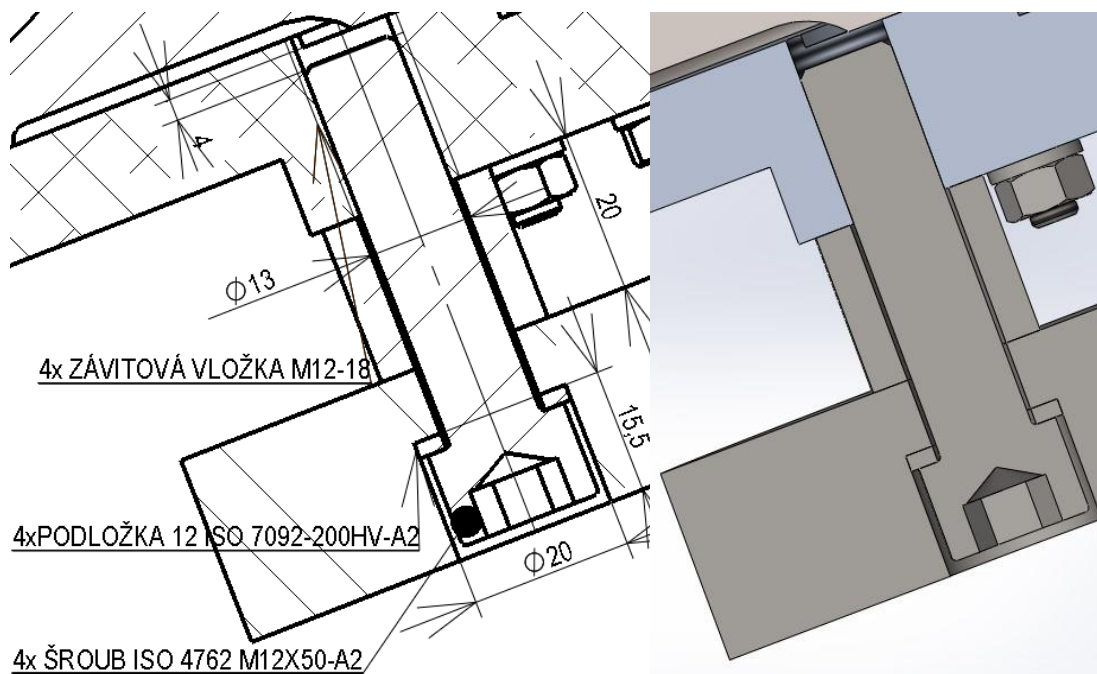


Obrázek 40: Návrh 4 - 3D pohled - segmenty

4.5 Návrh pátý

Prozatím jsem jen uvažoval, jak jednotlivé části přípravku spojit do jednoho celku. Jedinou výjimkou je spojení horního a spodního krytu osmi závitovými tyčemi, které jsou na obou koncích zajištěné maticemi s podložkami. V tomto návrhu jsem se zabýval především výběrem spojovacích prvků a s tím svázanou optimalizací jednotlivých částí přípravku. Všechny parametry jako je hloubka a průměr zahloubení díry, průměr průchozí díry pro šroub, výběh za závitem a další parametry jsem navrhnul dle Strojnických tabulek [33]. Všechny navrhnuté spojovací prvky (šrouby, závitové tyče, podložky, závitové vložky a matice) jsou z nerezového materiálu vhodného pro většinu pracovních prostředí, označení A2.

Nejdříve jsem se zaměřil na návrh šroubového spojení pro uchycení kruhové desky ke spodnímu krytu. Schematický nákres možného spojení jsem zobrazil na obrázku 36. Šroub by se mohl našroubovat do vnitřního závitu v hliníku. Závit v hliníku by ale nemusel vydržet utahovací moment a mohl by se strhnout. Tomu jsem chtěl předejít a navrhnul jsem použít závitové nerezové vložky. Do spodního krytu hliníkové slitiny se vyvrtají díry dle průměru šroubu, který bude částí přípravku spojoval. Strojním závitníkem se vyřízne závit, a nakonec se natočí závitová vložka. Pozice děr ve spodním krytu je znázorněna na obrázku 37.

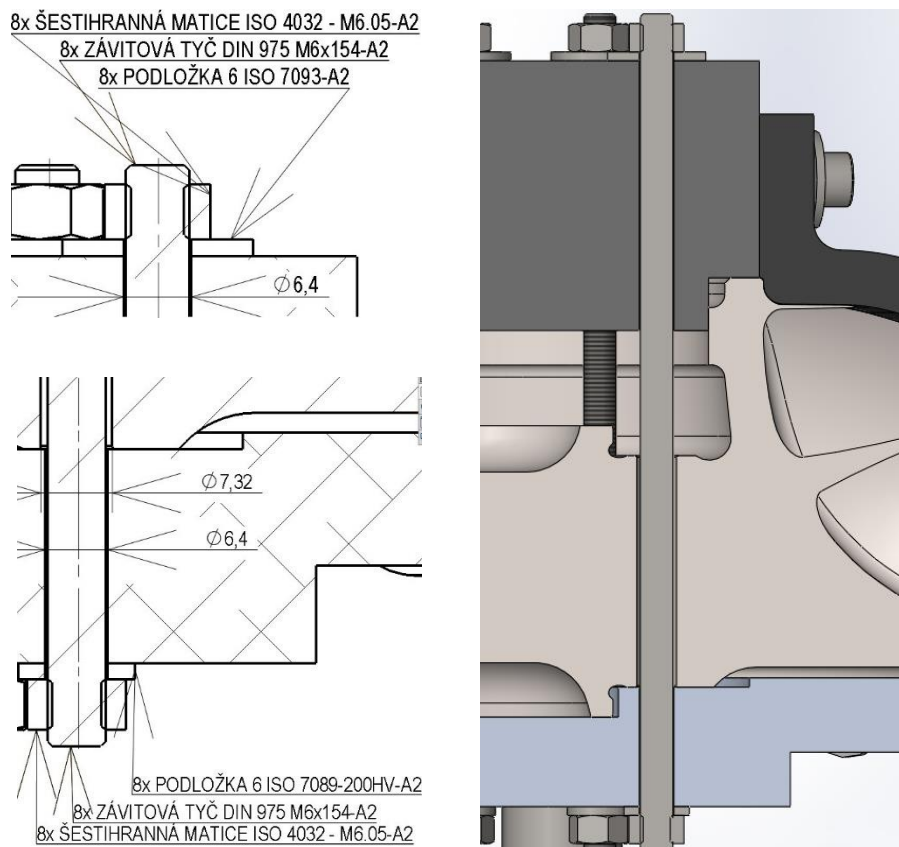


Obrázek 41: Návrh 5 - nákres šroubového spojení M12, řez sestavou

U tohoto spojení jsem navrhnul použít šroub M12. Strojnické tabulky uvádějí minimální délku zašroubování do hliníku jako dvojnásobek průměru závitu. Z obrázku 41 ale vyplývá, že ve

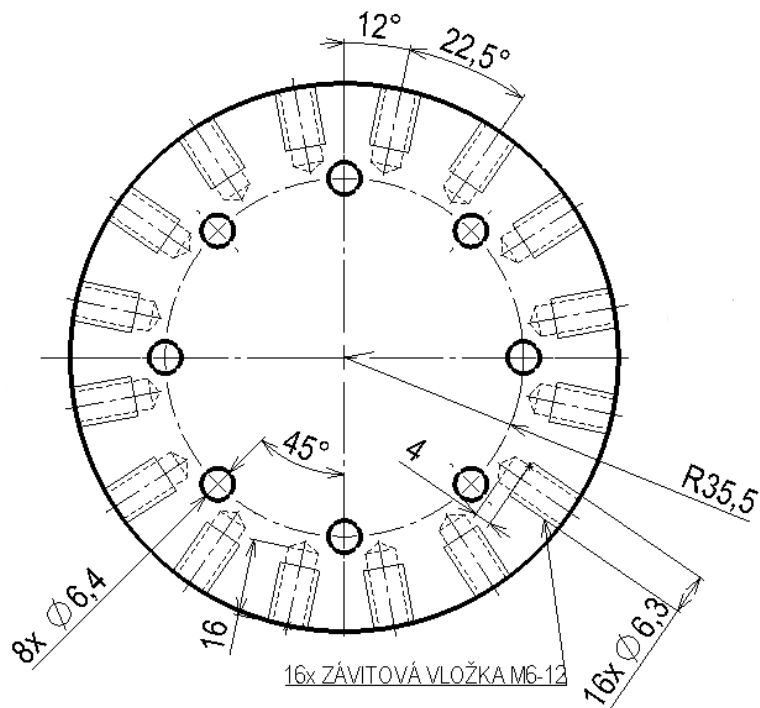
spodním krytu nenajdu místo s potřebnou výškou. To je další důvod k použití závitové nerezové vložky, kde hloubka zašroubování v kombinaci s hliníkovým základem je jeden a půl násobek průměru závitu. V mém případě tedy 18 mm a maximální hloubka možného závitu je 22 mm. Výběh vnitřního metrického závitu (výběh krátký pro omezené konstrukční poměry) dle ČSN 02 1034 pro šroub M12 je 5,0 mm. Výběh v mém případě je ale pouze 4 mm. Rozhodl jsem se, že v mém případě tato hodnota bude dostatečná, protože při zobrazení šroubového spojení v CAD softwaru můžu s jistotou říci, že zvolený šroub se nebude dotýkat oběžného kola. Závitovou vložku jsem tak zvolil M12 - 18. Šroub prochází nastavovacím kroužkem a průměr díry pro šroub M12 dle ČSN EN 20273 řady jemné je \varnothing 13 mm. Výšku nastavovacího kroužku jsem optimalizoval na 20 mm. Stejný průměr průchozí díry platí i pro díry v kruhové desce. Zahloubení jsem navrhnul jako válcové dle ČSN 02 1024, kdy průměr zahloubení pro šroub s podložkou je \varnothing 20 mm a hloubka 15,5 mm. Ve výsledku jsem použil šroub ISO 4762 M12x50-A2 s podložkou 12 ISO 7092-200HV-A2. Zjednodušený náčrt řešení tohoto šroubového spojení je na obrázku 41. Výkres finálního nastavovacího kroužku je v příloze 4 a výkres kruhové desky v příloze 5.

Návrh závitového tyče pro spojení horního a spodního krytu byl poměrně jednoduchý. Vycházel jsem z osmi technologických děr v oběžném kole o \varnothing 7,32 mm. To dle normy ČSN EN 20273 není dostatečný průměr pro závitovou tyč M7, proto jsem se rozhodl použít závitovou tyč M6. Pro spodní i pro horní kryt je tak dle této normy díra pro šroub o \varnothing 6,4 mm. Umístění a rozteč děr pro průchod závitových tyčí je zobrazena v příloze 6 pro horní kryt a v příloze 7 pro spodní kryt. Rozteč děr musí být shodná u obou krytů s roztečí děr na oběžném kole. Ve výsledku jsem zvolil závitovou tyč DIN 975 M6x2000-A2, šestihrannou matici ISO 4032 M6.05-A2 a podložku 6 ISO 7089-200HV-A2 pro spodní kryt a podložku 6 ISO 7093-A2 pro horní kryt. Závitovou tyč jsem později řezal na délku 154 mm. Všechny šrouby a matice, které dosedají k dílům z plastového materiálu (horní kryt a segmenty krytu lopatek), jsou opatřeny podložkou velkoplošnou (ISO 7093-A2). Zjednodušený náčrt spojení horního a spodního krytu závitovou tyčí je znázorněn na obrázku 42.



