

TU LIBEREC
FAKULTA STROJNÍ
KATEDRA TEXTILNÍCH A JEDNOÚČELOVÝCH STROJŮ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Konstrukce upínací matice pro úhlovou brusku

Nový Bor, 2013

Petr Miřátský

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Martinu Bílkovi, Ph.D. za trpělivost a poskytnutí informací, materiálů a odborných rad, které byly velmi užitečné při psaní předkládané bakalářské práce.

Dále také děkuji vývojovému týmu firmy Protool, který se mi po dobu mé bakalářské práce věnoval a zejména panu Ing. Jiřímu Blažkovi, který mě vedl celým procesem návrhu, za jeho trpělivost a cenné rady, které daly směr mojí práci.

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá návrhem nového mechanismu pro upínání brusného kotouče úhlové brusky. Práce začne rozбором již realizovaných konstrukčních řešení problému. Potom zkusíme navrhnout vlastní řešení a v CAD prostředí vytvořit model nového mechanismu. Ten budeme dále konzultovat s firmou Protool, která je zadavatelem tématu bakalářské práce. Následně vyrobíme ve firmě Protool prototyp této nové matice a odzkoušíme jeho funkčnost. Na závěr uděláme ekonomický rozbor a posoudíme schůdnost nového konstrukčního řešení.

Klíčová slova

Úhlová bruska, upínací matice, mechanismus

Abstract

This bachelor thesis describes the design of new mechanism for clamping the grinding wheel angle grinder. Work will begin an analysis of competing solutions to the problem. Then we try to design their own solution and create CAD model of the new mechanism. This we will consult with business development team Protool, which is authority of this subject. Then we try to produce a prototype and test its functionality. Finally we will analyze and consider the economic viability of new construction.

Keywords

Angle Grinder, clamping nut, mechanism

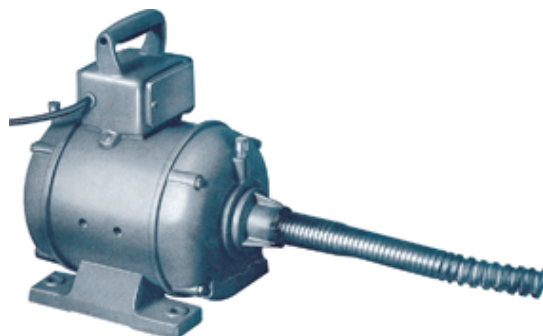
Obsah

Úvod	5
1. Popis problematiky	7
2. Rozbor dosavadních řešení	
2.1 Způsob upínání	8
2.2 Konkurenční řešení	9
2.3 Patentové ochrany	11
3. Návrh nové upínací matice	
3.1 Počáteční idea	12
3.2 Silový rozbor mechanismu	14
3.3 3D model upínací matice	
3.3.1. Prvotní návrh	16
3.3.2. Finální návrh	22
4. Výroba prototypu upínací matice	
4.1 FMEA analýza	28
4.2 Tvorba výrobní dokumentace	30
4.3 Výroba prototypu	30
5. Prototyp upínací matice	
5.1 Popis vyrobeného prototypu	33
5.2 Návrh dalších úprav	36
6. Ekonomická analýza	38
Závěr	40
Seznam použité literatury	41
Seznam příloh	42

Úvod

Historie

Úhlová bruska, nebo-li flexa pochází od názvu firmy FLEX. Mnoho lidí tento výraz zná a používá jej, ale nevědí, že „flexa“ má svůj původ od vynálezu FLEX, dříve Ackermann+Schmitt. Ale všechno pěkně popořádku. Roku 1922 zakládají Hermann Ackermann a Hermann Schmitt ve Stuttgart-Bad Cannstatt stejnojmenný podnik, aby mohli svůj vlastní vynález vyrábět a prodávat ruční brusku MS 6, jejíž elektromotor byl poháněn flexibilní hřídelí. Tento znak dává zcela novému nářadí své jméno: FLEX. Odsud tedy pochází dnešní název značky a také pojem běžně užívaný – flexa.



Hermann Ackermann



Hermann Schmitt

Na konci 20 let se podaří inženýrům nahradit flexibilní hřídel úhlovým pohonem. Vzniká první úhlová bruska, která se rovněž prodává pod označením FLEX. Pojem Flex se začíná běžně používat. Roku 1935 uvádí Ackermann + Schmitt nízkootáčkovou úhlovou brusku na trh. Roku 1954 přichází první vysokorychlostní úhlovou brusku s typovým označením DL 9. Pojem FLEX se stává synonymem pro úhlovou brusku, flexa nahrazuje v hovorové řeči zcela slovo úhlová bruska.



Firma Protool byla založena v roce 1994 a její moto je stoprocentní spolehlivá kvalita elektrického nářadí i příslušenství, které uživatele nenechá na holičkách ani v těch nejnáročnějších podmínkách.

„Rozhlížíme se na stavbách, mluvíme s lidmi, kteří používají naše nářadí, posloucháme jaké mají požadavky, problémy a přání. Když pak tyto vědomosti vyhodnotíme, jsme schopni vyvinout a vyrobit systémy, které klientovy nároky splní a nabídnout mu skutečná řešení problémů.“ Sídlo firmy je ve Wendlingenu, Německo. Pracoviště v České Lípě je nejmodernější výrobní a montážní pracoviště pro výrobu vysoce kvalitního elektrického nářadí a společně s oddělením vývoje tvoří plnohodnotnou součást firmy.



Úhlová bruska, nebo-li flexa je jedním artiklem ze široké škály profesionálního nářadí které firma nabízí. Slouží především k dělení materiálů a to zpravidla oceli.

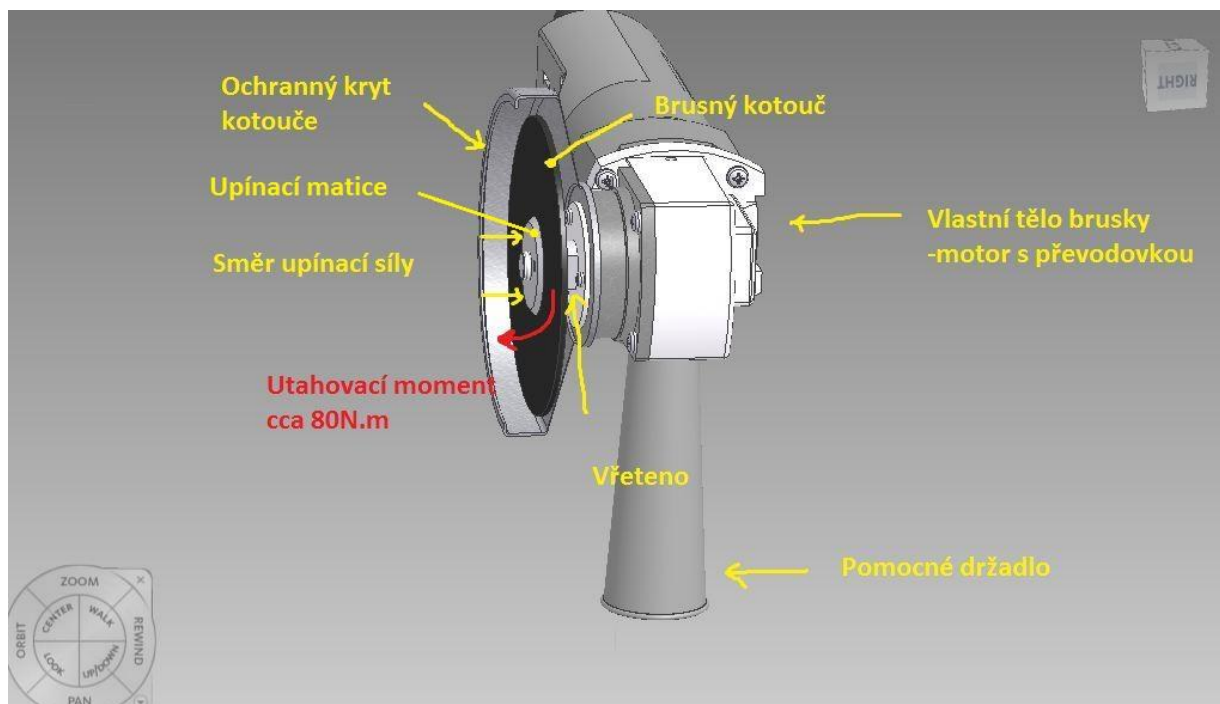
Jako pracovní nástroj je zde kotouč, který je upnut na vřeteno pomocí matice. Kotouč může být řezný, brusný, kartáč apod., a má určitou životnost a je třeba jej měnit. Pro zjednodušení výměny kotouče je možné pevnou matici zaměnit za mechanickou, kterou je možné povolit pouze rukou a odpadá nutnost používat další nářadí. Tyto mechanické matice jsou založeny na různém principu a jsou vesměs patentovány.



1. Popis problematiky

Upínání kotouče do úhlové brusky je poměrně jednoduchý pracovní úkon, který se během práce s nářadím provádí běžně a to jednak z důvodu opotřebení kotouče při práci a jednak z důvodu změny práce, které se s úhlovou bruskou provádí a tedy následuje výměna za jiný typ brusného kotouče.

Upínání brusného kotouče do úhlové brusky je prováděno tak, že na vřeteno úhlové brusky se nasadí brusný kotouč a ten je dotažen upínací maticí. Tuto matici při upínání běžně stačí utáhnout pouhou rukou.



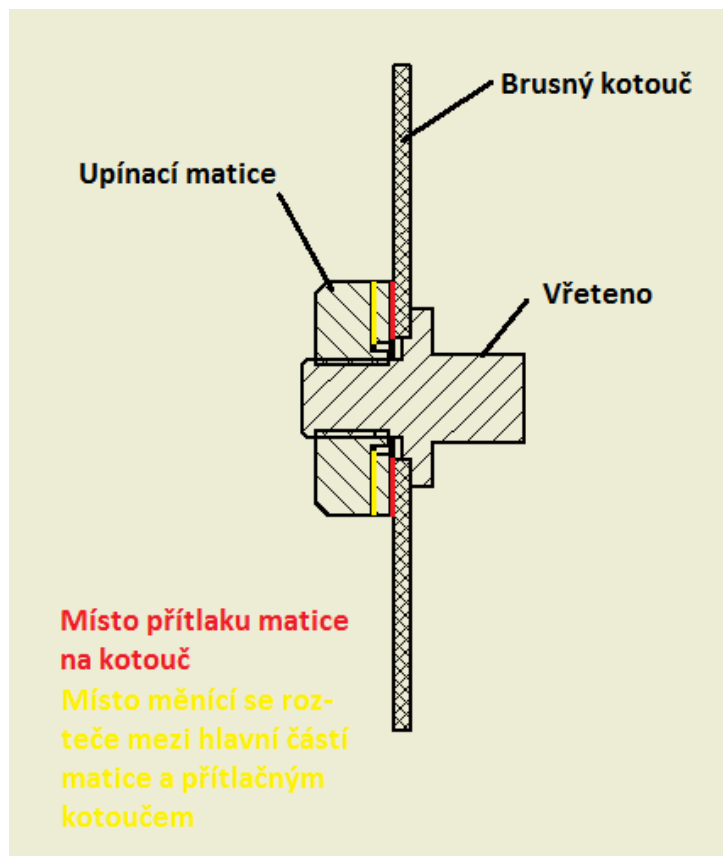
Kroutící moment je přenášen na kotouč z vřetena třecí silou a matice se tedy dotáhne při práci velkým momentem. Ten dosahuje podle dostupných měření až 80N*m. Problém nastane při povolování kotouče. Tehdy je zapotřebí povolovací klíč, kterým se upínací matice uvolní. Tento klíč je samozřejmě další nářadí navíc, které je v případě mechanické matice zbytečné.

2. Rozbor dosavadních řešení

2.1 Způsob upínání

Jak bylo zmíněno, pro upnutí brusného kotouče je možné použít buď klasickou matici, a nebo matici mechanickou. Funkčnost takové mechanické matice popíši dle přiloženého ilustračního náčrtu. Matice je v základním stavu našroubovaná na vřeteno a v červeně označeném místě přitlačuje brusný kotouč. V okamžiku, kdy je zapotřebí matici povolit, zafunguje mechanismus tak, že se zmenší mezera označená na obrázku žlutě. To je mezera mezi hlavním dílem matice a přitlačnou plochou matice na kotouč. Tím dojde ke

zmenšení síly v červeně označeném místě mezi maticí a brusným kotoučem, a matice přestane přitlačovat brusný kotouč ke vřetenu. Následkem toho se odlehčí třecí síly na závit matice a matice jde v tomto stavu povolit pouze rukou bez dalšího nářadí. To je značným zjednodušením práce při výměně kotouče a zároveň i odpadnou nepříjemnosti s nutností dalšího nářadí v podobě utahovacího klíče.



2.2 Konkurenční řešení

Uvedl bych zde dva typy rychloupínacích matic, které jsem na začátku práce dostal k prozkoumání. První od německé firmy Bosch a druhou od americké firmy Jacobs.

a) Upínací matice Bosch-Typ GWS

Firma Bosch přišla s mechanismem na principu rozpěrných klínků, které jsou vtlačovány mezi dvě kuželové plochy. Jedna z kuželových ploch je na hlavním těle matice a druhá je na přítlačném talířku, který tlačí na brusný kotouč. To zajišťují tři malé válečky, které se odvalují po věnci v drážce s vybráním. Pokud se váleček dostane do tohoto vybrání odskočí a umožní klínkům vyjet ze sevření kuželových ploch a tím se kužele mohou přiblížit k sobě a odlehčí se vnitřní přítlačný talíř.



Směr povolení obvodového kola
Směr odvalení zajišťovacího čepu
Směr odsunutí rozpěrného klínku

b) Upínací matice Jacobs- Hand-Tite

Tato matice americké produkce je založena na principu kuličkového šroubu. Střed matice je tvořen vnitřním závitem M14, který se šroubuje na vřeteno úhlové brusky. Kolem tohoto středu je umístěn kuličkový šroub a na něm se otáčí celé tělo matice. Při otáčení se toto tělo matice vyšroubuje a tím se odlehčí přitlačný kotouč. Nevyšroubované tělo matice drží ve střední poloze aretační pružinka (viz. Foto). Ta dovolí otáčení matice jedním směrem, kterým se tělo matice zašroubuje o určitý chod směrem k přitlačnému talíři. Tím se matice odlehčí a jde normálně vyšroubovat rukou.



Směr otáčení vnějšího prstence

Pevný střed s kuličkovým šroubem

Aretační pružinka

2.3 Patentové ochrany

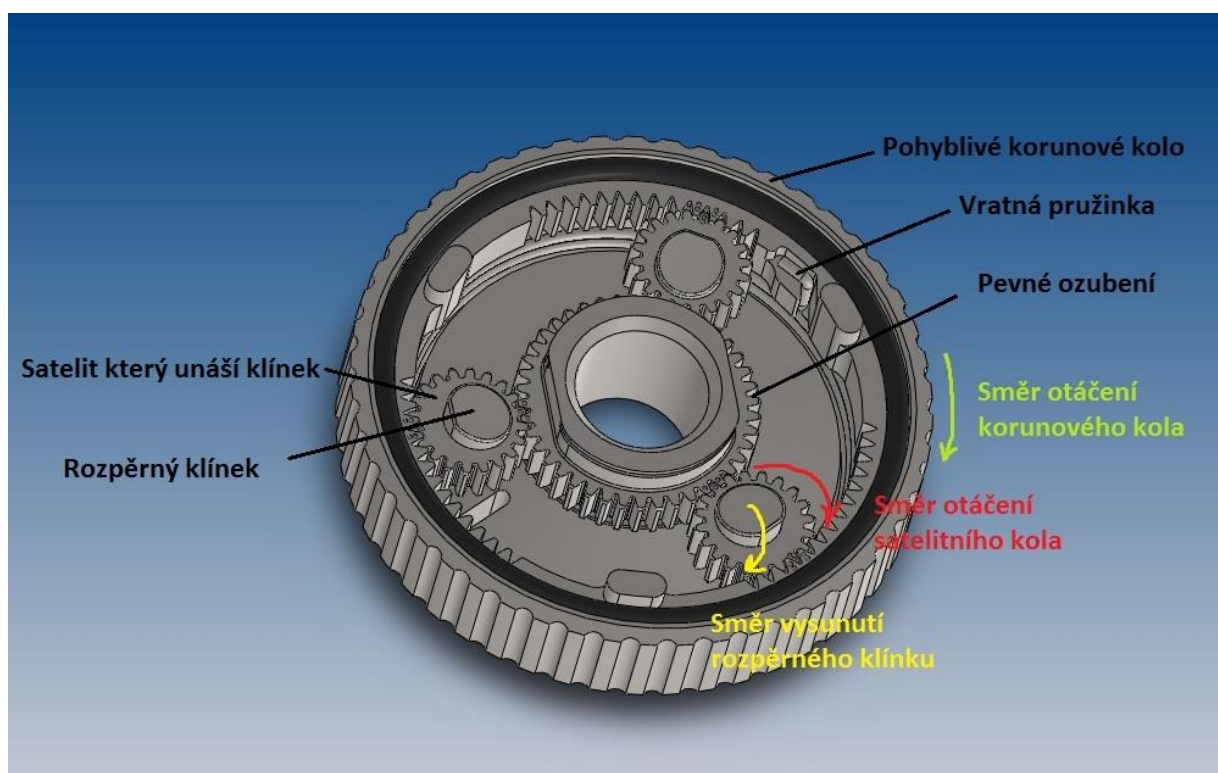
Zadáním bakalářské práce bylo, aby řešení bylo originální. Proto součástí práce byla i studie již realizovaných řešení a jejich patentové ochrany. K dispozici byl obsáhlý soubor výpisů patentových ochrany. Patenty všeobecně jsou ochranou určitého řešení proti výrobě od někoho jiného, než je patentem chráněný autor. Patenty jsou platné cca 15let. Po uplynutí tohoto období je patentovaná věc zpřístupněna ostatním. Patenty jsou rozděleny i dle platnosti. Jiný je patent pro Evropu, jiný pro USA či Asii, každá věc musí být patentována na všech územích, kde má být autor chráněn vůči duplikaci svého řešení. V ČR jsou patenty dostupné na stránkách <http://www.upv.cz/cs.html>. Zde je možné do patentů nahlédnout, popřípadě si vyžádat jejich kopii.

Každý z těchto patentů obsahuje slovní popis určitého mechanismu a jeho jednoduché schéma. Postupným studiem těchto podkladů byly vyselektovány možnosti, jak by mohl nový mechanismus fungovat, aby nekolidoval s již chráněnými principy mechanismů. Od toho se potom odvíjel návrh nového mechanismu upínací matice.

3. Návrh nové upínací matice

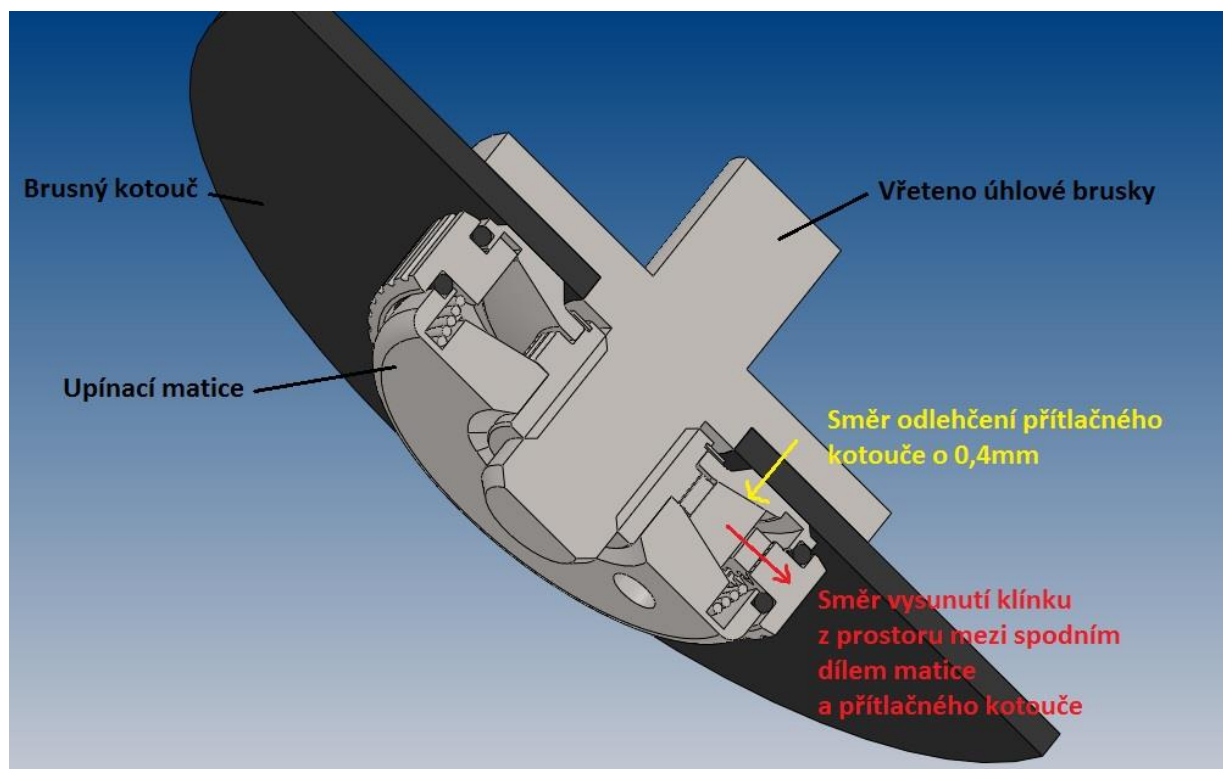
3.1 Počáteční idea

Byl hledán mechanismus, který by byl jednoduchý na výrobu, a který také zatím není mezi již patentovanými mechanismy. Nápad na mechanismus vznikl dle předlohy planetového mechanismu. Za předpokladu velkého převodu mezi rotačním pohybem a pohybem posuvným, bylo odvozeno, že mechanismus pomocí satelitních kol, by mohl mít dostatečný převod i únosnost pro toto využití. Posuvný pohyb je realizován, jako posun excentricky uloženého rozpěrného klínku v satelitu. Díky otáčení satelitu tento klínek odvalujeme příčně k rotaci satelitu a získáváme posuvný pohyb kolmý k rotačnímu.



Vzhledem k jednoduchosti celého mechanismu a zaručení tečné stability, byl vybrán mechanismus s třemi satelity. Tečnou stabilitou je myšleno ustavení dvou protilehlých kuželových ploch proti sobě. Vhodnost počtu tří satelitů též vyplývá z nutnosti rovnoměrného zatížení každého satelitu a to nám princip tří opěrných bodů zaručí. Pro převod tangenciální síly v osovou, byl využit princip rozpěrných klínků mezi protilehlými kuželovými plochami, které jsou na spodním díle matice a na přítlačném talíři. Tento posun klínků, které se zasunují a vysunují

z klínové plochy mezi protilehlými kužely, potom způsobí pohyb těchto dvou kuželových ploch od sebe a k sobě, a tím i jednotlivých částí matice podél její osy.