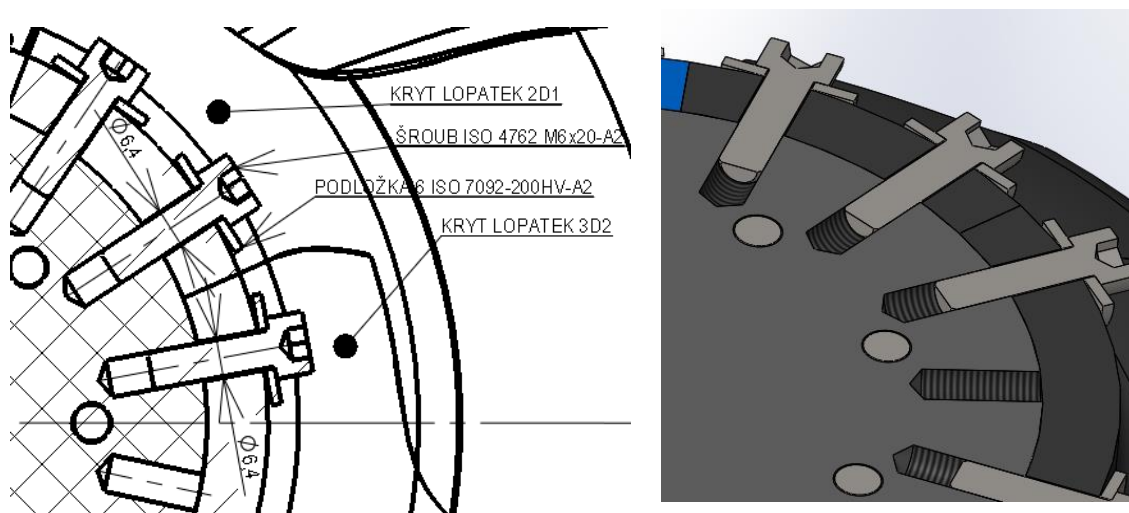
Obrázek 42: Návrh 5 - nákresy se závitovou tyčí M6, řez sestavou

Prozatím jsem jen naznačil, jak by kryt lopatek mohl být připevněn k hornímu a spodnímu krytu (viz obrázek 34). To jsem ještě ale uvažoval kryt lopatek jako jeden díl. V návrhu čtvrtém jsem ale tento kryt rozdělil na segmenty (viz obrázek 39 a 40). Jednotlivé segmenty zakrývají určitý prostor mezi lopatkami. Pro možné pootočení jednotlivých segmentů kolem osy oběžného kola je vhodné zvolit uchycení tak, aby se segment mohl úhlově posunout o jednu lopatku. Lopatek je celkem šestnáct. Proto jsem zvolil šestnáct vnitřních závitů rozmístěných v horním krytu se stejnou úhlovou roztečí. Detailnější rozměry jsou zobrazeny na obrázku 43 nebo ve výkresu v příloze 6. Každý segment by tak byl uchycen minimálně dvěma šrouby. Horní kryt je z materiálu POM-C a stejně jako u šroubu M12 by mohlo hrozit stržení závitů. Proto jsem se rozhodl taktéž pro vyložkování nerezovou vložkou. Z obrázku 43 je patrné, že předvrtané díry mohou být hluboké maximálně 16 mm. Delší nemohou být proto, aby tloušťka materiálu mezi výběhem $\varnothing 6,3$ mm a dírami pro závitové tyče $\varnothing 6,4$ mm nebyla příliš tenká. Rozhodl jsem se pro šroub M6. Délku závitové vložky jsem zvolil jako dvojnásobek průměru závitů dle doporučení pro plastový materiál. Výběh vnitřního metrického závitů (výběh krátký pro omezené konstrukční poměry) dle ČSN 02 1034 pro šroub M6 je 4,0 mm. A to akorát vychází se zvolenou závitovou vložkou M6 - 12. Detailní výkres horního krytu je v příloze 6.



Obrázek 43: Nákres polohy a velikosti závitových vložek v řezu, horní kryt

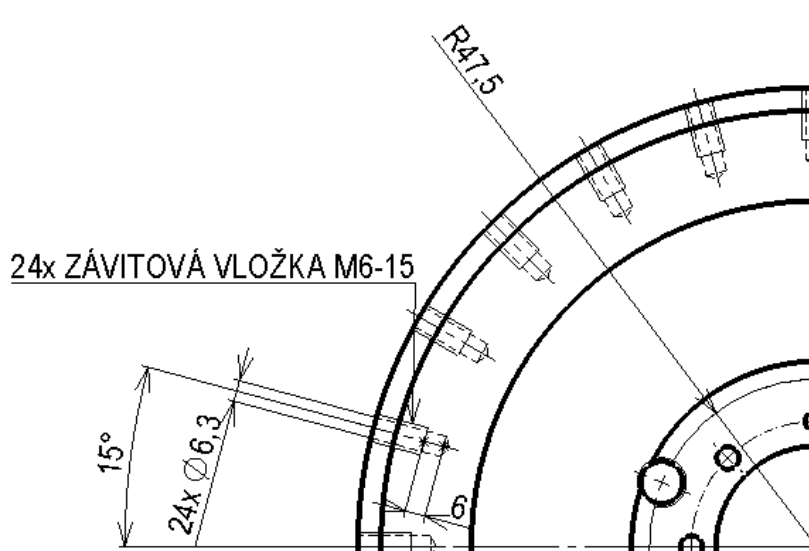
Jednotlivými segmenty krytu lopatek tak prochází šrouby M6, pro které jsou průměry děr dle ČSN EN 20273 řady jemné $\varnothing 6,4$ mm. Ve finálním návrhu jsem použil šroub ISO 4762 M6x20A2 s podložkou 6 ISO 7092-200HV-A2. Šroub je tak uchycen za jeden a půl násobek průměru závitu. Podložka pod šroubem je velkoplošná. Zjednodušený nákres řešení je zobrazen na obrázku 44.



Obrázek 44: Návrh 5 - řez horním krytem s 3D pohledem v řezu

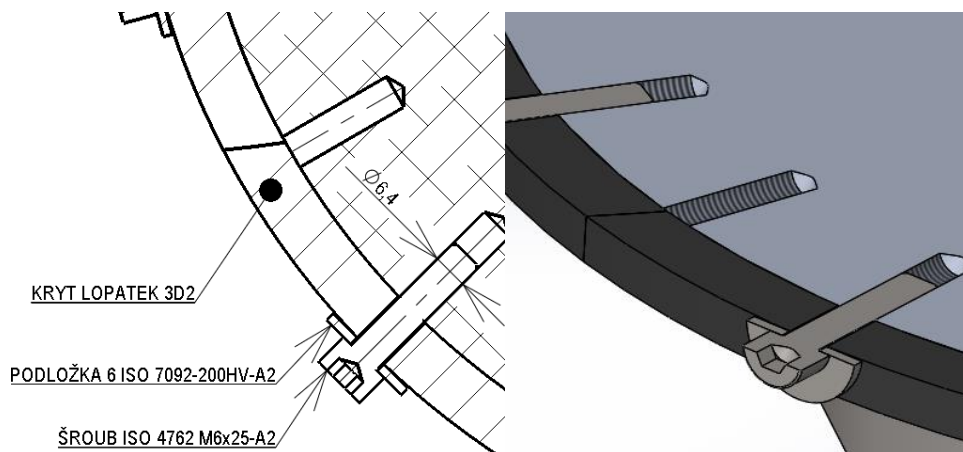
V tomto pátém návrhu mi ještě zbývá vyřešit upevnění segmentů krytu lopatek ke spodnímu krytu. Princip jsem již naznačil v návrhu druhém na obrázku 34. Spojení jsem navrhl

velmi podobně jako při spojení jednotlivých segmentů krytu lopatek a horního krytu. Segmenty krytu lopatek jsou při doléhání u spodní krytu o hodně větší v této části. Proto jsem se rozhodl pro upínání alespoň třemi šrouby. Proto je ve spodním krytu dvacet čtyři závitových nerezových vložek. Opět jsem je použil z důvodu možného strhnutí závitů v hliníkové slitině. Rozmístění jednotlivých závitových vložek je vidět na zjednodušeném obrázku 45 nebo na výkresu v příloze 7. Pro dostatek prostoru ve spodním krytu jsem zvolil závitovou vložku M6 - 15, kdy délka je dva a půl násobek průměru závitů. Obvyklý výběh vnitřního metrického závitů dle ČSN 02 1034 pro šroub M6 je 6,0 mm.



Obrázek 45: Návrh spodního krytu v řezu - závitové vložky

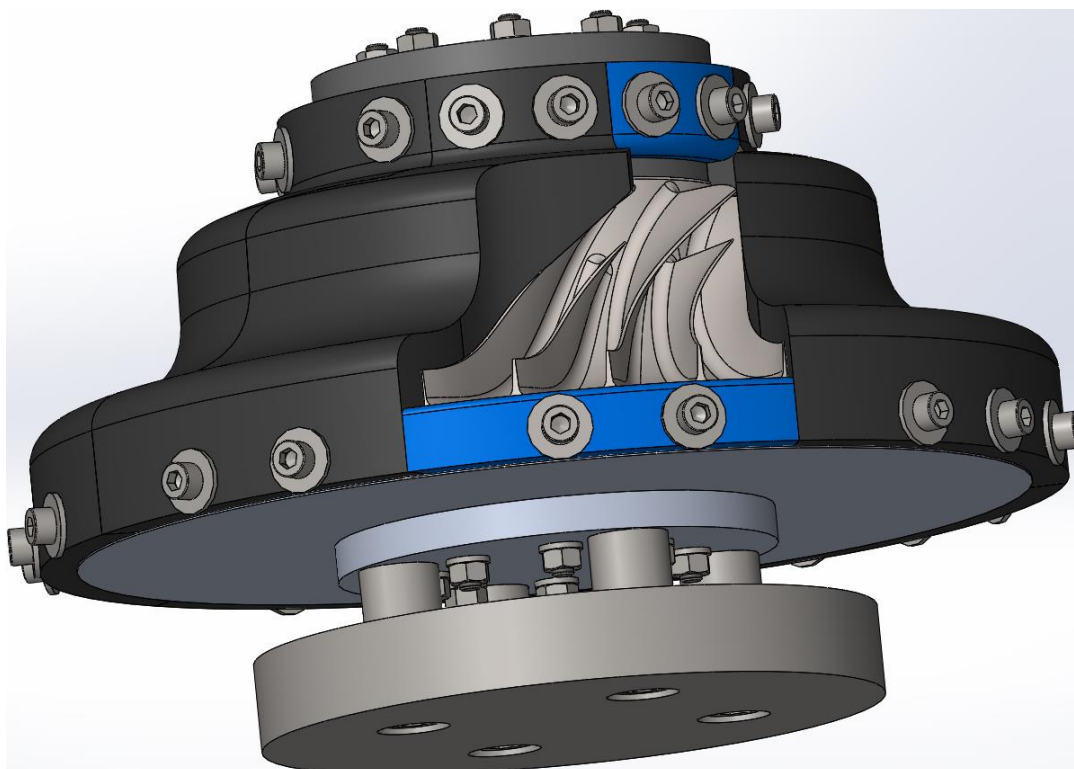
Jednotlivými segmenty tak opět prochází šrouby M6, pro které jsou průměry děr dle ČSN EN 20273 řady jemné $\varnothing 6,4$ mm. Použil jsem delší šroub ISO 4762 M6x25-A2 s podložkou 6 ISO 7092 -200HV-A2. Podložka pod šroubem je velkoplošná. Zjednodušený návrh řešení je zobrazen na obrázku 46.



Obrázek 46: Návrh - 5 řez spodním krytem s 3D pohledem v řezu

4.6 Finální návrh

Návrh pátý jsem zvolil jako konečný pro krytí oběžného kola. Jelikož bude na celý přípravek a část oběžného kola působit leštící médium, ještě jsem navrhl poslední optimalizaci u horního a spodního krytu. Navrhl jsem ještě dodatečné části přípravku, které zakryjí volné závitové vložky. Leštící médium by tyto závitové vložky mohlo poškodit. Navrhnuté dodatečné kryty jsou zobrazeny na obrázku 47 modrou barvou. Pro uchycení jsem zvolil shodný postup jako u segmentů krytu lopatek.

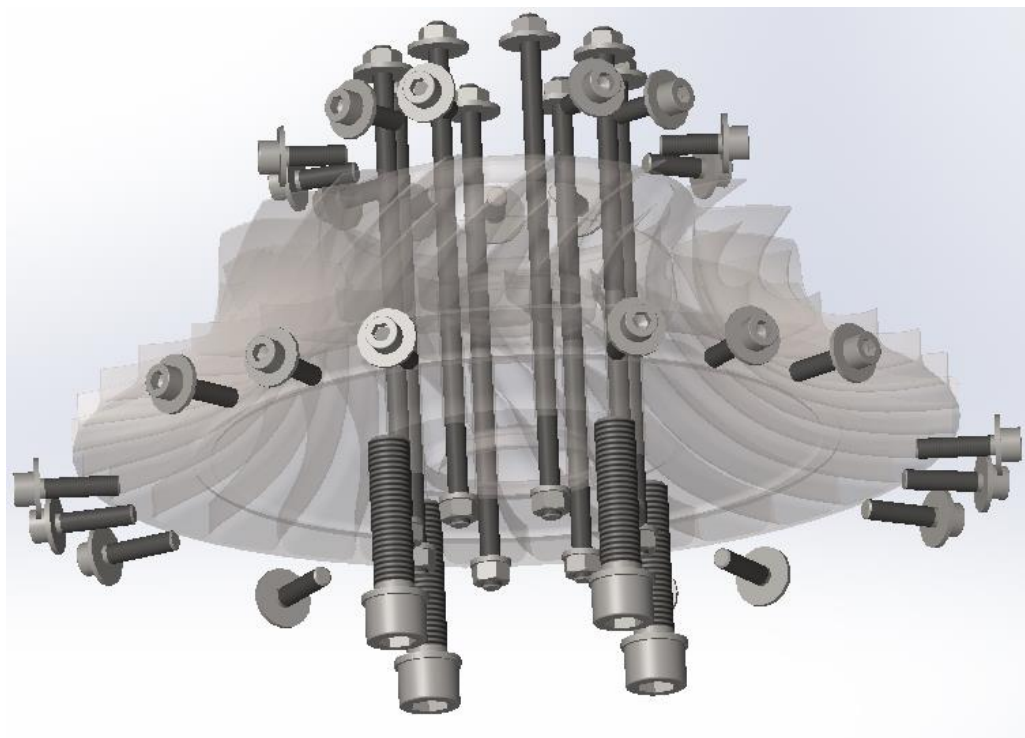


Obrázek 47: Finální návrh - 3D pohled

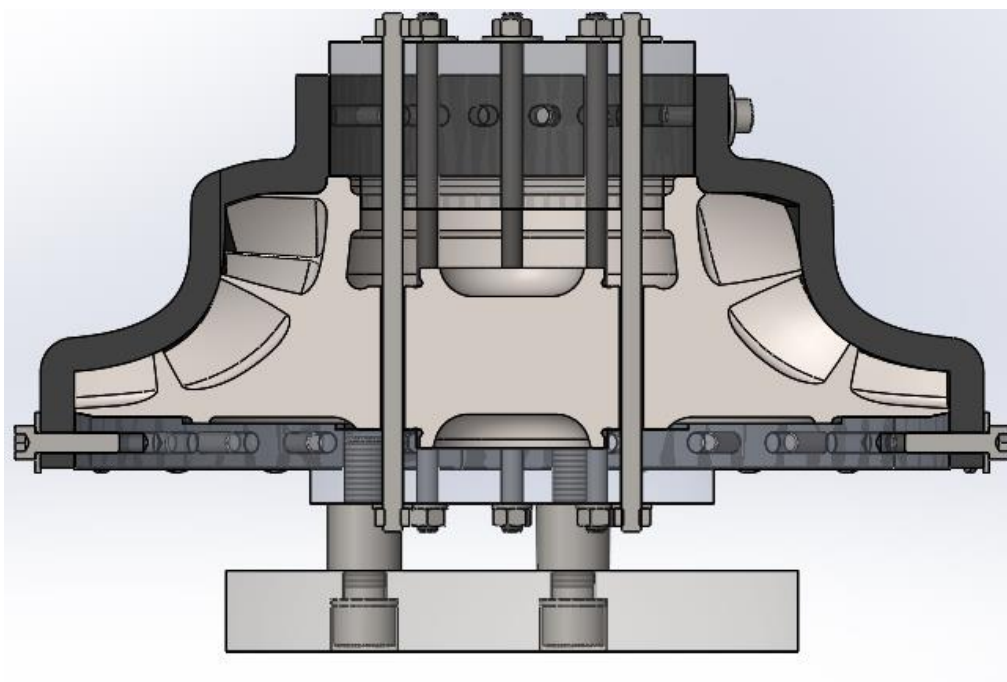
Úplně poslední kontrolou je ověření, zda se skutečně celý přípravek i s oběžným kolem vejde do pracovního prostoru stroje SPM LPG 1. Ten má maximální pracovní prostor X,Y,Z : 448 x 448 x 350 mm [22]. Z výkresu sestavy v příloze 13 lze jasně říci, že se sestava bez větších problémů vejde. Maximální průměr sestavy je cca 300 mm a výška maximálně 200 mm.

Na obrázku 48 jsou zobrazeny všechny šrouby s podložkami. Tento pohled mi posloužil jako finální kontrola, zda některé spojovací prvky spolu nekolidují. Na obrázku 49 je řez finálním návrhem.

Výkresy všech částí přípravku jsou v příloze 3 až 12. Příloha 13 obsahuje výkres sestavy přípravku a oběžného kola. V příloze 14 je CAD model celé sestavy ve formátu „STEP“.



Obrázek 48: Finální návrh - zobrazení spojovacích prvků



Obrázek 49: Finální návrh - řez s průhledným spodním a horním krytem a kruhovou deskou

5 Výroba přípravku

Při návrhu přípravku jsem musel respektovat výrobní profil Ústavu tak, aby mnou navržené části přípravku byly vyrobitelné na strojích Ústavu. Segmenty krytu lopatek jsem tiskl na FDM tiskárně. Horní a spodní kryt, kruhovou desku a nastavovací kroužky jsem obráběl na soustruhu, CNC frézce a na soustružnickém centru. K obrábění jsem potřeboval několik různých nástrojů. Na následujících stránkách této kapitoly jsem popsal postup prototypové výroby jednotlivých částí přípravku.

5.1 Vybrané polotovary a použité nástroje

V rámci návrhu celého přípravku jsem musel vzít v úvahu, jaké polotovary byly na skladě Ústavu dostupné. Vybrané polotovary jsem již v kapitole 4 postupně napsal. Pro lepší přehlednost proto uvedu soupis výchozích polotovarů, který je v tabulce 1.





Tabulka 1: Seznam použitých polotovarů

Pořadí	Polotovar, norma	Materiál
1	Ø 120 - 50 ASTM D 6778	POM-C
2	Ø 290 - 35 ČSN EN 755-3	EN AW 7075
3	Ø 25 - 500 ČSN EN 10088-3	ČSN 17 240
4	ZÁVITOVÁ TYČ DIN 975 M6x2000-A2	
5	CÍVKA - VLÁKNO	ABS-M30
6	VYŘAZENÁ SOUČÁST - OBROBEK	ČSN 17 145

Přehled aplikovaných nástrojů během výroby všech částí přípravku je v tabulce 2. Některé nástroje jsem využil pro výrobu více částí přípravku. Využil jsem pouze dostupné nástroje z dílny Ústavu. Počet nástrojů jsem se snažil zredukovat na co nejmenší množství. Jednotlivé použité nástroje jsou vyznačeny u každé operace v dalších podkapitolách, kde jsem rozepsal výrobní postupy pro jednotlivé části přípravku.

Tabulka 2: Soupis aplikovaných nástrojů

Označení	Zobrazení	Vlastnosti, řezné podmínky
Vrták 1		Šroubovitý vrták do nerez, DIN338RTi HSS Co5 Materiál: DIN 1.3243, počet břitů: 2, $\varnothing D = 10$ mm ŘP: $v_c = 40$ m/min, $f = 0,1$ mm/ot, chlazení: řezná kapalina stroje [34]
Vrták 2		Šroubovitý vrták do nerez, DIN338RTi HSS Co5 Materiál: DIN 1.3243, počet břitů: 2, $\varnothing D = 13$ mm ŘP: $v_c = 40$ m/min, $f = 0,1$ mm/ot, chlazení: řezná kapalina stroje [34]
Vrták 3		Šroubovitý vrták do kovu, $\varnothing 6,4 \times 63$ DIN338 Materiál: HSS-R, počet břitů: 2, $\varnothing D = 6,4$ mm ŘP: $v_c = 60$ m/min, $f = 0,2$ mm/ot, chlazení: ne [34]
Stopková fréza 1		Fréza tvrdokovová 4-břítá na nerez 20 x 138 x 104 Materiál: VHM, povlak: HMG, $\varnothing D = 20$ mm ŘP: $v_c = 60$ m/min, $f_z = 0,1$ mm/zub, chlazení: řezná kapalina stroje [35]
Stopková fréza 2		Fréza tvrdokovová 3-břítá na neželezné kovy a plasty, 8x16x63. $\varnothing D = 8$ mm, ŘP: $v_c = 80$ m/min, $F_z = 0,05$ mm/zub, chlazení: řezná kapalina stroje [35]
Středicí vrták		Středicí vrták HSS A 2,5 ČSN 221110 $\varnothing D = 2,5$ mm, tvar A [36]
SN1		Vnější soustružnický nůž načisto, nůž: SCLCR 1212 F08 VBD: CCMT 09304N-SU, ŘP: $v_c = 50-300$ m/min, $f = 0,1 - 0,4$ mm/ot, $a_p = 0,2 - 2,0$ mm, chlazení: možnost řezné kapalina stroje [37]
SN2		Upichovací nůž, nůž: XLCCN - 250225 - 0316, VBD: LCMF 031602-F, ŘP: $v_c = 150$ m/min, $f = 0,05 - 0,17$ mm/ot, chlazení: možnost řezné kapaliny stroje [37]
SN3		Vnější soustružnický nůž nahrubo, nůž: SCLCR 1212F08 VBD: CNMG 120404EL-SI, ŘP: $v_c = 70$ m/min, $f = 0,2 - 0,3$ mm/ot, $a_p = 0,8 - 5,0$ mm, chlazení: možnost řezné kapaliny stroje [37]

SN4		Vnitřní soustružnický nůž načisto, nůž: A08H-SCLCL 08 VBD:CCMT 09304N-SU, ŘP: $v_c = 80 - 120$ m/min, $f = 0,1 - 0,4$ mm/ot, $a_p = 0,2 - 2,0$ mm, chlazení: řezná kapalina stroje [37]
Ruční odjehlovač		Ruční odjehlovač MULTI ke srážení ostrých hran i hran otvorů [38]
Sada V-COIL		V-COIL DELUXE - Sada na opravu závitů M5 - M12 Vyvložkování závitovými vložkami M6 a M12. Vrták: $\varnothing 6,3$ mm $\varnothing 12,4$ mm Závitník: M6 x 1,0 M12x1,75 Vložka A: M6 x 12 C: M12 x 18 Vložka B: M6 x 15 [39]
Sonda TS 460		Dotyková sonda Heidenhain TS 460 pro standartní měření [40]

Stroje použité při výrobě jsem již uvedl a jejich seznam a podrobnosti jsem popsal v podkapitole 3.3.3.

5.2 Výroba - horní kryt

Po dokončení návrhu přípravku jsem mohl přejít k výrobě jednotlivých částí přípravku. Pro každou část přípravku jsem vypracoval výrobní postup, ve kterém jsou uvedené všechny kroky výroby včetně nákresů a informací o strojích, nástrojích a řezných podmínkách. Jedné operaci se rovná jedno upnutí ve stroji. Počet upnutí jsem se snažil minimalizovat.

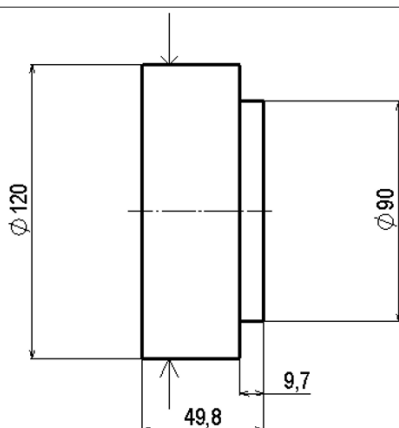
Nejdříve jsem začal vyrábět horní kryt. Polotovár horního krytu je $\varnothing 120 - 50$ ASTM D 6778, materiál POM-C. Výkres pro horní kryt je v příloze 6 .