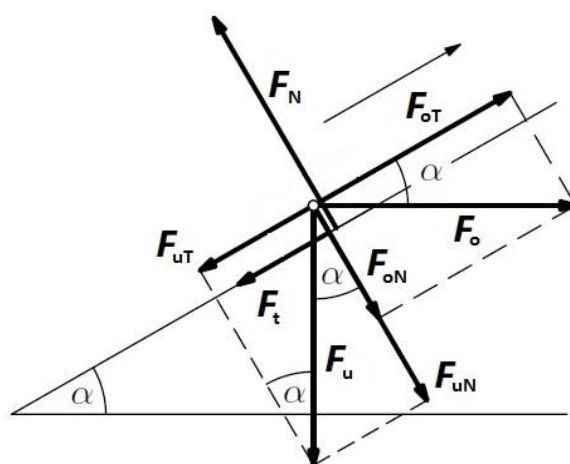
Výsledné fungování mechanismu je potom následující. Spodní díl matice má na sobě pevné ozubení. Po tomto ozubení se odvalují tři satelity, které mají v sobě excentricky uložené rozpěrné klínky (váleček s dvěma konvexními kuželovými plochami na konci). Klínky se posunují do prostoru mezi kužely a rozpínají od sebe spodní díl matice a přítlačný talíř (přítlačný talíř na obrázku není zobrazen, aby bylo vidět do vnitřku matice). Jak se satelity otáčejí, vytlačují klínky ven z kuželových ploch a vzdálenost mezi spodním dílem matice a přítlačným talířem se zmenšuje. Tím je odlehčen přítlačný talíř, kterým je upnut brusný kotouč. Díky tomuto odlehčení přitlaku, je závit na vřetenu brusky uvolněn a matice jde následně povolit rukou.

3.2 Silový rozbor mechanismu

Bylo využito již realizované měření, které prováděli ve firmě Protool na vyrobených upínacích maticích. Zkoušeli jak velkou silou je dotažena matice, při práci s úhlovou bruskou, při plném zatížení. Z měření zjistili, že tento moment dosahuje až 80N*m.

Abychom zjistili jak velké síly zatěžují mechanismus, je nutné nejdříve spočítat utahovací sílu matice, resp. sílu kterou matice přitlačuje brusný kotouč. To je dáno rozkladem sil na stoupání závitu vřetena M14. V našem případě vycházíme z maximálního utahovacího momentu matice (80 N*m) přepočteného na poloměr závitu matice M14, což je $r_z = 6,5\text{mm}$.

$$F_o = \frac{M_u}{r_z} = 12,3 \text{ kN}$$



Na obrázku je zjednodušený náčrt zatížení závitů silou F_o , což je obvodová (utahovací) síla na závit matice a F_u , což je upínací (přítlačná) síla, která přitlačuje brusný kotouč k vřetenu brusky. Můžeme tedy psát rovnice rovnováhy:

$$- F_t - F_{uT} + F_{oT} = 0 \quad \text{a} \quad F_N - F_{uN} - F_{oN} = 0$$

dále platí:

$$F_t = F_N * f$$

potom vyjádřeno pomocí trigonometrických fčí a úhlu α :

$$F_o = \frac{\sin \alpha + f * \cos \alpha}{\cos \alpha - f * \sin \alpha} * F_u$$

použijeme-li substituci $f = \operatorname{tg} \varphi$ a převrácením zlomku dostaneme:

$$F_u = F_o / \operatorname{tg} (\alpha + \varphi) \quad \begin{array}{l} \text{..... } \alpha = 4,5^\circ \text{ pro stoupání} \\ \text{závitu M14} \\ \text{..... } \varphi = \operatorname{arctg} f \\ \text{..... } f = 0,1 \end{array}$$

$$F_u = 48 \text{ kN}$$

a tedy lze předpokládat, že zatížení kuželové plochy na klínku je silou:

$$F_{\text{klínku}} = 16 \text{ kN}$$

a tlak na plochu klínku lze zjednodušeně počítat jako:

$$p_{\text{klínku}} = 4 * F_{\text{klínku}} / \pi * d^2 \quad \text{..... } d = 0,006 \text{ m}$$

$$p_{\text{klínku}} = 566 \text{ MPa}$$

Výsledný tlak na plochy klínků je tedy na hranici pevnosti běžných materiálů. Pro další je potom nutné počítat s povrchovou úpravou materiálu, který bude použit na výrobu styčných ploch, či použít i nějaký speciální materiál, který by odolal těmto vysokým tlakům.

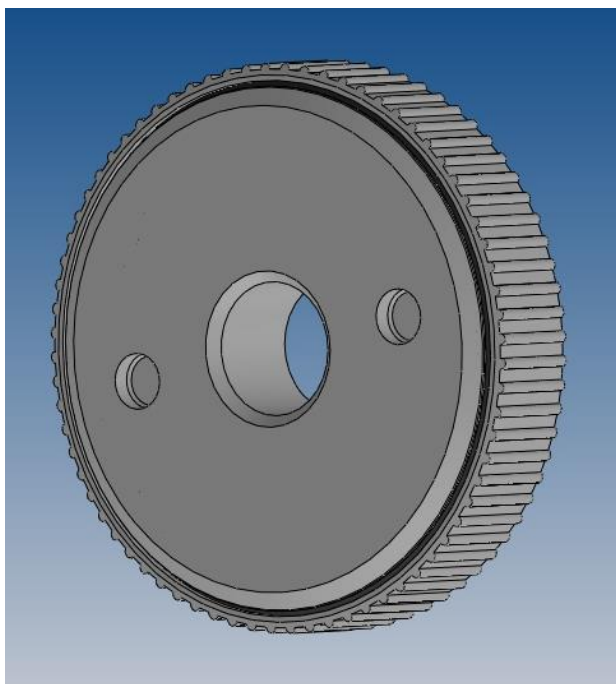
3.3 3D model upínací matice

3.3.1 Prvotní návrh

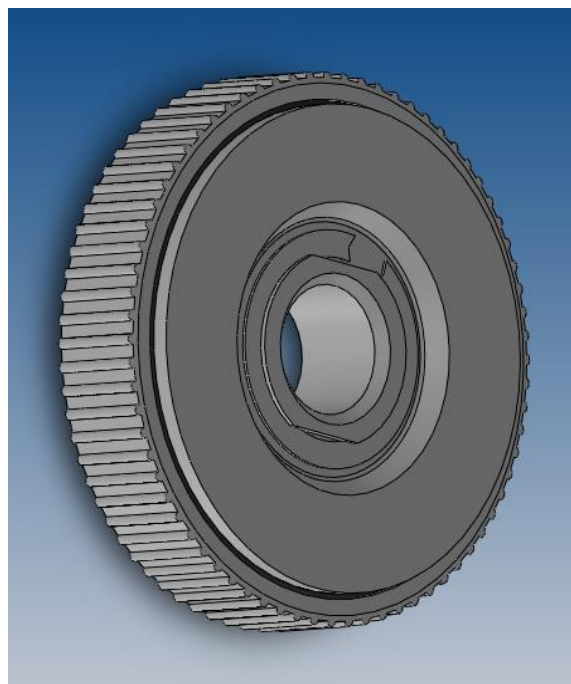
Prvotní návrh matice vznikl dle představ o funkčnosti mechanismu. Tvar matice byl dán rozměrovými možnostmi přitlačného talíře, resp. normou, která určuje minimální velikost přitlačného mezikruží, jež upíná brusný kotouč. Od toho byla potom odvozena velikost celé matice. Těmto rozměrovým možnostem také odpovídalo navrhování vnitřního mechanismu. Ten musel být navrhnut takovým způsobem, aby byl i při jeho relativně malých rozměrech dostatečně robusní. A v neposlední řadě svojí roli hrála i celková vyváženost matice, která je při vysokých pracovních otáčkách nutností. Zde je výhodou vnitřní souměrnost mechanismu, která tomu napomáhá.

Na vnějším tělu matice jsou vidět dvě prohlubně pro povolovací klíč. Ty jsou vhodné, pokud mechanismus nestačí na povolení a je nutné vyvinout větší sílu než pouhou rukou.

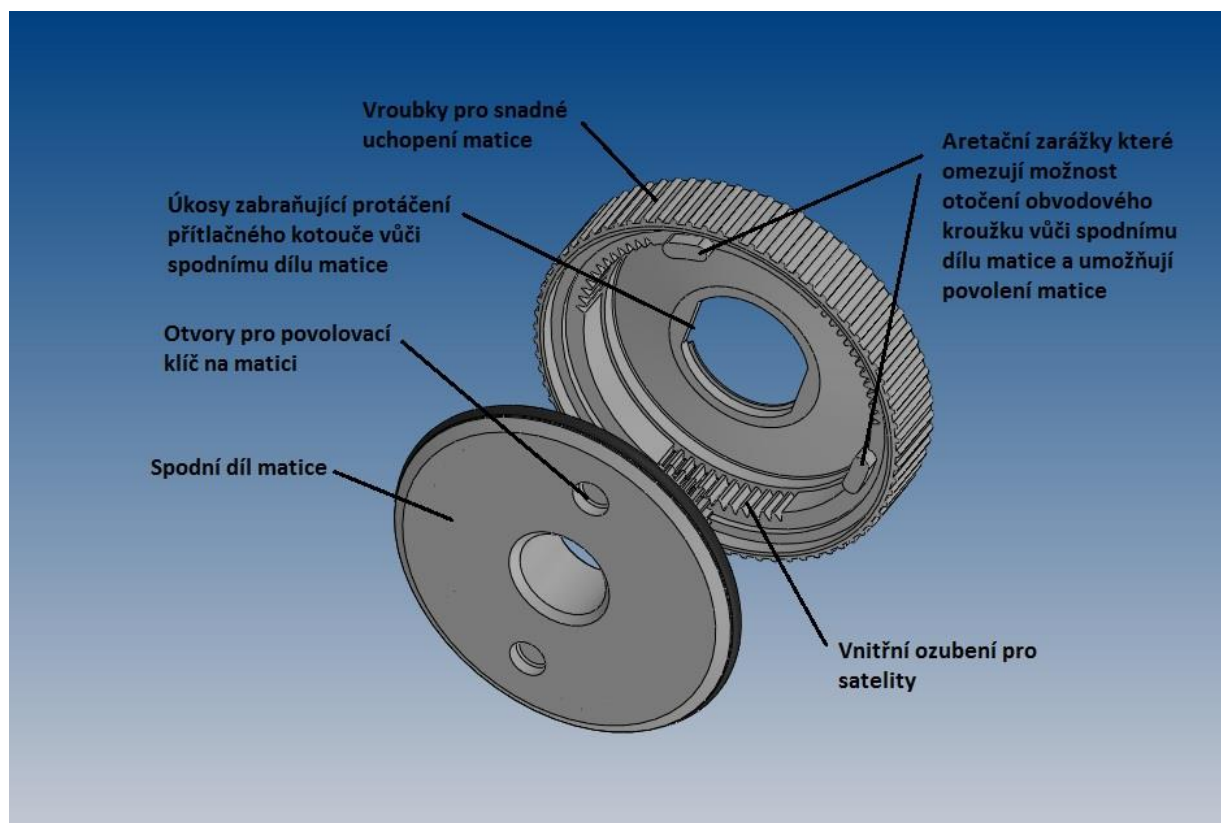
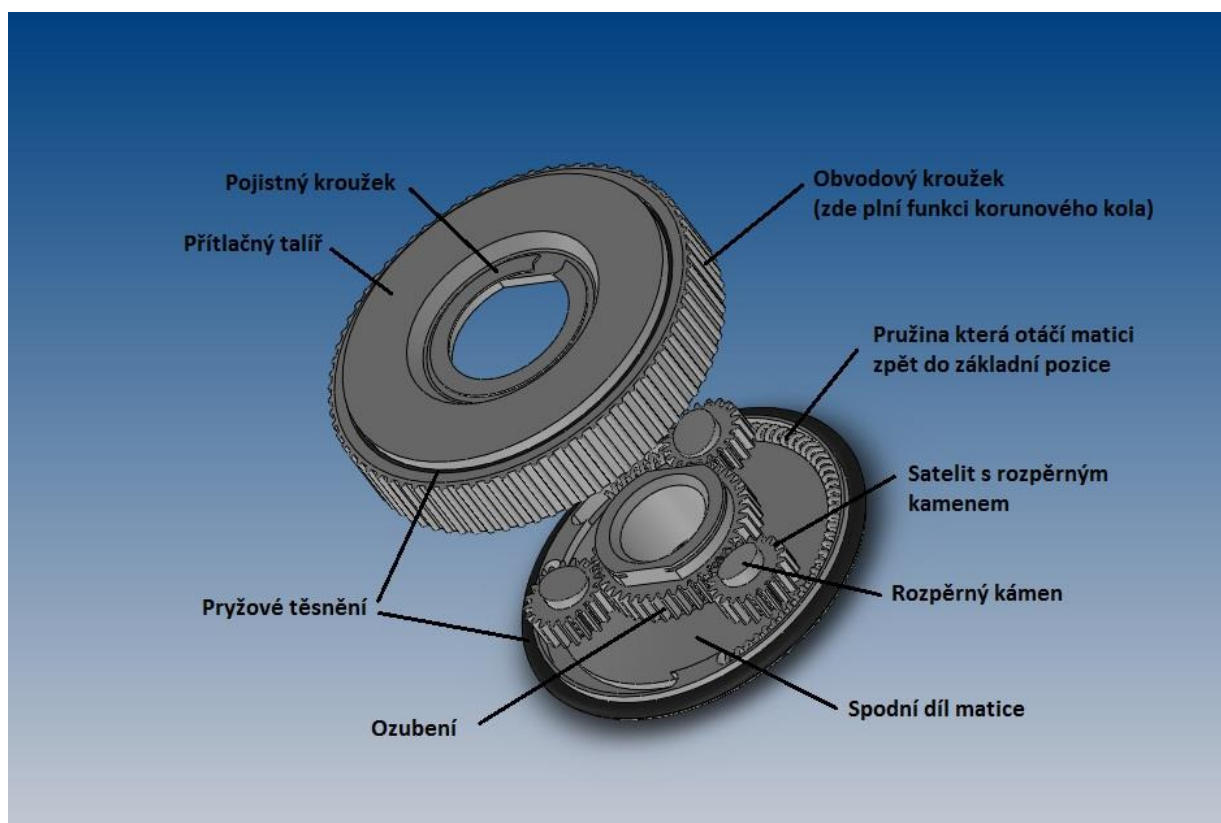
Pohled zdola



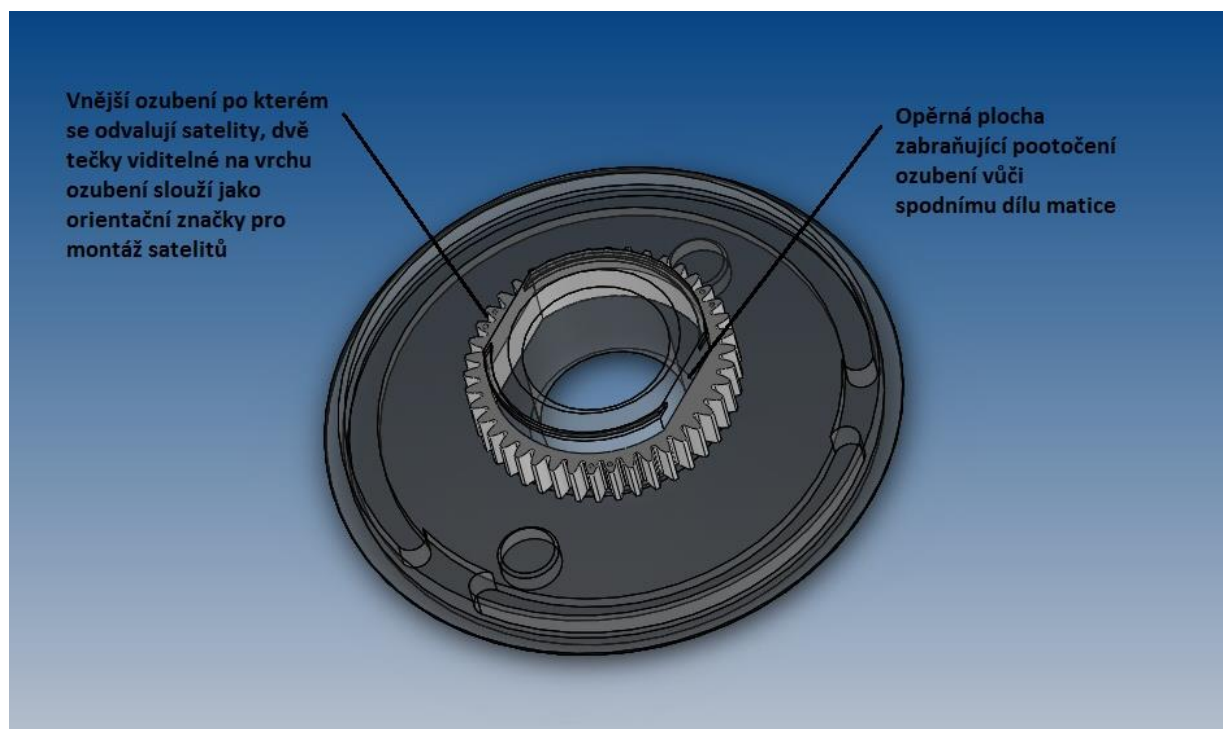
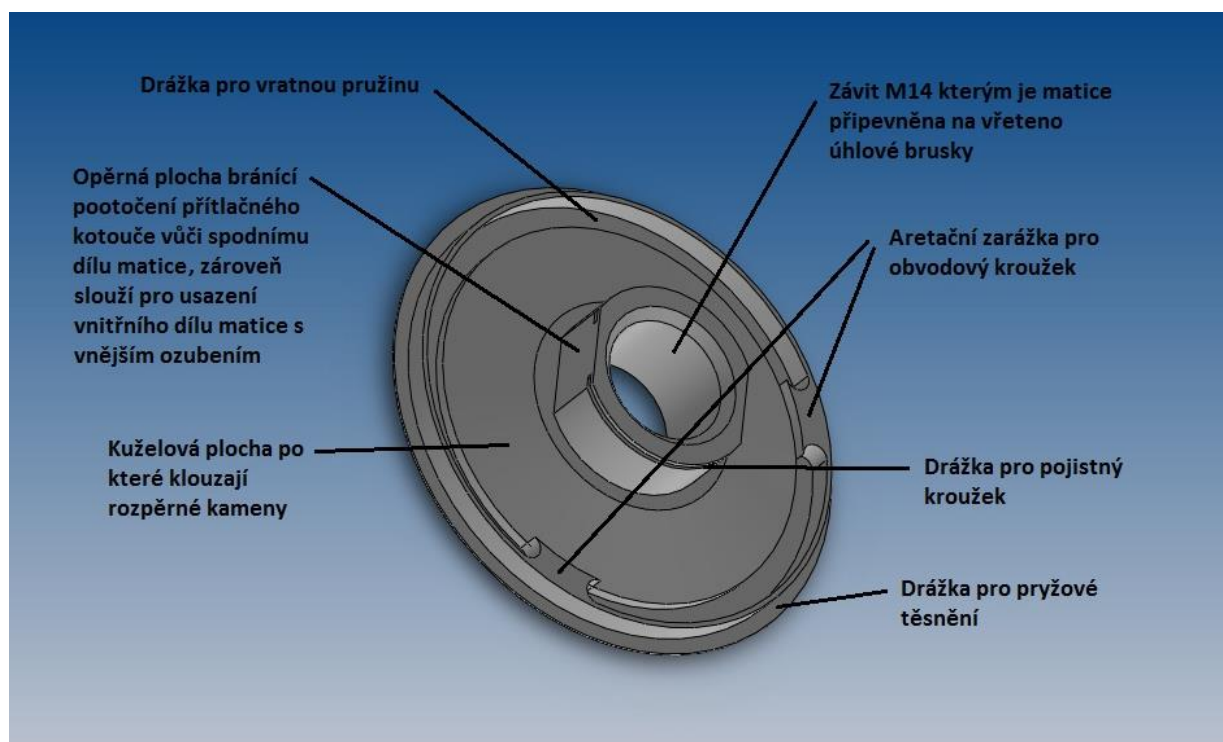
Pohled ze strany přitlačného kotouče



Matice se skládá z těchto částí:

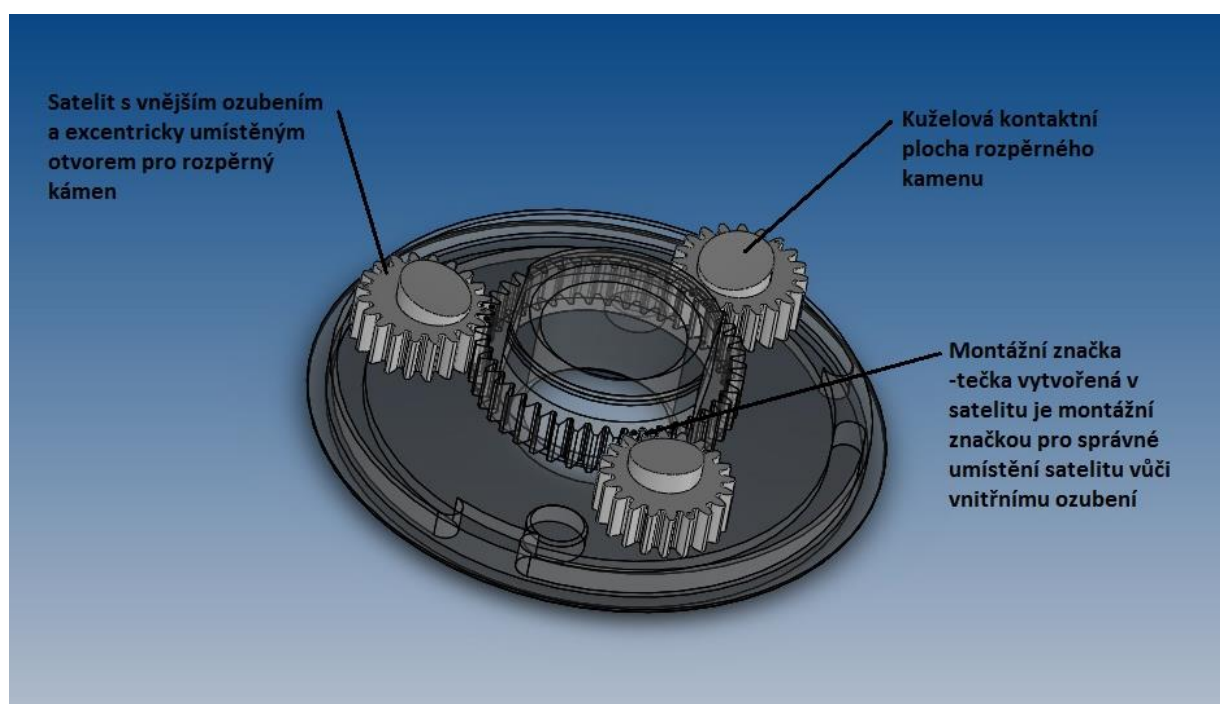


Největší částí matice je spodní díl, který je vlastně vnější stranou přitlačné matice. Na něm je umístěn závit (M14), kterým se matice připevňuje na vřeteno úhlové brusky. Tento díl má na sobě nalisovaný kroužek s vnějším evolventním ozubením. Po tomto kroužku se odvalují tři satelity, v kterých jsou umístěny rozpěrné kameny. Ty jsou excentricky usazené vůči ose rotace satelitu. Tím je způsobeno, že při odvalování satelitu, se kámen axiálně pohybuje vůči spodnímu tělesu matice (viz. kapitola 3.1).