V první operaci 5 jsem nejdříve zarovnal čelo a poté jsem soustružil vnější konturu nejdříve nahrubo a pak načisto. Poté jsem ještě zarovnal osazení. Tyto úkony jsem prováděl na soustruhu SV 18 RA. Operace 5 je znázorněna v tabulce 3.

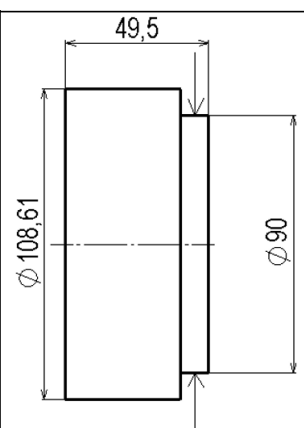
Operace 10 opět proběhla na soustruhu SV 18 RA. Nejdříve jsem zarovnal čelo na finální délku obrobku a poté jsem soustružil vnější konturu na $\varnothing 108,61$ mm. Tato operace je detailněji zobrazena v tabulce 4.



Tabulka 3: Horní kryt - operace 5

Č. op		Pracoviště (stroj)	Úsek	Náčrt - popis práce	Nářadí	Řezné podmínky			
						v_c	f	a_p	i
5		SV 18 RA		 <p>a upnout za $\varnothing 120$ b zarovnat čelo na délku 49,8 c soustružit nahrubo $\varnothing 120$ na $\varnothing 92$, hloubka 9,5 d soustružit načisto $\varnothing 92$ na $\varnothing 90$, hloubka 9,5 e zarovnat osazení na hloubku 9,7 f vyjmout</p>	SN4 SN3 SN4 SN4	80 70 80 80	0,1 0,2 0,1 0,1	0,2 3,5 0,5 0,2	1 4 2 1

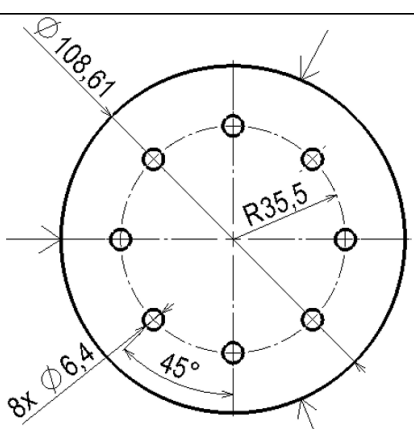
Tabulka 4: Horní kryt - operace 10

Č. op		Pracoviště (stroj)	Úsek	Náčrt - popis práce	Nářadí	Řezné podmínky			
						v_c	f	a_p	i
10		SV 18 RA		 <p>a upnout do sklíčidla za $\varnothing 90$ b zarovnat čelo na délku 49,5 c soustružit nahrubo $\varnothing 120$ na $\varnothing 109,6$ d soustružit načisto $\varnothing 109,6$ na $\varnothing 108,6$ e srazit hrany na $\varnothing 108,61$ vyjmout</p>	SN4 SN3 SN4	80 70 80	0,1 0,2 0,1	0,3 2,6 0,5	1 2 1

Následující operace 15 již proběhla na CNC frézce VMC 500. V této operaci jsem vrtat 8x díru $\varnothing 6,4$ mm na poloměru 35,5 mm. Ještě před samotným vrtáním jsem ale musel zajistit vzájemnou polohu mezi nástrojem a obrobkem. Obrobek je upnut ve sklíčidle, které je ustaveno a upnuto pomocí upínek v T drážkách pracovního stolu. Zajištění vzájemné polohy jsem provedl pomocí

dotykové sondy TS 460. Pomocí ovládacího panelu stroje jsem nejdříve najel na čelo $\varnothing 108,61$ mm a určil tuto plochu jako $Z = 0$. Poté jsem pomocí čtyřbodového snímání zjistil polohu válcové plochy. Na ovládacím panelu jsem nastavil vrtání osmi děr $\varnothing 6,4$ mm po kružnici $\varnothing 71$ mm. Operace 15 je znázorněna v tabulce 5.

Tabulka 5: Horní kryt - operace 15

Č. op	Pracoviště (stroj)	Úsek	Náčrt - popis práce	Nářadí	Řezné podmínky			
					v_c	f	a_p	i
15	CNC frézka VMC 500		 <p>a upnout ve sklíčidle na $\varnothing 108,61$ b určení polohy obrobku k nástroji c vrtat 8x díru $\varnothing 6,4$ po 45° na kružnici $\varnothing 71$ d vyjmout</p>	Sonda TS 460 Vrták 3	60	0,2	3,2	8

Operace 20 je předposlední a také proběhla na CNC frézce VMC 500. Obrobek jsem upnul do otočné horizontální děličky. Poté jsem opět zajistil pomocí dotykové sondy polohu obrobku vůči nástroji. Nejdříve jsem sondou najel k rovině osazení a tu určil jako $X = 0$. Poté jsem ještě namapoval válcovou plochu. Také jsem sondou namapoval polohu jedné díry obrobku $\varnothing 6,4$ mm tak, aby byla díra v co nejvyšším možném bodě. Poté jsem následně děličku otočil o úhel 12° . Následně jsem vrtal šestnáctkrát $\varnothing 6,3$ mm hloubky 16 mm v $X = -18$. Pro každé nové vrtání jsem děličkou otočil o $22,5^\circ$. Následně jsem závitníkem M6x1 vyřízl závity pro závitové nerezové vložky M6-12, které jsem natočil do každého závitu. Ukázka z vrtání $\varnothing 6,3$ mm je znázorněna na obrázku 50. Postup jednotlivých kroků v operaci 20 je znázorněn v tabulce 6.



Obrázek 50: Horní kryt - upnutí v děličce, vrtání

Tabulka 6: Horní kryt - operace 20

20	CNC frézka VMC 500							
a	upnout do otočného stolu s děličkou za $\varnothing 108,61$							
b	určení polohy obrobku k nástroji							
c	vrtat 16x $\varnothing 6,3$ po $22,5^\circ$ ve vzdálenosti 18, hloubka 16, první vrtání natočené o 12° zprava oproti díře $\varnothing 6,4$							
d	vytvořit 16x závit závitníkem – ručně							
e	16x natočení závitové vložky do závitů - ručně							
f	vyjmout							
			Sonda TS 460 Sada V-COIL Vrták $\varnothing 6,3$ mm V-COIL (M6x1) V-COIL (M6-12)	60	0,2	3,15	16	

V poslední operaci 25 jsem ručním odjehlovačem srazil hrany všech děr $\varnothing 6,4$ mm.

Tabulka 7: Horní kryt - operace 25

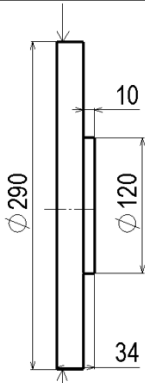
25	Sklíčidlo	a	Srazit hrany u 8x díry $\varnothing 6,4$ z obou stran	Ruční odjehlovač				
----	-----------	---	---	------------------	--	--	--	--



5.3 Výroba - spodní kryt

Proces návrhu a samotná výroba spodního krytu byla z hlediska pracnosti nejnáročnější. Polotovarem spodního krytu je $\varnothing 290 - 35$ ČSN 755-3, materiál EN AW 7075. Výkres spodního krytu je v příloze 7. Operace 5 (viz tabulka 8) a 10 (viz tabulka 9) jsem prováděl na soustruhu SV 18 RA. V operaci 5 jsem soustružením dosáhl technologického osazení se zarovnáním čela. Pomocí tohoto osazení jsem obrobek upínal v dalších operacích. V operaci 10 jsem zarovnal čelo a soustružil vnější průměr na požadovanou hodnotu $\varnothing 260,4$ mm.

Tabulka 8: Spodní kryt - operace 5

ČVUT v Praze FAKULTA STROJNÍ Ú12134		VÝROBNÍ POSTUP				Počet listů : 3			
Součást : SPODNÍ KRYT Číslo výkresu : 01-34-0601-10			Materiál druh : EN AW 7075 rozměr: $\varnothing 290 - 35$ ČSN 755-3			Jméno : Bc. JAN SVOBODA			
Č. op	Pracoviště (stroj)	Úsek	Náčrt - popis práce	Nářadí	Řezné podmínky				
					v_c	f	a_p	i	
5	SV 18 RA		 <p>a upnout za $\varnothing 290$ b soustružit nahrubo $\varnothing 290$ na $\varnothing 122$, hloubka 10,5 c soustružit načisto $\varnothing 122$ na $\varnothing 120$, hloubka 10,5 d zarovnat čelo u $\varnothing 120$ na délku 34 e srazit hrany f zarovnat osazení $\varnothing 290$ na délku 10 vyjmout</p>						
				SN3	70	0,2	4,0	21	
				SN1	70	0,1	1,0	1	
				SN1	70	0,1	1,0	1	
				SN1	70	0,1	0,5	1	

Tabulka 9: Spodní kryt - operace 10

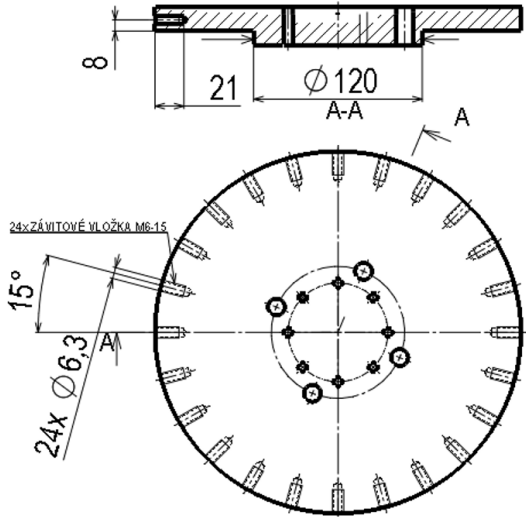
10	SV 18 RA							
a	upnout do sklíčidla za $\varnothing 120$							
b	soustružit nahrubo $\varnothing 290$ na $\varnothing 262$	SN3	70	0,2	3,5	4		
c	soustružit načisto $\varnothing 262$ na $\varnothing 260,4$	SN1	70	0,1	0,4	2		
d	soustružit čelo u $\varnothing 260,4$ na délku 28	SN3	70	0,2	3,0	2		
e	zarovnat čelo u $\varnothing 260,4$ na délku 27	SN1	70	0,1	1,0	1		
f	srazit hrany vyjmout							

Operace 15 (tabulka 10) a 20 (tabulka 11) při výrobě spodního krytu se velmi podobá operacím 15 a 20 u horního krytu. Obě operace jsou umístěné do CNC frézky VMC 500. Opět pomocí dotykové sondy jsem vymežil polohu nástroje vůči obrobku v obou operacích. V operaci 15 jsem následně 8x vrtal díru $\varnothing 6,4$ mm a 4x $\varnothing 12,4$ mm dle výkresu. V operaci 20 jsem obrobek upnul do otočné horizontální děličky. Tentokrát jsem otáčel děličkou vždy po 15° , což znamenalo celkem 24x vrtání, 24 vyříznutých závitů a následně i natočených závitových vložek M6-15.

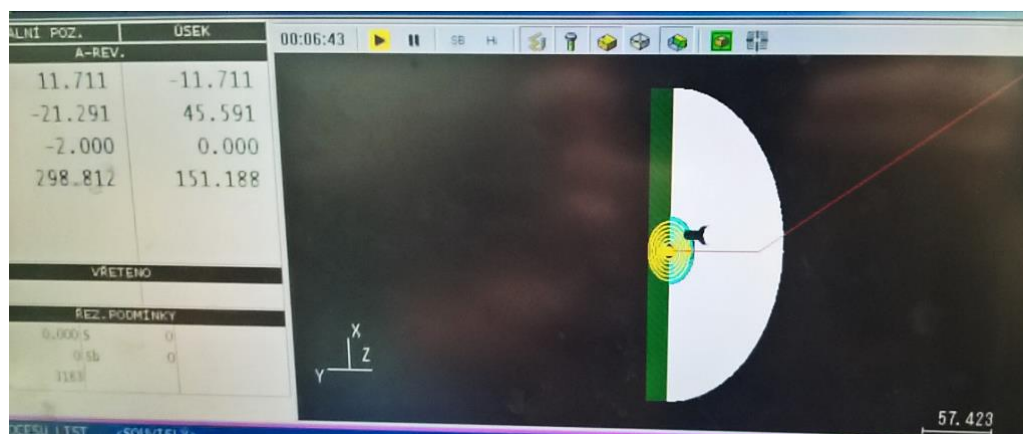
Tabulka 10: Spodní kryt - operace 15

Č. op	Pracoviště (stroj)	Úsek	Náčrt - popis práce	Nářadí	Řezné podmínky			
					v_c	f	a_p	i
15	CNC frézka VMC 500							
a	upnout ve sklíčidle za $\varnothing 120$							
b	určení polohy obrobku k nástroji			Sonda TS 460				
c	vrtat 8x díru $\varnothing 6,4$ po 45° na kružnici $\varnothing 71$			Vrták 3	60	0,2	3,2	8
d	vrtat 4x díru $\varnothing 12,4$ po 90° na kružnici $\varnothing 95$, první díra natočená o $22,5^\circ$ oproti díře $\varnothing 6,4$			Sada V-COIL (vrták $\varnothing 12,4$ mm)	60	0,2	6,2	4
e	vyjmout							

Tabulka 11: Spodní kryt - operace 20

20	CNC frézka VMC 500		<p>a upnout do otočného stolu s děličkou za $\varnothing 120$ b určení polohy obrobku k nástroji c vrtat 24x $\varnothing 6,3$ po 15° ve vzdálenosti 8, hloubka 21, první vrtání souměrně s dírou $\varnothing 6,4$ d vytvořit 24x závit závitníkem – ručně e 24x natočení závitové vložky do závitů - ručně f vyjmout</p>	Sonda TS 460 Sada V-COIL (vrták $\varnothing 6,3$ mm) V-COIL (M6x1) V-COIL (M6-15)	60	0,2	3,15	24
----	-----------------------	--	--	--	----	-----	------	----

Další operaci 25 jsem umístil do stroje OKUMA GENOS L200E-MY. Potřeboval jsem soustružit konturu naznačenou v tabulce 12. Na univerzálním soustruhu bych nebyl schopen dosáhnout takové přesnosti a rychlosti obrábění. Tato kontura musí být přesně obrobena, protože na ní dosedá oběžné kolo. Soustružnický nůž ale nemá ve stroji rozsah pohybu na soustružení $\varnothing 260,4$ mm. Maximální obráběný průměr je 205 mm. Proto jsem kapsu o $\varnothing 57$ mm, hloubce 10,59 mm frézovat stopkovou frézou spirálovitým pohybem. Tato operace je znázorněna na obrazovce stroje na obrázku 51. Po frézování jsem pomocí osy X posunul hlavu se soustružnickým nožem a zbytek kontury (od frézované kapsy až po $\varnothing 260,4$ mm) jsem tak již mohl vyrobít soustružnickým nožem. Operace 25 je popsána detailněji v tabulce 12.



Obrázek 51: Spodní kryt - operace 25b - frézování kapsy

Tabulka 12: Spodní kryt - operace 25

Č. op	Pracoviště (stroj)	Úsek	Náčrt - popis práce	Nářadí	Řezné podmínky				
					v_c	f	a_p	i	
25	OKUMA GENOS L200E-MY								
		a	upnout ve skličidle za $\varnothing 120$						
		b	rozfrézovat $\varnothing 57$ hloubky 10,59 - frézování po spirále	Stopková fréza 2	80	0,05			
		c	soustružení nahrubo - kontura	SN4	80	0,1	1		
		d	soustružení načisto - dokončení kontury od rozfrézované kapsy $\varnothing 57$ po kraj $\varnothing 260,4$	SN4	80	0,1			
		e	vyjmout						

V poslední operaci 30 jsem spodní kryt upnul do skličidla položeném na pracovním stole tak, že osazení $\varnothing 120$ mm bylo umístěno směrem nahoru. Do čtyř předvrtaných děr $\varnothing 12,4$ mm jsem odpovídajícím závitníkem vyřízнул závity, do kterých jsem následně natočil závitové vložky M12 - 18. Operace 30 je znázorněna v tabulce 13.

Tabulka 13: Spodní kryt - operace 30

30	Skličidlo								
		a	upnout do skličidla za $\varnothing 260,4$						
		b	vytvořit 4x závit závitníkem - ručně	V-COIL (M12x1,75)					
		c	4x natočení závitové vložky do závitů - ručně	V-COIL(M12-18)					
		d	Srazit hrany všech děr	Ruční ohjehlovač					
		e	vyjmout						

5.4 Výroba - kruhová deska

Tuto součást jsem nemusel vyrábět celou. Jak je již zmíněno v návrhu třetím, využil jsem dostupné, již nevyužité součásti na Ústavu. Pro účely upnutí k elektropermanentní magnetické desce je kruhová deska vhodná, protože je feromagnetická. Kruhová deska je

z materiálu ČSN 17 145. Výkres kruhové desky je v příloze 5. Mým prvním úkolem tak bylo vyvrtat průchozí díry $\varnothing 13$ mm. Poté jsem ještě frézoval stopkovou frézou zahloubení pro šroub s podložkou. Před samotným obráběním jsem ještě pomocí dotykové sondy určil vzájemnou polohu obrobku vůči nástroji. Operace 5 je znázorněna v tabulce 14. V operaci 10 jsem srazil hrany děr ručním odjehlovačem. Operace 10 je v tabulce 15.

Tabulka 14: Kruhová deska - operace 5

ČVUT v Praze FAKULTA STROJNÍ Ú12134		<h1>VÝROBNÍ POSTUP</h1>				Počet listů : 1				
Součást : KRUHOVÁ DESKA - MAGNET Číslo výkresu : 01-34-0601-13			Materiál druh : ČSN 17 145 Rozměr: OBROBEK-předhotoveno			Jméno : Bc. JAN SVOBODA				
Č. op	Pracoviště (stroj)	Úsek	Náčrt - popis práce	Nářadí	Řezné podmínky					
					v_c	f	a_p	i		
5	CNC frézka VMC 500		<p> a upnout do sklíčidla za $\varnothing 170$ b určení polohy obrobku vůči nástroji c předvrtat díru 4x $\varnothing 10$ na R47,5, hloubka 24 d vyvrtat díru 4x $\varnothing 13$ na R47,5, hloubka 24 e frézovat zahloubení 4x $\varnothing 20$ na R47,5, hloubka 15,5 f vyjmout </p>	Sonda TS 460 Vrták 1 Vrták 2 Stopková fréza 1	40 40 60	0,1 0,1 0,1	5 1,5 3,5	4 4 4		

Tabulka 15: Kruhová deska - operace 10

Č. op	Pracoviště (stroj)	Úsek	Náčrt - popis práce	Nářadí	v_c	f	a_p	i
10	Sklíčidlo	a	srazit hrany u děr	Ruční odjehlovač				


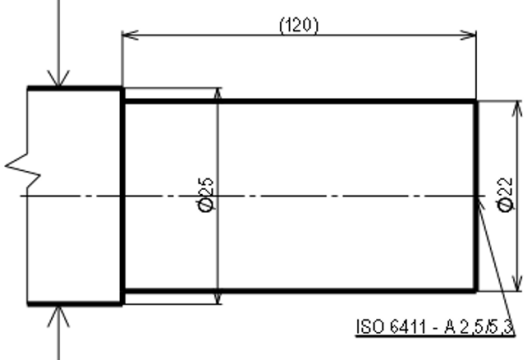
5.5 Výroba - nastavovací kroužek

Pro výrobu nastavovacích kroužků jsem použil CNC soustruh OKUMA GENOS L200E-MY. Polotovarem je tyč $\varnothing 25 - 500$ ČSN EN 10088-3, materiál ČSN 17 240. Výkres pro tuto součást je v příloze 4. Při operaci 5 jsem nejdříve zarovnal čelo a poté navrtal středící důlek pro koník, který podepřel podlouhlý polotovar. Následně jsem načisto soustružil $\varnothing 22$ mm. Operace 5 je vyobrazena v tabulce 16.

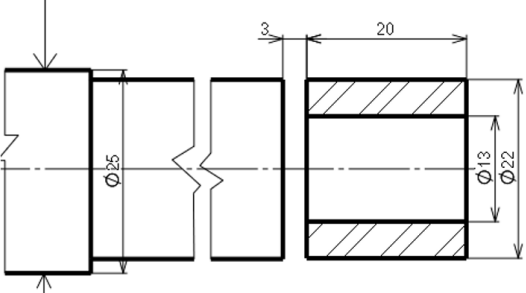
V operaci 10 jsem vyvrtal $\varnothing 13$ mm délky 25 mm. Poté jsem upichovacím nožem součást upíchnul na délku 20 mm. Tento postup jsem ještě 3x opakovl a vyrobil jsem tak čtyři nastavovací kroužky. Detail operace 10 je v tabulce 17.

Při poslední operaci 15 (viz tabulka 18) jsem ve sklíčidle pomocí ručního odjehlovače srazil hrany děr.

Tabulka 16: Nastavovací kroužek - operace 5

 ČVUT v Praze FAKULTA STROJNÍ Ú12134		<h2 style="text-align: center;">VÝROBNÍ POSTUP</h2>			Počet listů : 1			
Součást : NASTAVOVACÍ KROUŽEK 20 Číslo výkresu : 01-34-0601-11		Materiál druh : ČSN 17 240 Rozměr: $\varnothing 25 - 500$ ČSN EN 10088-3		Jméno : Bc. JAN SVOBODA				
Č. op	Pracoviště (stroj)	Úsek	Náčrt - popis práce	Nářadí	Řezné podmínky			
					v_c	f	a_p	i
5	OKUMA GENOS L200E-MY		 <p style="text-align: center;">ISO 6411 - A 2,5/5,3</p>					
		a	upnout do sklíčidla za $\varnothing 25$	SN1	150	0,2	0,5	1
		b	zarovnat čelo na $\varnothing 25$	Středící vrták				
		c	navrtat středící důlek ISO 6411 - A 2,5/5,3					
		d	podepřít koníkem					
		e	soustružit načisto $\varnothing 25$ na $\varnothing 22$, délka 120 se sražením hrany	SN1	150	0,2	0,5	3

Tabulka 17: Nastavovací kroužek - operace 10

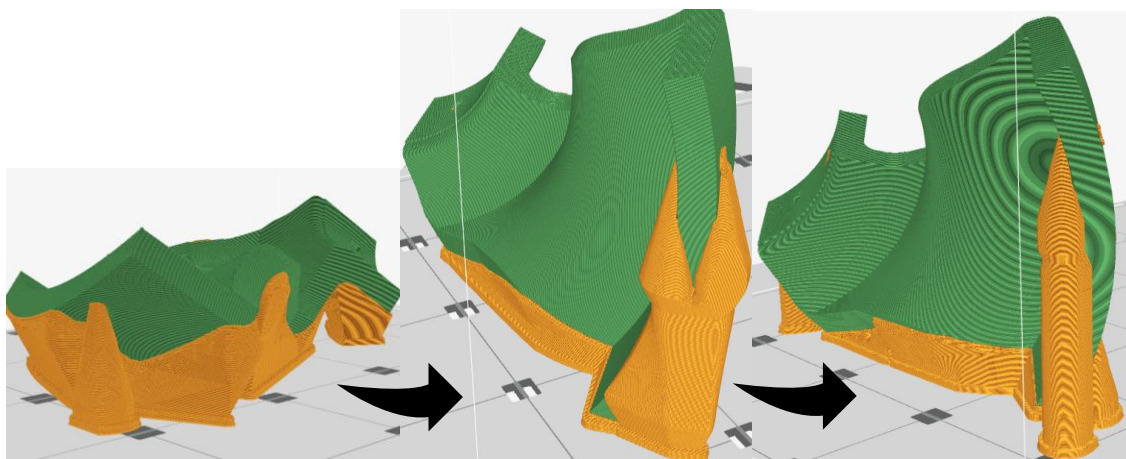
10	OKUMA GENOS L200E-MY							
		a	předvrtat $\varnothing 10$ délky 25	Vrták 1	40	0,1	5	1
		b	vrtat $\varnothing 13$ délky 25	Vrták 2	40	0,1	1,5	1
		c	upíchnout na délku 20	SN2	150	0,1	3	1
		d	opakovat ještě 3x operace a, b, c					
		e	vyjmout					

Tabulka 18: Nastavovací kroužek - operace 15

15	Sklíčidlo	a	Srazit hrany na $\varnothing 13$	Ruční odjehlovač				
----	-----------	---	----------------------------------	------------------	--	--	--	--

5.6 Výroba - segmenty krytu lopatek

Proč jsem se rozhodl vyrábět segmenty krytu lopatek pomocí 3D tisku jsem již popisoval v podkapitole 4.1, kde jsem navrhoval přípravek. Před samotným tisknutím je důležité správně nastavit parametry tisku. U stroje Stratasys F370 k nastavení tisku slouží softwarový program GrabCad Print. Do tohoto programu jsem nahrál CAD modely tisknutých součástí, tedy jednotlivých segmentů krytu lopatek. Pro vyšší přesnost tisku je vhodné do GrabCadu nahrát přenosový formát „STEP“. V tomto formátu je hustší síť bodů modelu. Velmi důležitým parametrem je nastavení polohy součásti při tisku. Správné nastavení polohy pomůže minimalizovat potřebu podpůrného materiálu, a tudíž se i zkrátí výsledný čas tisku. U segmentů krytu lopatek je toto nastavení zásadní, jelikož je to tvarově složitá součást. V programu jsem provedl test pěti nastavení a pak vybral to, kde bylo nejméně podpůrného materiálu. Postupná optimalizace podpěr je znázorněna na obrázku 52.