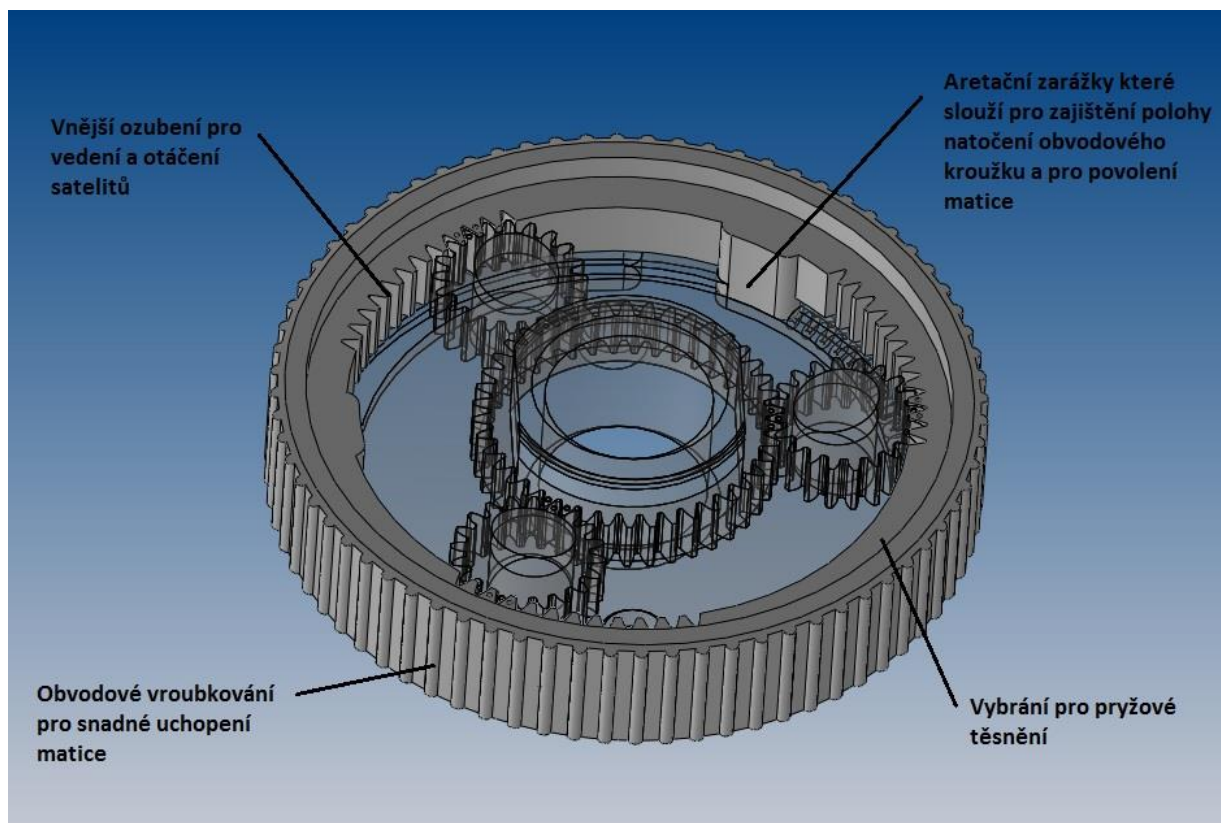


Satelity byly zvoleny tři, protože více rozpěrných kamenů není efektivní. Díky výrobním tolerancím, kdy nemůžeme zaručit stoprocentně stejnou velikost všech kamenů, se opřou kuželové plochy horního dílu matice a spodního stejně pouze ve třech bodech, proto byly zvoleny tři satelity.

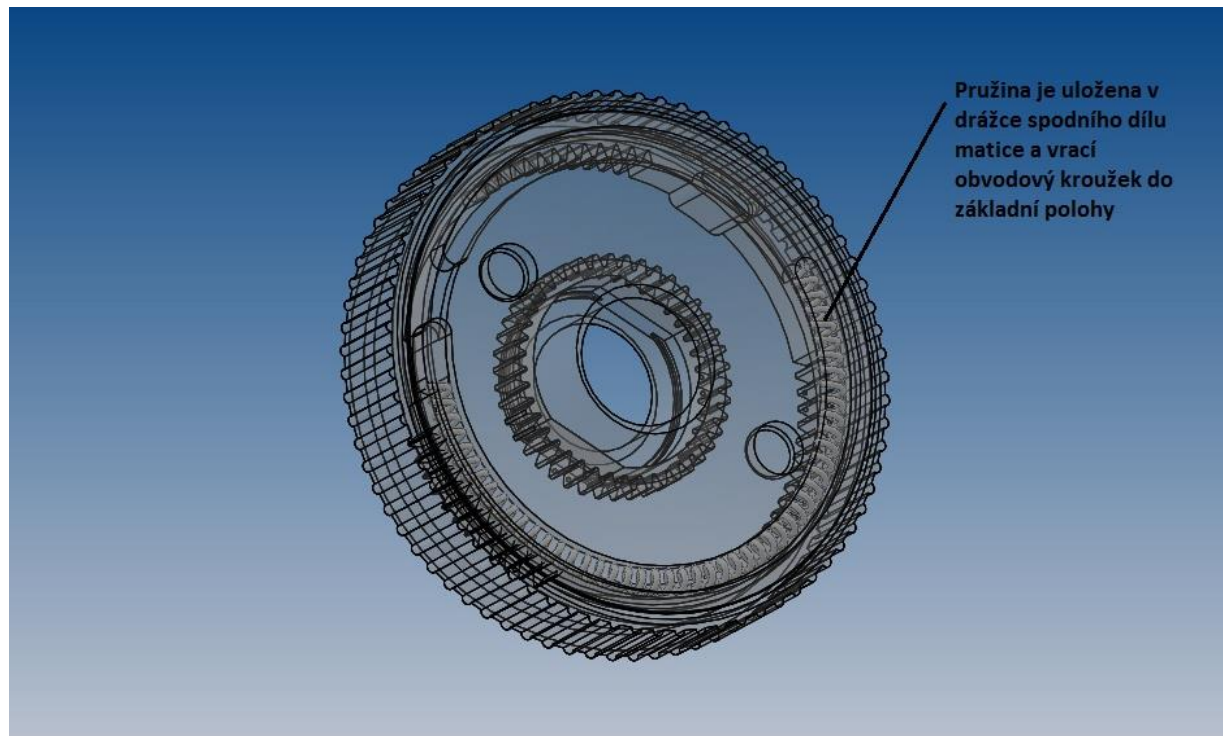
Dalšími díly jsou satelit s vnějším ozubením a rozpěrný kámen. Zde bylo nutné nejdříve rozhodnout o kolik stupňů se budou satelity otáčet. To je dáno maximálním otočením satelitního kola z jedné úvratě do druhé, v našem případě to je 180° . Zároveň bylo zapotřebí také určit otočení vnějšího věnce (zastupujícího korunové kolo), který slouží jako povolovací matice. Kombinací počtu zubů ozubení a rozměrů nakonec vyšlo, že věnec při povolování bude mít běh 90° .



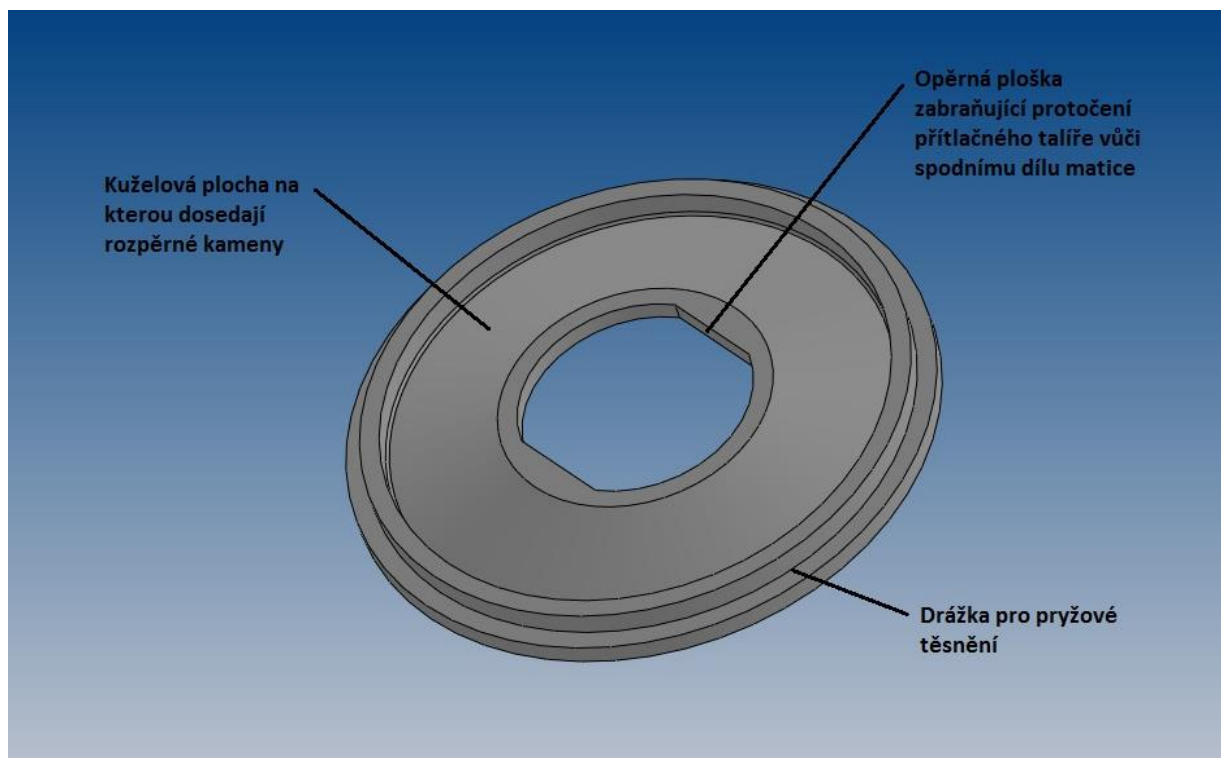
Stření část matice tvoří obvodový kroužek. Ten má hned několik funkcí. V první řadě je korunovým kolem pro satelity, které jsou jím fixovány na funkční místo. Díky otočení věnce, se satelity odvalí po kružnici a kameny, které jsou satelity unášeny, se odvalí po cykloidě ven ze „záběru“. To znamená že kámen vyjede ze sevření dvou protilehlých kotoučů, a tím se přitlačný kotouč odlehčí.