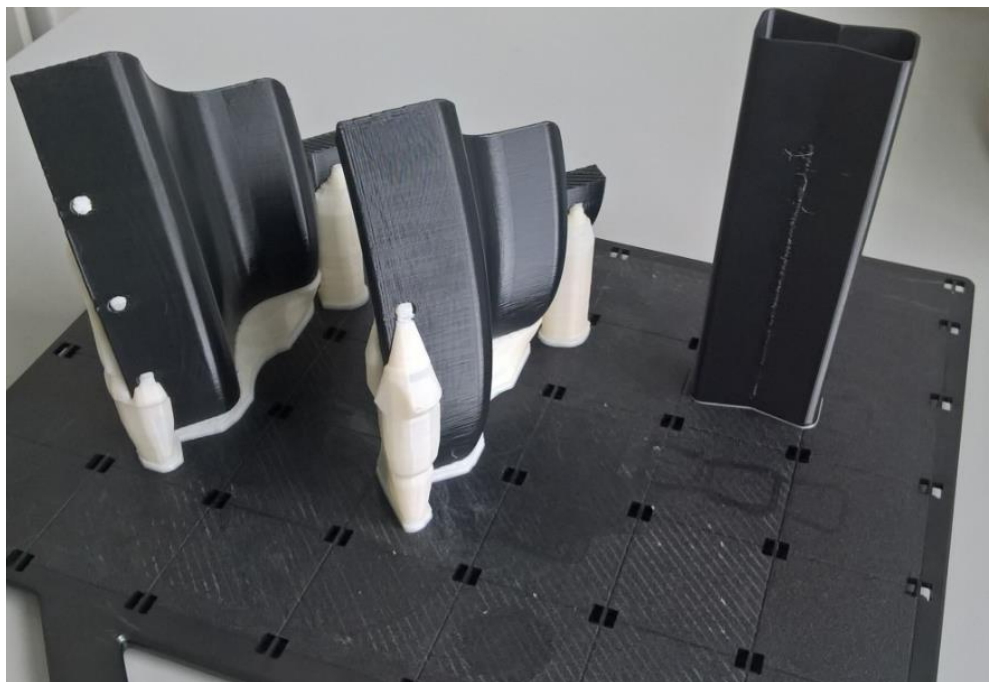


Obrázek 52: Segmenty krytu lopatek - optimalizace podpůrného materiálu

Před samotným tiskem vždy dojde k přehřátí pracovního prostoru na 95°C. Proto je výhodné umístit na základní desku více než jeden model a výsledný čas tisku tak bude kratší. Detailnější popis technologie FDM je v podkapitole 3.3.3. Rozhodl jsem se na základní desku umístit vždy dva segmenty krytu lopatek. Důležité je také umístit čisticí komín, na kterém se po jednotlivých vrstvách čistí trysky pro stavěcí i podpůrný materiál. Po nastavení jednotlivých poloh součástí a komínu jsem nastavil podmínky tisku. To znamená stavěcí i podpůrný materiál, tloušťku jednotlivé vrstvy, mód tisknutí a výšku čisticího komínu (viz tabulka 19). Celkem jsem na tiskárně vytiskl devět částí přípravku. Sedm z nich je umístěno na finální sestavě. Dva vytisknuté segmenty spolu s čisticím komínem jsou zobrazené na obrázku 53. Po vytisknutí součástí jsem ještě mechanicky odstranil podpůrný materiál pomocí kleštěček.

Tabulka 19: Podmínky tisku segmentů krytu lopatek

Stavěcí materiál	Podpůrný materiál	Tloušťka vrstvy	Mód tisku	Výška čistícího komínu
ABS - M30	QSR	0,254 mm	normální	výška součásti



Obrázek 53: Vytisknuté segmenty krytu lopatek

5.7 Montáž přípravku

Po dokončení výroby posledních tisknutých dílů jsem měl všechny části přípravku připravené pro mou poslední operaci. Touto operací byla finální montáž jednotlivých částí přípravku do jednoho celku. K tomu jsem ale potřeboval navrhnuté spojovací prvky jako jsou šrouby, matice, podložky a závitové tyče. Spojovací materiál byl pořízen Ústavem. Všechny použité spojovací prvky jsem již v průběhu navrhování přípravku zmínil v kapitole 4. Pro přehlednost jsou spojovací prvky a všechny části přípravku zapsány v kusovníku sestavy 01-34-0601-K (viz tabulka 20), včetně hmotnosti každého prvku přípravku a jeho množství. Smontovaný přípravek bez kruhové desky a nastavovacích kroužků je na obrázku 54. Kompletní sestava je zobrazena na obrázcích 55 a 56. Výkres celé sestavy je v příloze 13. Všechny výkresy jsem tvořil dle [41]. CAD model sestavy je v příloze 14. Všechny modely jsem modeloval a všechny výkresy jsem kreslil v konstrukčním softwaru SolidWorks. [42]



Tabulka 20: Kusovník sestavy

Po- žka	Název		Č. výkresu - č. normy	Hmotnost [kg]		Množ- ství
	Polotovary			Jednotka		
1	OBĚŽNÉ KOLO RADIÁLNÍHO KOMPRESORU		01-34-0601-01	4,600		1
			Ti-6Al-4V			
2	KRYT LOPATEK 3D1		01-34-0601-02	0,200		2
	CÍVKA - VLÁKNO		ABS-M30			
3	KRYT LOPATEK 3D2		01-34-0601-03	0,200		2
	CÍVKA - VLÁKNO		ABS-M30			
4	KRYT LOPATEK 2D1		01-34-0601-04	0,130		1
	CÍVKA - VLÁKNO		ABS-M30			
5	KRYT LOPATEK 2D HORNÍ		01-34-0601-06	0,010		1
	CÍVKA - VLÁKNO		ABS-M30			
6	KRYT LOPATEK 2D1 SPODNÍ		01-34-0601-07	0,200		1
	CÍVKA - VLÁKNO		ABS-M30			
7	HORNÍ KRYT		01-34-0601-09	0,570		1
	Ø 120 - 50 ASTM D 6778		POM-C			
8	SPODNÍ KRYT		01-34-0601-10	2,330		1
	Ø 290 - 35 ČSN EN 755-3		EN AW 7075			
9	NASTAVOVACÍ KROUŽEK 20		01-34-0601-11	0,040		4
	Ø 25 - 500 ČSN EN 10088-3		ČSN 17 240			
10	KRUHOVÁ DESKA - MAGNET		01-34-0601-13	4,010		1
	OBROBEK		ČSN 17 145			
11	ZÁVITOVÁ TYČ DIN 975 M6x154-A2		01-34-0601-14	0,030		8
	ZÁVITOVÁ TYČ DIN 975 M6x2000-A2					
12	ŠROUB ISO 4762 M6x20-A2			7,650		12
				g		
13	ŠROUB ISO 4762 M6x25-A2			8,780		16
				g		
14	ŠROUB ISO 4762 M12x50-A2			0,070		4
15	ŠESTIHRANNÁ MATICE ISO 4032 - M6.05-A2			2,740		16
				g		
16	PODLOŽKA 6 ISO 7089-200HV-A2			1,040		8
				g		
17	PODLOŽKA 6 ISO 7093-A2			2,850		36
				g		
18	PODLOŽKA 12 ISO 7092-200HV-A2			2,900		4
				g		
19						
20						

Index	Změna			Datum		Podpisy	
	Podpis	Datum		Podpis	Datum	Č. svítku:	
Vyprac.	Svoboda		Norm. ref.			Mikrofilm	
Skupinař			Přezk.			Sestava	01-34-0601-00
Technol.			Schválil			Hmotn. [kg]	13,78

<p>ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE</p> <p>FAKULTA STROJNÍ</p>	NÁZEV:	OBĚŽNÉ KOLO - PŘÍPRAVEK
	ČÍSLO KUSOVNÍKU:	01-34-0601-K

LIST:



Obrázek 54: Sestava bez kruhové desky a nastavovacích kroužků



Obrázek 55: Kompletní sestava - A



Obrázek 56: Kompletní sestava - B

6 Závěr

Přípravky jsou nedílnou součástí výrobních procesů. Použitím přípravku můžeme zefektivnit výrobní proces. Zefektivnění se nakonec odrazí ve finálních výrobních nákladech nebo v kvalitnějším výrobku. V teoretické části práce jsem se nejdříve zabýval samotným účelem přípravku a rozdělil jsem přípravky podle několika kritérií. Při navrhování přípravku je důležité nepodcenit přípravnou fázi, díky které se odhalí skutečné požadavky na konstrukci přípravku. Přípravek především musí zajistit přesné ustavení a stabilní upnutí obrobku. To se provádí pomocí různých ustavujících a upínacích prvků. Důležitou částí přípravku je i těleso přípravku, případně další pomocné části. Široké využití dnes nalézají stavebnicová řešení přípravku, ale také univerzální přípravky. Počítačem podporovaný automatický návrh přípravku je nejvyšším stupněm v navrhování přípravků.

V praktické části práce jsem nejdříve analyzoval výchozí stav. Jednalo se o analýzu oběžného kola, technologie lešticího stroje SPM LPG 1, a také jsem musel zjistit dostupné polotovary, výrobní profil a nástrojové vybavení Ústavu. Následně jsem zpracoval první návrh přípravku, který byl zaměřen na celkový koncept a reflektoval výrobní profil Ústavu. Přípravek jsem rozdělil na tři základní části. Na krytí spodní strany a horní strany oběžného kola a na krytí lopatek. Druhý návrh jsem optimalizoval tak, abych využil dostupné polotovary ze skladu materiálu Ústavu. Třetí návrh jsem upravil tak, aby se přípravek s obrobkem dal upnout na elektropermanentní upínací desku lešticího stroje SPM LPG 1. Protože z analýzy vyplynula potřeba zakrytí jen určité části přípravku, tak jsem ve čtvrtém návrhu krytí lopatek navrhl tak, aby systém pro krytí lopatek byl modulární. Poté jsem ještě finalizoval rozměry jednotlivých částí přípravku a detailně jsem navrhnul spojení těchto částí přípravku v jeden celek. Poté na řadu přišla samotná výroba jednotlivých částí přípravku. Segmenty krytu lopatek jsem vytiskl na FDM tiskárně. Horní a spodní kryt, nastavovací kroužky a kruhovou desku jsem obrobil na CNC frézce, univerzálním soustruhu a na soustružnickém centru. Při montáži jednotlivých částí přípravku a oběžného kola v jeden celek, jsem ověřil správnost návrhu a přesnost výroby jednotlivých částí přípravku. Cíle mé diplomové práce tak jsou splněny.

Tento přípravek nalezne uplatnění při vývoji parametrů leštění části oběžného kola. Přípravek také umožní značnou úsporu nákladů na výrobu prototypových a testovacích dílů. Po demontáži krytů, zaslepení radiálních závitových děr a celkové úpravě může být přípravek dále využíván i pro sériové leštění.

7 Použitá literatura

1. RONG, Yiming a Yaoxiang ZHU. *Computer-aided fixture design*. New York: Marcel Dekker, 1999. ISBN 9780824799618.
2. S PACHBHAI, Shailesh a Raut LAUKIK. A Review on Design of Fixtures. *International Journal of Engineering Research and General Science* [online]. 2014, (2) [cit. 2019-06-29]. ISSN 2091-2730. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/260790860_A_Review_on_Design_of_Fixtures
3. CHVÁLA, Břetislav a Josef VOTAVA. *Přípravky*. Praha: SNTL, 1988.
4. ZEMČÍK, Oskar. *Nástroje a přípravky pro obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003. ISBN 80-214-2336-6.
5. ŘASA, Jaroslav, Jindřich KAFKA a Václav HANĚK. *Strojírenská technologie 4: návrhy nástrojů, přípravků a měřidel : zásady montáže*. Praha: Scientia, pedagogické nakladatelství, 2003. ISBN 80-7183-284-7.
6. Druhy nerezových ocelí. *AKROS* [online]. [cit. 2019-06-29]. Dostupné z: <https://www.akros.cz/druhy-nerezovych-oceli>
7. Heinrich kipp werk. *Clamping technology*. eCatalogue [online]. In: . 2018, s. 463 [cit. 2019-06-29]. Dostupné z: <https://www.kipp.cz/cz/cs/Sta%C5%BEEen%C3%AD/Katalogy/eCatalogue-listov%C3%A9-katalogy.html>
8. Hoffman Group. *Obrábění a upínací technika 2018/2019*. Online katalog [online]. In: . 2018, s. 1032 [cit. 2019-06-29]. Dostupné z: <https://www.hoffmann-group.com/CZ/cs/hot/service/downloads/blaetterkatalog>
9. ŠKABRAHA, Stanislav. Systém pro polohování a upínání obrobku. *MM Průmyslové spektrum*. 2018, **22**(6), 38-39. ISSN 1212-2572.
10. Vakuová upínací technika. *Naros spol s.r.o.* [online]. 2009 [cit. 2019-06-29]. Dostupné z: http://www.naros.cz/katalog/Prospekt_Vakuum_CZ.pdf
11. DVOŘÁK, Luděk. Modulární systémy pro hospodárné upínání obrobků. *MM Průmyslové spektrum*. 2015, **19**(4), 46-47. ISSN 1212-2572.



12. VOLNÝ, Pavel. Vývojové trendy magnetických upínačů pro upínání feromagnetických předmětů. In: ČEZ [online]. [cit. 2019-06-29]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/file/vzdelavani/14-volny.pdf>
13. Magnetické upínání obrobků úvod. *Techlan Chudoba s.r.o.* [online]. [cit. 2019-06-29]. Dostupné z: <https://www.techlan.cz/magneticke-upinani-obroubku-uvod>
14. GRYČ, Jan. Pneumatické, magnetické, mechanické upínání. *MM průmyslové spektrum*. 2016, **20**(11), 68-69. ISSN 1212-2572.
15. JANOŠ, Miroslav a Ivan MRKVICA. Využití počítačové podpory při konstrukci přípravků. *MM průmyslové spektrum*. 2011, **15**(10), 72-73. ISSN 1212-2572.
16. Stavebnicové prvky a systémy. *Naros spol s.r.o.* [online]. [cit. 2019-06-29]. Dostupné z: <https://www.naros.cz/view.php?navezclanku=stavebnicove-prvky-a-systemy&cisloclanku=2009030023>
17. KANG, Y. G., Z. WANG, R. LI a C. JIANG. A fixture design system for networked manufacturing. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing* [online]. 2007, **20**(2-3), 143-159 [cit. 2019-06-29]. DOI: 10.1080/09511920601020763. ISSN 0951-192X. Dostupné z: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09511920601020763>
18. ZHOU, Yunbo, Yingguang LI a Wei WANG. A feature-based fixture design methodology for the manufacturing of aircraft structural parts. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* [online]. 2011, **27**(6), 986-993 [cit. 2019-06-29]. DOI: 10.1016/j.rcim.2011.05.002. ISSN 07365845. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0736584511000706>
19. GENERAL ELECTRIC CO. *Polishing method for turbine components*. Původci: Terrance Alan BRAND, Andrew Lee TRIMMER a Kevin Lee SHATLEY. Patent, EU. EP3471917A1. Zapsáno 24.4.2019.
20. SAFRAN AIRCRAFT ENGINES SAS. *Method of polishing bladed disks for a turbomachine and polishing device*. Původci: Cyrille BAUDIMONT a Jean-Francois Laurent CHABOT. Patent, US. US8657647B2. Zapsáno 25.2.2014.
21. MÁDL, Jan. *Technologie obrábění (3. díl)*. Vyd. 2., přeprac. V Praze: Nakladatelství ČVUT, 2007. ISBN 978-80-01-03752-2.



22. LPG1 500/2310 MAG GLASS. *SPM Mould Polishing system* [online]. [cit. 2019-06-29].
Dostupné z: <http://www.spm-polish.com/products.php?id=5>
23. SprutCAM 5D Pro. In: *SoliCAD: Obrábění turbíny* [online]. [cit. 2019-06-29]. Dostupné z:
<http://solicad.com/p/sprutcaml-5d-pro/c/sprutcaml>
24. JANOVEC, Jiří a Jiří CEJP. Struktura a vlastnosti materiálu a jejich zkoušení. *Ústav materiálového inženýrství Fakulta strojní: Nauka o materiálu II* [online]. [cit. 2019-06-29]. Dostupné z: http://umi.fs.cvut.cz/wp-content/uploads/2014/08/3_2_struktura-a-vlastnostni-materialu-a-jejich-zkouseni.pdf
25. Technologie obrábění: Používané CNC stroje. *Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie* [online]. [cit. 2019-06-29]. Dostupné z:
<http://technologie.fs.cvut.cz/provide/obrabeni>
26. Vertikální obráběcí centrum MCV 500. *Wiktori s.r.o.* [online]. [cit. 2019-06-29].
Dostupné z: <http://www.wiktori.cz/download/MCV%20500.pdf>
27. *GENOS Series: 1-Saddle CNC Lathes - catalog*. Japan, 2013.
28. Hrotový soustruh SV18 RA. *Tumlikovo Metal Cutting Technologies* [online]. 2010 [cit. 2019-06-29]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/rubriky/stroje-2/soustruh/sv18/>
29. 3D tiskárny Stratasys - FDM technologie. *Objet: F370* [online]. [cit. 2019-06-29].
Dostupné z: <https://www.objet.cz/3D-tiskarny/Stratasys-FDM>
30. Tiskárny Stratasys F123 Series. MCAE [online]. [cit. 2019-06-29]. Dostupné z:
<https://www.mcae.cz/cs/produkty/stratasys-f123-series/>
31. CHUA, Chee Kai a Kah Fai LEONG. *3D printing and additive manufacturing: principles and applications*. 4th edition of Rapid prototyping. Singapore: World Scientific, 2015. ISBN 9814571407.
32. REICHL, Jaroslav a Martin VŠETIČKA. Magnetické vlastnosti látek. *Encyklopedie fyziky* [online]. [cit. 2019-06-29]. Dostupné z:
<http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/295-magneticke-vlastnosti-latek#>
33. LEINVEBER, Jiří a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: učebnice pro školy technického zaměření*. Šesté vydání. Úvaly: Albra, 2017. ISBN 978-80-7361-111-8.
34. Vrtáky do kovu. *Vrbovský, Specialista na vrtáky* [online]. [cit. 2019-06-29]. Dostupné z:
<https://vrtaky-vrbovsky.cz/vrtaky-do-kovu>



35. Frézy tvrdokovové. *BO-IMPORT: Nářadí-nástroje* [online]. [cit. 2019-06-29]. Dostupné z: <https://www.bo-import.cz/frezy-tvrdokovove/>
36. Středící: vrtáky. *Procházka: manipulační technika* [online]. [cit. 2019-06-29]. Dostupné z: <https://www.mp-eshop.cz/nastroje/vrtaky/stredici/>
37. *PRAMET e-cat: online katalog* [online]. [cit. 2019-06-29]. Dostupné z: <http://ecat.pramet.com/>
38. Odjehlovací ruční nástroje. *UNI-MAX* [online]. [cit. 2019-06-29]. Dostupné z: <https://www.uni-max.cz/produkty/vybaveni-dilen/rucni-naradi/odjehlovaci-rucni-nastroje>
39. Thread-Repair-Workshop-kits. *VOLKEL: Threading solutions* [online]. [cit. 2019-06-29]. Dostupné z: <https://www.voelkel.com/en/produkte-en/gewindereparatur-en/gewinde-reparatur-sortimente-en.html>
40. Dotykové sondy pro obráběcí stroje. *HEIDENHAIN* [online]. [cit. 2019-06-29]. Dostupné z: https://www.heidenhain.cz/fileadmin/pdb/media/img/1113984-C1_Dotykov%3F_sondy.pdf
41. POSPÍCHAL, Jaroslav. *Technické kreslení. 4., přeprac. vyd.* V Praze: České vysoké učení technické, 2014. ISBN 978-80-01-05595-3.
42. Dassault systemes software corporation, *Solidworks 2017 SP5 Education Edition* [software]. Červen 2017. [Požadavky na systém: operační systém Windows 7 SP1 64bit a novější, paměť 8GB RAM, volné místo 2 GB, grafická karta NVIDIA Quadro/GeFroce/Tesla s čipem Fermi a novější].

8 Seznam obrázků

Obrázek 1: Poloha obrobku určená šesti stupni volnosti [1]	19
Obrázek 2: Šestibodový princip ustavení [1].....	20
Obrázek 3: Pevná opěrka s válcovou hlavou [4]	21
Obrázek 4: Kombinace opěrných lišt [4]	21
Obrázek 5: Prizma pro upnutí obrobku za neobrobenou plochu [4]	23
Obrázek 6: Otočný upínací hrot [4].....	24
Obrázek 7: Středicí čep nalisovaný [4]	25
Obrázek 8: Vyhnutá upínka v kombinaci se šroubem a maticí [5].....	27
Obrázek 9: Rozpínací trn s pouzdrem [4]	29
Obrázek 10: Hydraulický válec [5].....	30
Obrázek 11: Elektropermanentní upínač [12].....	34
Obrázek 12: Vrtací pouzdro na oblé stěny [5]	34
Obrázek 13: Strojní svěrák s tažnou čelistí [4]	35
Obrázek 14: Univerzální tříčelistové sklíčidlo [4]	36
Obrázek 15: Ukázka stavebnicového systému (T-slot) [1]	37
Obrázek 16: Ukázka stavebnicového systému (Dowel-pin) [1].....	38
Obrázek 17: Procedura plánování AFCD [1].....	40
Obrázek 18: Oběžné kolo	41
Obrázek 19: CAD model oběžného kola.....	42
Obrázek 20: Leštící stroj SPM LPG 1 [22]	43
Obrázek 21: Schéma leštícího stroje [19].....	43
Obrázek 22: Ukázka frézování jiného oběžného kola [23].....	44
Obrázek 23: Oběžné kolo - ohraničená oblast pro jedny podmínky leštění	45
Obrázek 24: Řez oběžným kolem	46
Obrázek 25: Wöhlerova křivka [24]	47
Obrázek 26: Řez oběžným kolem s vybranými rozměry	48
Obrázek 27: CNC frézka VMC 500 [25].....	49
Obrázek 28: OKUMA GENOS L200E-MY [27]	49
Obrázek 29: Soustruh SV 18 RA [28]	50
Obrázek 30: Sklíčidlo na pracovním stole	50
Obrázek 31: FDM tiskárna STRATASYS F370 [29].....	51