Další částí je tlačná pružina, která ustavuje matici v základní poloze.



Posledním dílem je přítlačný talíř matice, který přitlačuje brusný kotouč na vřeteno úhlové brusky.



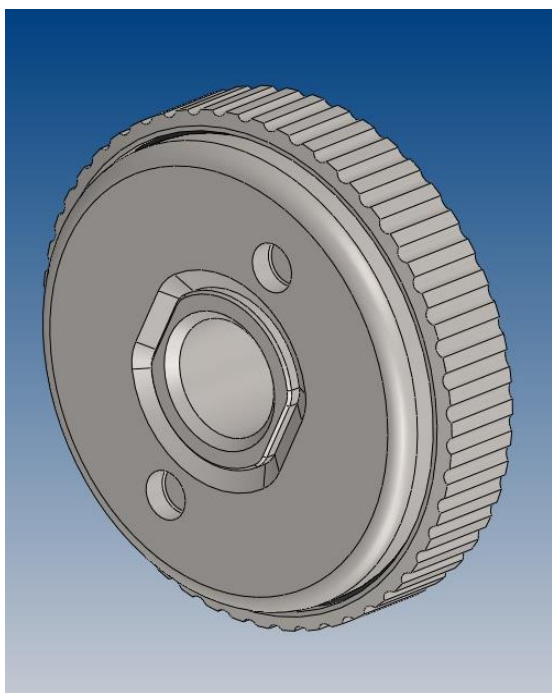
Kompletní 3D CAD model včetně výkresové dokumentace je součástí DVD přiloženého k bakalářské práci.

3.3.2 Finální návrh

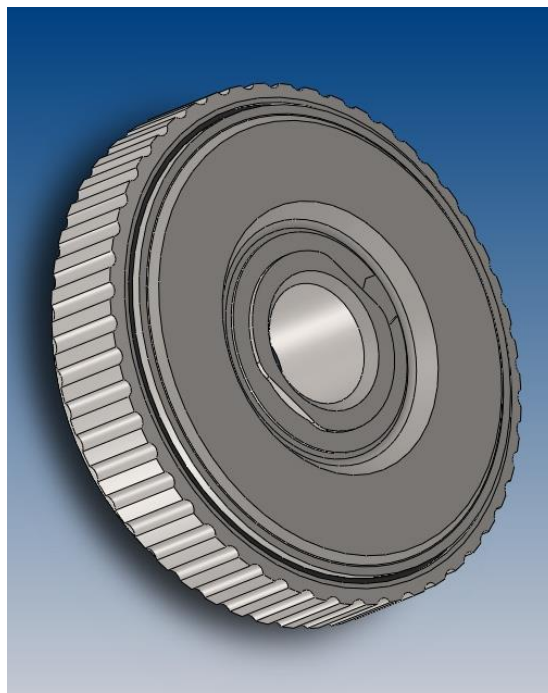
Finální podoba modelu vznikla po další konzultaci ve firmě Protool. Největší změnou konstrukce, bylo rozdělení spodního dílu matice na dvě části. To vzniklo díky potřebě jednoduše vyrobit spodní kuželovou plochu a zároveň zvýšit pevnost vnějšího evolventního ozubení. Výsledkem bylo vyrobení vnějšího ozubení společně s vnitřním závitem M14 a to jako vnitřní díl spodní části matice. Tyto díly byly potom svařeny.

Další konstrukční změnou bylo využití zkrutné pružiny namísto klasické tlačné. To mělo přinést lepší průběh vratného momentu, který měl mít méně strmý průběh. Ale už při návrhu se ukázala zástavba takovéto pružiny do mechanismu složitá. Vlastností pružiny při práci je měnit střední průměr. Bylo těžké vystihnout počet závitů pružiny vůči pracovnímu úhlu tak, aby změna středního průměru byla minimální a zároveň počet závitů aby nezvětšoval celkovou výšku matice.

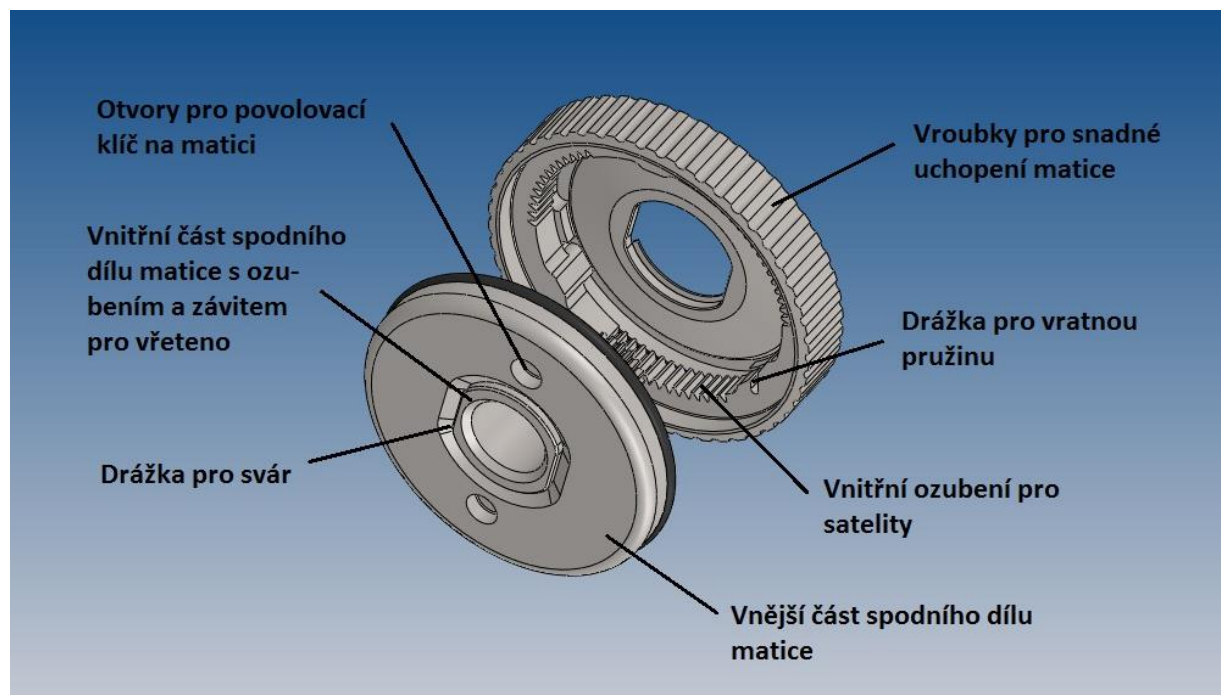
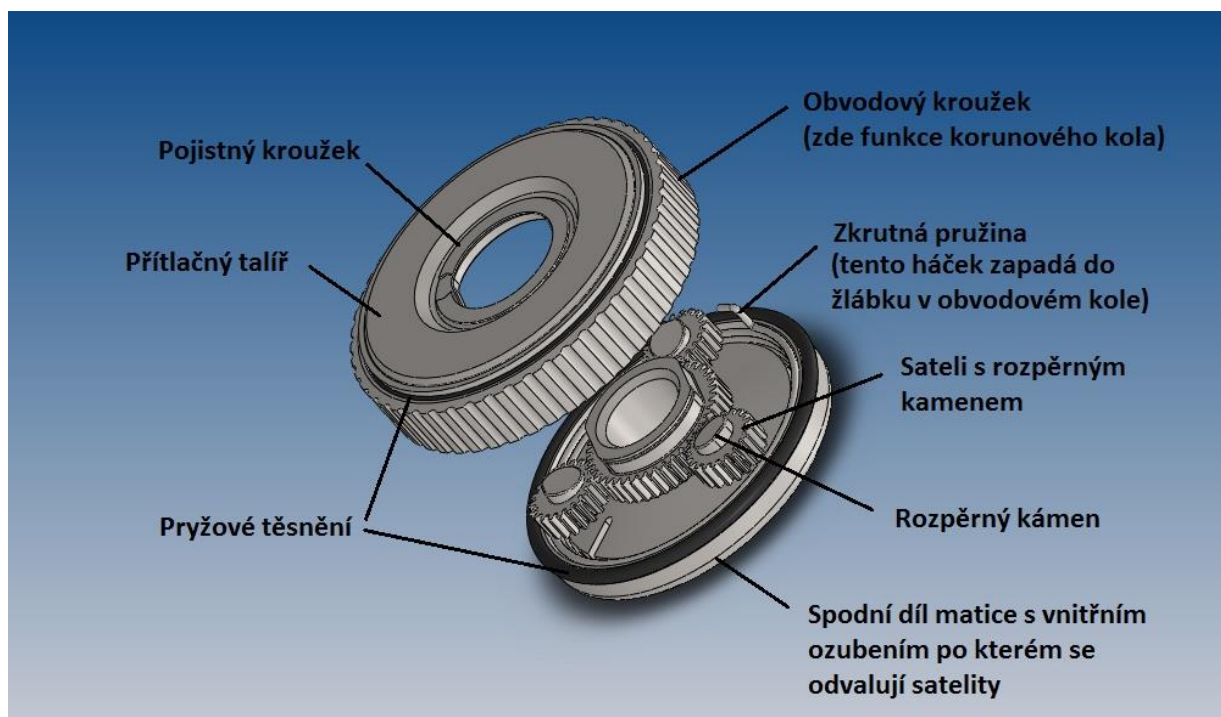
Pohled zdola



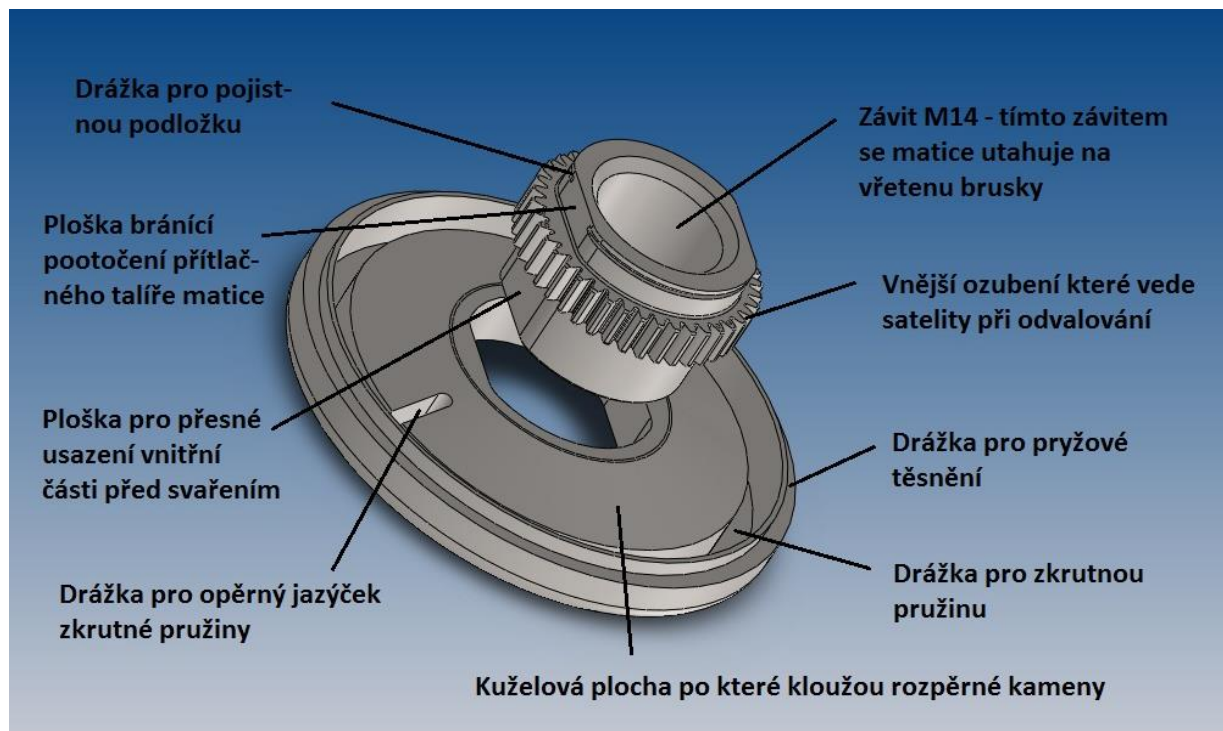
Pohled ze strany přitlačného kotouče



Matice se skládá z těchto částí:

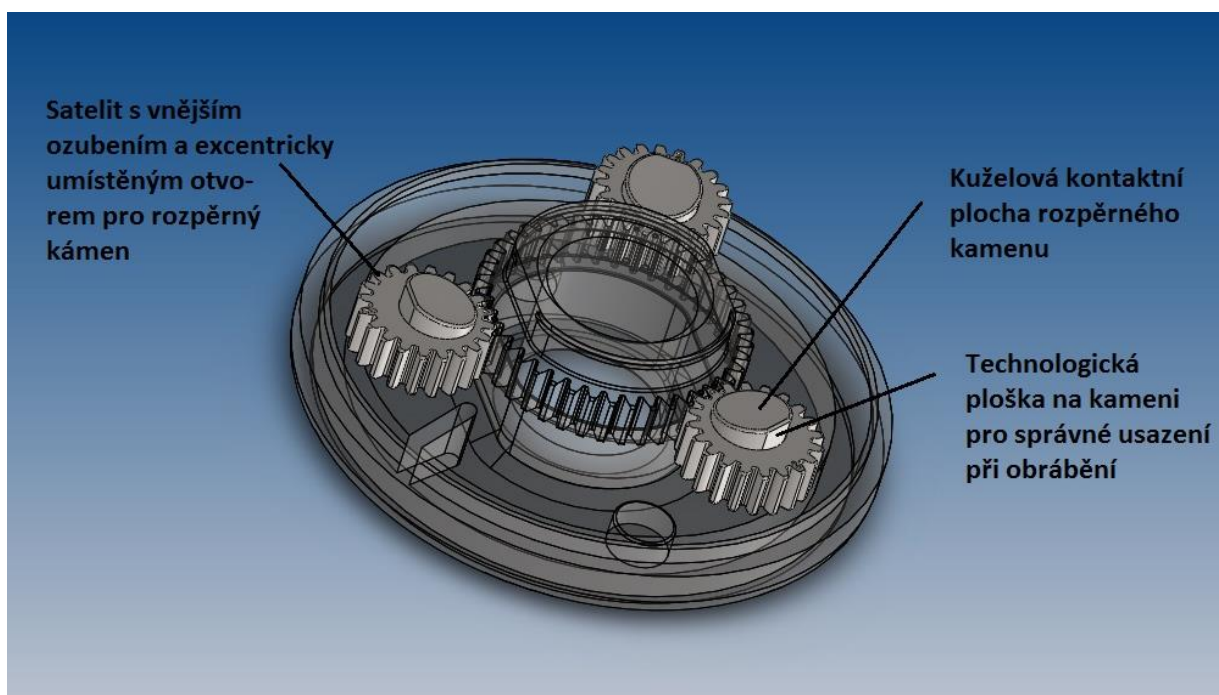


Základním dílem matice je zde díl označený jako Tmi-1-01-01. Tento díl měl v první fázi na sobě závit M14, kterým je matice upevněna na vřeteno, ale po FMEA analýze, byl z výrobních důvodů rozdělen na dvě části. Oba díly jsou potom svařeny v jeden celek.

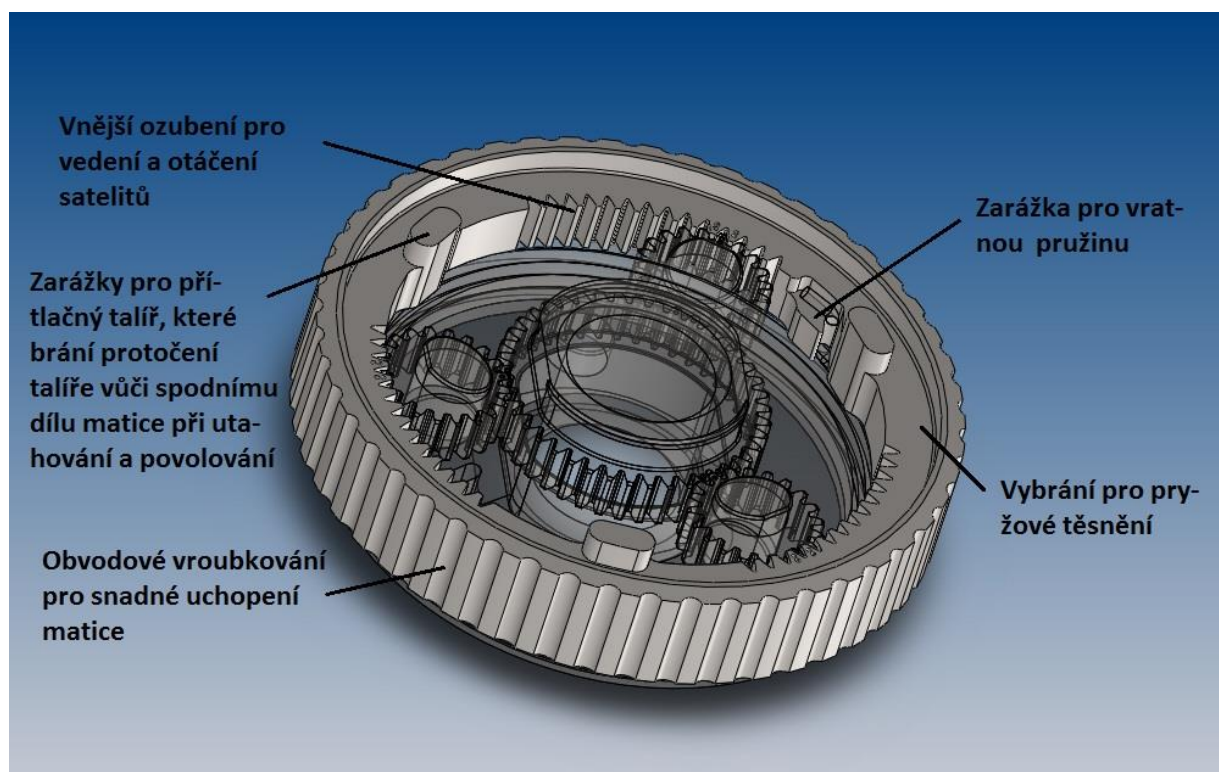


Pro správnou pozici při svařování, je ve spodním talíři, do kterého se vsadí vnitřní díl, oválný otvor s rovnými ploškami. Zespodu jsou potom dva otvory pro povolovací klíč. Plocha po které klouzají kameny zůstala kuželová a okolo ní je drážka pro zkrutnou pružinu. Ozubení použité na všech dílech matice je evolventní.

Dalšími díly jsou satelit s vnějším ozubením a rozpěrný kámen. Zde zůstalo vše dle původního návrhu. Přidala se jen technologická ploška na rozpěrném kameni, která slouží pro jednodušší usazení součásti při obrábění.



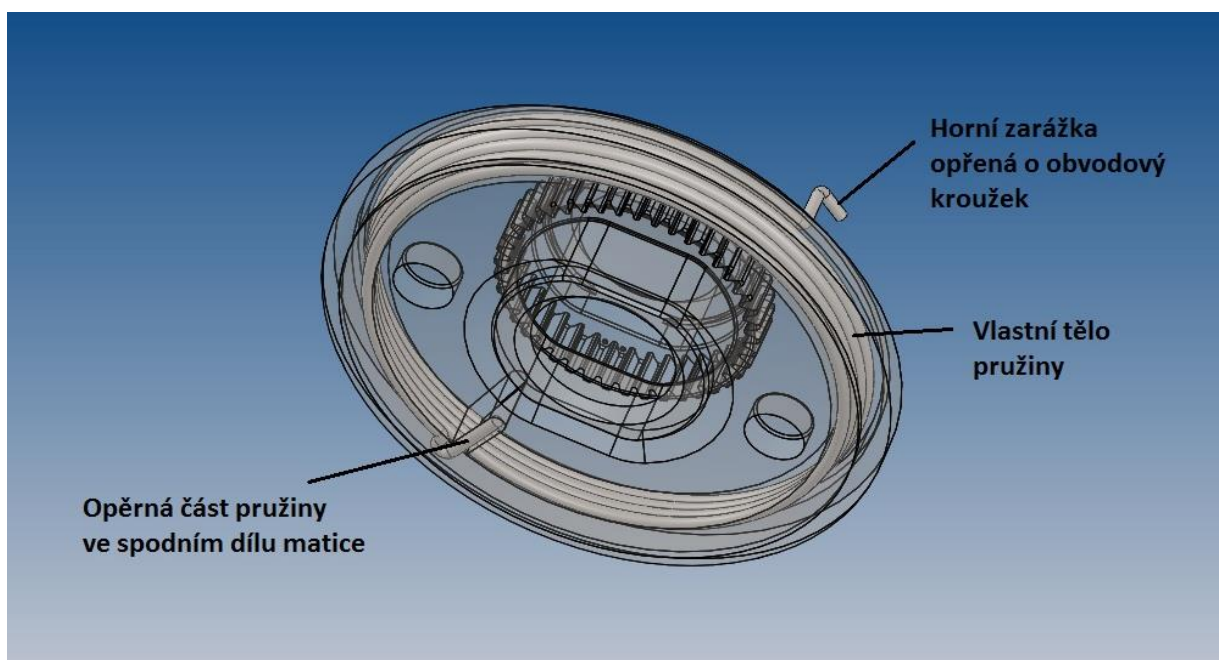
Stření část matice tvořena obvodovým kroužkem doznala pouze změn nutných pro zástavbu zkrutné pružiny místo tlačné.