Obrázek 32: Návrh 1 - pohled v řezu.....	52
Obrázek 33: Návrh 1 - pohled seshora.....	52
Obrázek 34: Návrh 2 - pohled v řezu.....	54
Obrázek 35: Návrh 3 - kruhové deska v řezu	55
Obrázek 36: Návrh 3 - řez pro znázornění uchycení kruhové desky	56
Obrázek 37: Návrh 3 - rozmístění polohy děr ve spodním krytu a nastavovacích kroužků.....	56
Obrázek 38: Návrh 4 - pohled v řezu a 3D pohled	57
Obrázek 39: Návrh 4 - pohled seshora - segmenty.....	58
Obrázek 40: Návrh 4 - 3D pohled - segmenty.....	58
Obrázek 41: Návrh 5 - nákres šroubového spojení M12, řez sestavou.....	59
Obrázek 42: Návrh 5 - nákresy se závitovou tyčí M6, řez sestavou	61
Obrázek 43: Nákres polohy a velikosti závitových vložek v řezu, horní kryt.....	62
Obrázek 44: Návrh 5 - řez horním krytem s 3D pohledem v řezu.....	62
Obrázek 45: Nákres spodního krytu v řezu - závitové vložky.....	63
Obrázek 46: Návrh - 5 řez spodním krytem s 3D pohledem v řezu	63
Obrázek 47: Finální návrh - 3D pohled.....	64
Obrázek 48: Finální návrh - zobrazení spojovacích prvků	65
Obrázek 49: Finální návrh - řez s průhledným spodním a horním krytem a kruhovou deskou..	65
Obrázek 50: Horní kryt - upnutí v děličce, vrtání	71
Obrázek 51: Spodní kryt - operace 25b - frézování kapsy.....	74
Obrázek 52: Segmenty krytu lopatek - optimalizace podpůrného materiálu.....	78
Obrázek 53: Vytisknuté segmenty krytu lopatek	79
Obrázek 54: Sestava bez kruhové desky a nastavovacích kroužků.....	81
Obrázek 55: Kompletní sestava - A	81
Obrázek 56: Kompletní sestava - B	81



9 Seznam tabulek

Tabulka 1: Seznam použitých polotovarů	66
Tabulka 2: Soupis aplikovaných nástrojů	67
Tabulka 3: Horní kryt - operace 5.....	69
Tabulka 4: Horní kryt - operace 10.....	69
Tabulka 5: Horní kryt - operace 15.....	70
Tabulka 6: Horní kryt - operace 20.....	71
Tabulka 7: Horní kryt - operace 25.....	71
Tabulka 8: Spodní kryt - operace 5.....	72
Tabulka 9: Spodní kryt - operace 10	73
Tabulka 10: Spodní kryt - operace 15	73
Tabulka 11: Spodní kryt - operace 20	74
Tabulka 12: Spodní kryt - operace 25	75
Tabulka 13: Spodní kryt - operace 30	75
Tabulka 14: Kruhová deska - operace 5	76
Tabulka 15: Kruhová deska - operace 10	76
Tabulka 16: Nastavovací kroužek - operace 5.....	77
Tabulka 17: Nastavovací kroužek - operace 10.....	77
Tabulka 18: Nastavovací kroužek - operace 15.....	77
Tabulka 19: Podmínky tisku segmentů krytu lopatek.....	79
Tabulka 20: Kusovník sestavy.....	80

10 Seznam symbolů a zkratek

3D	[-]	trojrozměrný (systém)
5D	[-]	pětirozměrný (systém)
A2	[-]	označení druhu korozivzdorné oceli
AFCD	[-]	systém automatického navrhování přípravku
a_p	[mm]	hloubka řezu
ASA	[-]	akrylonitril-styren-akrylát
ASTM	[-]	americká společnost pro testování a materiály
AW	[-]	výrobky tvářené z hliníku
B	[Kč/rok]	náklady na seřízení přípravků na stroji při výrobě n_v kusů
B_r	[T]	magnetická remanence
C	[mm]	vzdálenost hran prizmatu
CAD	[-]	počítačem podporované konstruování
CAFD	[-]	počítačová podporované navrhování přípravku
CAM	[-]	počítačem podporovaná výroba
CNC	[-]	číslicové řízení počítačem
C_p	[Kč]	cena přípravku se započítanou režíí
ČSN	[-]	česká technická norma
D	[mm]	průměr válcové plochy, upnutý průměr obrobku
D_1	[mm]	aktuálně obráběný průměr
DIN	[-]	německý ústav pro průmyslovou normalizaci
f	[mm/ot]	posuv na otáčku
F	[N]	síla působící na rameno klíče
FDM	[-]	tisk součásti tavením materiálu
F_{ob}	[N]	obvodová síla
F_{os}	[N]	osová síla
F_R	[N]	síla působící na upínku od tělesa přípravku
$F_{r(x,y,z)}$	[N]	složky řezné síly
FS ČVUT	[-]	Fakulta strojní, České vysoké učení technické v Praze
F_{ξ}	[N]	síla v ose šroubu
f_t	[-]	součinitel tření
F_t	[N]	tečná síla



F_{ta}	[N]	tažná síla
F_U	[N]	celková upínací síla (při jakémkoliv upínacím zařízení)
f_z	[mm/zub]	posuv na zub
F_z	[N]	tangenciální složka řezného odporu
h	[mm]	výška prizmatu
H	[mm]	vzdálenost středu kontrolního válečku od základny
HRC	[-]	tvrdost dle Rockwella, diamantový kužel
HSS	[-]	rychlořezná ocel
ISO	[-]	mezinárodní organizace pro normalizaci
IT	[-]	stupeň přesnosti
K	[-]	bezpečnostní součinitel
k	[-]	koeficient bezpečnosti
k'_1	[N.m ⁻¹]	tuhost ve styku součásti přímým upínacím prvkem
k'_2, \dots, k'_n	[N.m ⁻¹]	tuhost prvků, přes které působí upínací síla (upínací zařízení)
K_0	[-]	zaručený součinitel bezpečnosti
K_1	[-]	vliv eventuálních nerovností na součásti
k_1	[N.m ⁻¹]	tuhost ve styku obrobku s opěrami přípravku
K_2	[-]	zachycuje otupení řezného nástroje
k_2, \dots, k_n	[N.m ⁻¹]	tuhost prvků, přes které působí upínací síla (ustavující zařízení)
K_3	[-]	vliv přerušného obrábění
K_4	[-]	charakterizuje upínací zařízení vzhledem ke stálosti upínací síly
k_c	[N.m ⁻¹]	celková tuhost ustavujících prvků
K_p	[roky]	pravděpodobná životnost přípravku
k_u	[N.m ⁻¹]	celková tuhost upínacích prvků
l	[mm]	délka ramene klíče
M	[N.m]	kroučící moment
N	[-]	počet cyklů při zatěžování
n	[ks]	počet čelistí ve sklíčidle
NC	[-]	číslicové řízení
n_v	[ks/rok]	průměrný počet výrobků za jeden rok
oběžné kolo	[-]	oběžné kolo radiálního kompresoru
PA	[-]	polyamid
PC-ABS	[-]	polykarbonát-akrylonitrilbutadienstyren
PLA	[-]	kyselina polymléčná, kyselina polylaktická



POM	[-]	polyoxymethylen, polyacetal, acetal
POM-C	[-]	acetal-kopolymer
QSR	[-]	n-Butylakrylát
r	[mm]	malý poloměr dosedací plochy matice
R	[mm]	velký poloměr dosedací plochy matice
Ra	[μm]	střední aritmetická úchylka povrchu
R_m	[MPa]	mez pevnosti v tahu
r_s	[mm]	střední poloměr závitu šroubu
R_v	[%]	koeficient režie příslušné výroby
ŘP	[-]	řezné podmínky
SNx	[-]	soustružnický nůž x
STEP	[-]	souborový formát pro přenos dat modelu
U	[Kč/ks]	úspora v přímých mzdách na jeden obrobek
Ústav	[-]	Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie, FS ČVUT
v_c	[m/min]	řezná rychlost
X, Y, Z	[-]	označení směrů v 3D systému
α	[°]	úhel sevření dosedacích ploch prizmatu
α_k	[°]	úhel klínu
Δ	[μm]	celková nepřesnost (bez chyb v ustavení) určená z tabulek
δ	[μm]	tolerance rozměru obrobku
Δ_{max}	[μm]	dovolená nepřesnost ustavení obrobku
Δ_s	[μm]	nepřesnost ustavení a upnutí obrobku v přípravku
Δ_u	[μm]	nepřesnost ustavení obrobku
Δ_{u_p}	[μm]	nepřesnost upnutí obrobku
Δ_{us}	[μm]	skutečná nepřesnost ustavení
ψ	[°]	úhel stoupání závitu
σ	[MPa]	amplituda napětí



11 Seznam příloh

- Příloha 1: Součinitel tření f_t jako funkce dotykové plochy přípravku a součásti [3]
- Příloha 2: Součinitel K_2 jako funkce druhu obrábění a působící složky řezné síly [3]
- Příloha 3: Výkres - oběžné kolo
- Příloha 4: Výkres - nastavovací kroužek
- Příloha 5: Výkres - kruhová deska
- Příloha 6: Výkres - horní kryt
- Příloha 7: Výkres - spodní kryt
- Příloha 8: Výkres - segment krytu lopatek 3d1
- Příloha 9: Výkres - segment krytu lopatek 3d2
- Příloha 10: Výkres - segment krytu lopatek 2d1
- Příloha 11: Výkres - segment krytu lopatek 2d horní
- Příloha 12: Výkres - segment krytu lopatek 2d1 spodní
- Příloha 13: Výkres - sestava oběžného kola a přípravku
- Příloha 14: CAD model celé sestavy.STEP

Příloha 1: Součinitel tření f_t jako funkce dotykové plochy přípravku a součásti [3]

Dotykové plochy		Součinitel tření f_t při součásti	
přípravku	součásti	ocelové	litinové
s ostrým hrotem	neobrobené	0,80 i více	-
s malými ploškami	hrubě obrobené (Ra nad 3,2)	0,40 - 0,50	-
hladké rýhované (směr obrábění kolmý k rýhování)	hrubě obrobené (Ra nad 3,2)	0,20 - 0,24	0,18 - 0,22
Hladké rýhované (směr obrábění rovnoběžný k rýh.)	hrubě obrobené (Ra nad 3,2)	0,18 - 0,24	0,16 - 0,21
hladké	neobrobené	0,27 - 0,32	0,24 - 0,27
hladké	hrubě obrobené (Ra nad 3,2)	0,18 - 0,23	0,15 - 0,19
hladké	hrubě obrobené (Ra nad 3,2)	0,16 - 0,18	0,14 - 0,18
hladké	hrubě obrobené (Ra pod 3,2)	0,18 - 0,20	0,16 - 0,18
hladké	hrubě obrobené (Ra pod 3,2)	0,16 - 0,20	0,14 - 0,16

Příloha 2: Součinitel K_2 jako funkce druhu obrábění a působící složky řezné síly [3]

Druh obrábění	Složka řezné síly	K_2
vrtání	kroučící moment - M	1,15
	osová síla - F_{os}	1,10
zahlubování nahrubo	kroučící moment - M	1,30
	osová síla - F_{os}	1,20
zahlubování načisto	kroučící moment - M	1,20
	osová síla - F_{os}	1,20
soustružení a vyvrtávání nahrubo	F_{rz}	1,00 (ocel, litina)
	F_{ry}	1,40 (ocel), 1,20 (litina)
	F_{rx}	1,60 (ocel), 1,26 (litina)
soustružení a vyvrtávání načisto	F_{rz}	0,95 (ocel), 1,05 (litina)
	F_{ry}	1,05 (ocel), 1,75 (litina)
	F_{rx}	1,00 (ocel), 1,50 (litina)
frézování válcovou frézou nahrubo i načisto	obvodová síla - F_{ob}	1,75 - 1,90 (houževnaté oceli)
		1,20 - 1,40 (tvrdé oceli a litina)
čelní frézování nahrubo i načisto	tečná síla - F_t	1,75 - 1,90 (houževnaté oceli)
		1,20 - 1,40 (tvrdé oceli a litina)
broušení	obvodová síla - F_{ob}	1,15 - 1,20
protahování	tažná síla - F_{ta}	1,55

Přílohy 3 až 14: Příložený na CD, které je umístěno v kapse na zadní straně desek diplomové práce.