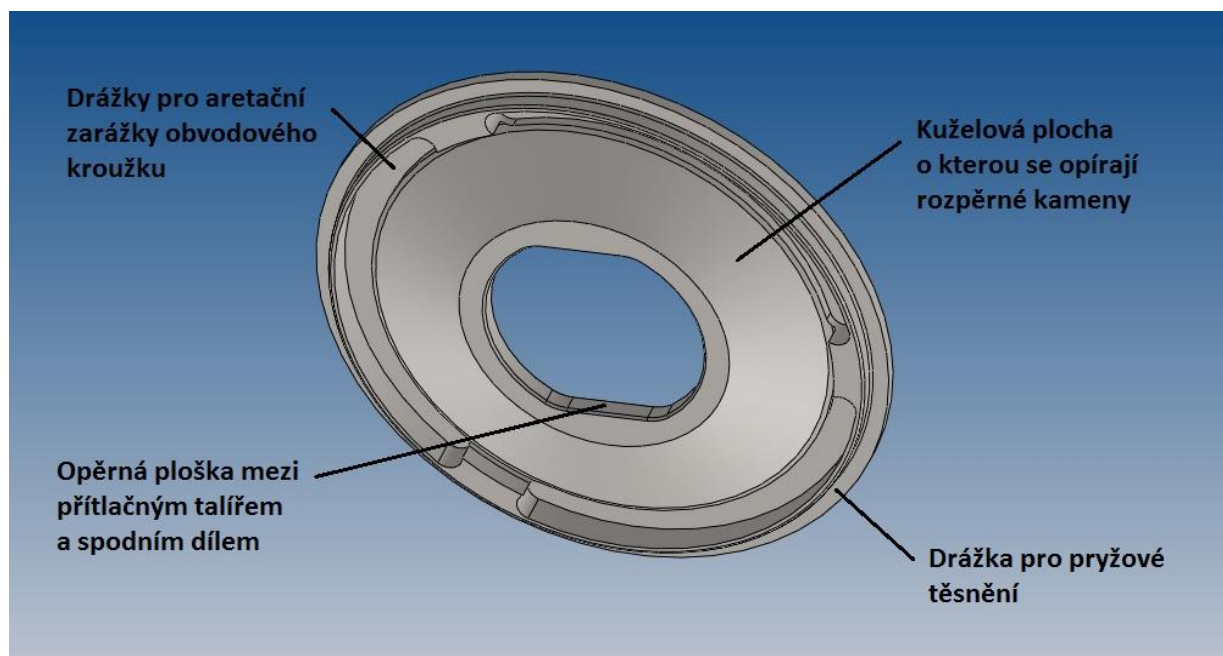
Změna vratné pružiny z klasické vinuté na torzní pružinu, se ukázala jako nevhodná. Už při montáži byly problémy s umístěním pružiny na své funkční místo. Pružinu bylo nutno předeprnout mimo své umístění a potom teprve namontovat společně s obvodovým kroužkem. To bylo poměrně složité, ale pomocí montážního přípravku by to bylo možné řešit.

Jako další byl problém nestability tvaru pružiny při provozu. Pružina je vyrobena z kruhového drátu jako válcová zkrutná. Tento válcový tvar je ale v praxi velmi neurčitý a pokud není pružina nasazena na nějakém trnu či není umístěna v otvoru, má při odvíjení tendenci měnit nekontrolovatelně svůj obvodový profil, resp. má tendenci se zkroutit do jiného tvaru, než který je pravidelným kruhem s pevným středem. Následkem toho pružina nedržela v drážce, ale vyklouzávala mezi věncem a satelity. To pak mělo za následek nefunkčnost celého mechanismu.

Návrh pružiny je uveden v příloze, výpočet byl zpracován pomocí programu MathCad.



Vrchní díl matice tvoří přitlačný talíř, kterým je přitlačován brusný kotouč ke vřetenu úhlové brusky. Tento díl má též kuželovou plochu, po které klouzají rozpěrné kameny. Po obvodě jsou drážky, do kterých zapadají aretační výstupky obvodového kroužku. Ty zabraňují protočení přitlačného kotouče vůči matici při povolování, resp. utahování.



Kompletní 3D CAD model včetně výkresové dokumentace je součástí DVD přiloženého k bakalářské práci.

4. Výroba prototypu upínací matice

4.1 FMEA analýza

Odkud a co je FMEA?

FMEA (Failure Mode and Effects Analysis, analýza možného výskytu a vlivu vad) je analytická metoda, jejímž cílem je identifikovat místa možného vzniku vad ve výrobě. Tato metoda je používána při výrobě ve všech možných odvětvích průmyslu. Metoda odhaluje různá rizika již v rané fázi plánování, a to díky detailnímu rozboru procesu výroby. O výsledek kvalitní analýzy se musí zasloužit celý tým z různých úrovní organizace. Metoda je relativně jednoduchá, je k ní ale potřeba vysoká zkušenost a znalost zkoumaného produktu, nebo alespoň produktu jemu podobného. Nejen z tohoto důvodu je zapotřebí tým lidí napříč více oborů, protože pro každého člena týmu je důležitá jiná část postupu výrobku. Přesně vzato je FMEA souhrnem poznatků technika nebo týmu v průběhu vývoje celého procesu.

Takovýto křest si odbyl nejdříve první návrh matice a posléze i finální model prototypu. S panem Blažkem jsem si sjednal termín setkání na FMEA analýzu, a sešlo se šest lidí. Byli to jak lidé z konstrukčního oddělení, z prototypové dílny a z technologie. Model byl promítnut na velké plátno a každý z účastníků říkal své připomínky, které se týkaly realizovatelnosti výroby.

Byly probírány jednotlivé díly matice a nejvíc připomínek padlo z pohledu technologičnosti výroby. Zásadní věcí bylo detailní prozkoumání návaznosti všech rozměrů a hlavně tolerance výroby jednotlivých dílů. Zde se změnilo hodně rozměrů a vesměs na větší výrobní tolerance a větší funkční mezery mezi jednotlivými díly. Největší spodní díl matice byl u prototypu rozdělen na dva kusy a na vnitřní díl bylo přesunuto ozubení. Tyto díly se po vyrobení měly svařit dohromady. Zároveň byla také prezentována možnost výroby dílů pomocí drátořezu a sintrování. Drátořez se týkal kusové výroby a sintrování zas potom sériové výroby. Obě možnosti změnilly tvar dílů. Například za předpokladu výroby sintrováním bylo nutné upravit díly tak, aby nevadil drobný šev, který zbyde v místech zavírání formy.

V následující tabulce je zápis z takovéto analýzy, z kterého lze vyčíst požadované změny :

[illegible]

4.2 Tvorba výrobní dokumentace

Veškerá výrobní dokumentace byla tvořena přímo z 3D CAD modelů. Vodítkem pro výrobní výkresy byla FMEA analýza a dodržení všech požadavků, které dali její účastníci a to jak na výrobní postup dílů, tak i na jejich tolerance. Bylo využito možnosti nechat i složitější díly beze změn a to díky výrobě pomocí drátořezu a v sériové výrobě pomocí technologie Sintrování.

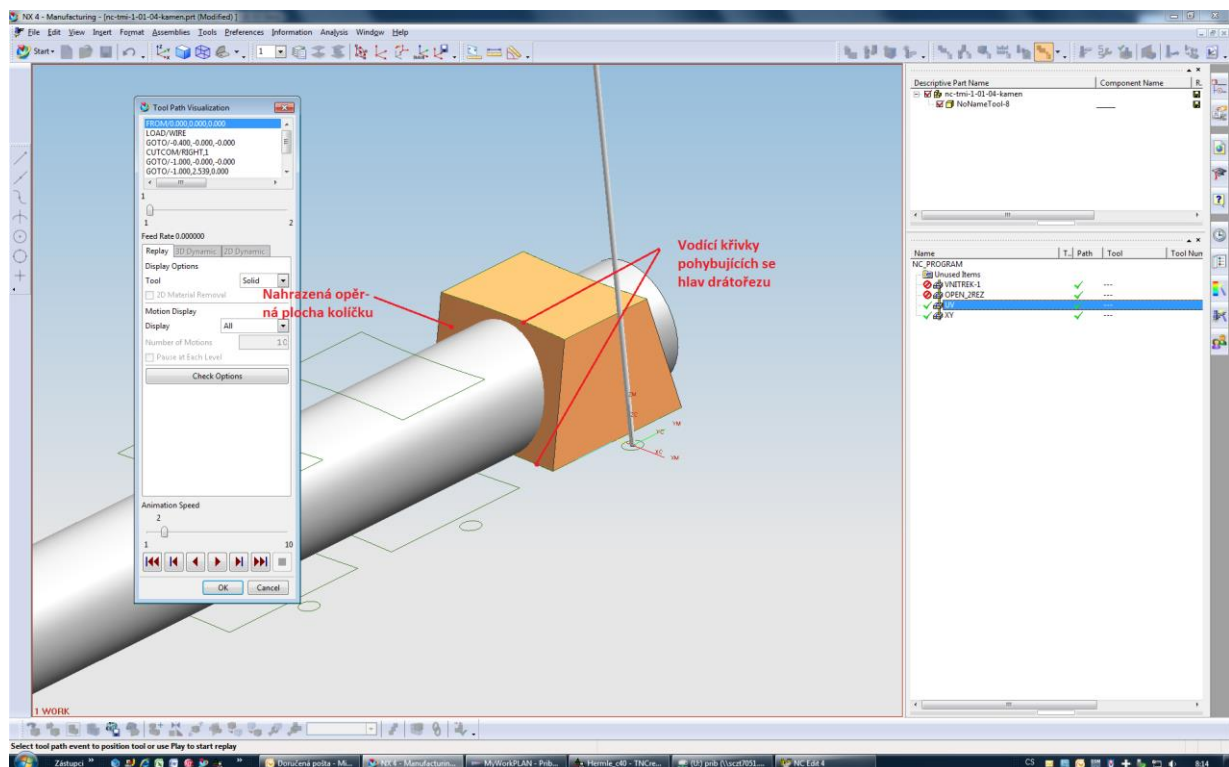
Výkresová dokumentace je v tištěné formě přiložena k bakalářské práci a v digitální formě na přiloženém DVD.

4.3 Výroba prototypu

Jednotlivé díly prototypu byly rozděleny na jednodušší výrobní díly. Ty potom byly zhotoveny univerzálními technologiemi. Například rozpěrný kolík je ukázkou takové výroby dílu, který by se jinak vyráběl v sintrovací formě, ale u prototypu byl vyroben drátořezem.

Drátořez je druh elektroerozivního obráběcího procesu, při kterém dochází k úběru materiálu erozí, jež je způsobována sérií elektrických výbojů (jisker). Celý proces se odehrává v dielektrické kapalině, která usnadňuje tok elektrických výbojů v jiskrové mezeře. V důsledku velké proudové hustoty jednotlivých krátkých výbojů je materiál obrobku natavován a přiváděným proudem dielektrické kapaliny odplavován z místa řezu.

V našem případě uvedu pouze jako příklad výrobu rozpěrného kolíčku, který je považován za nejhůře vyrobitelnou součást pro sériovou výrobu. V prototypové výrobě byly kolíčky vyrobeny následujícím způsobem: programátor drátořezu si nejdříve nahradil model kolíčku tyčí a dvěma průsečnicemi opěrných ploch kolíčku a vodících rovin, což jsou kuželové výseče. Těmi potom proložil dráhu drátu drátořezu a dostal dráhy po kterých se pohybují hlavice drátořezu. Tímto způsobem byly vyrobeny kolíčky z obyčejné kulatiny.



Výstupem je program, který se zadá do stroje a ten vyřeže požadovaný tvar.

Příklad takového drátořezu vypadá dle obrázku vpravo. Na tomto stroji se také vyrobili všechna ozubená kola, věnec a střední díl s ozubením.



Jednou z technologií, kterou nahrazuje drátořez v kusové výrobě, je Sintrování , nebo-li spékání. Je to technologie výroby dílů z práškových hmot, kde prášek je zahřátý na vysokou teplotu, která je ale menší než bod tání. Při této teplotě dochází k vzájemnému splynutí práškových částic. Proces se děje ve vakuové peci a polotovarem pro spékání jsou práškové hmoty. Díly je potom možné vyrobit i ve velmi složitém tvaru jako jeden kus. Podmínkou vyrobitelnosti takového dílu je pouze vyjímatelnost z formy ve které se díl spéká. Je zajímavé, že se takto dá vyrábět třeba i ozubení. Pevnost je dostatečná a houževnatost takových ozubených kol je dostatečná i pro více namáhaná ozubená kola. Nevýhodou je mírný „šev“, který vzniká v místech zavírání formy.

5. Prototyp upínací matice

5.1 Popis vyrobeného prototypu

Následující fotografie ukazuje vyrobené jednotlivé díly, z kterých se matice skládá.

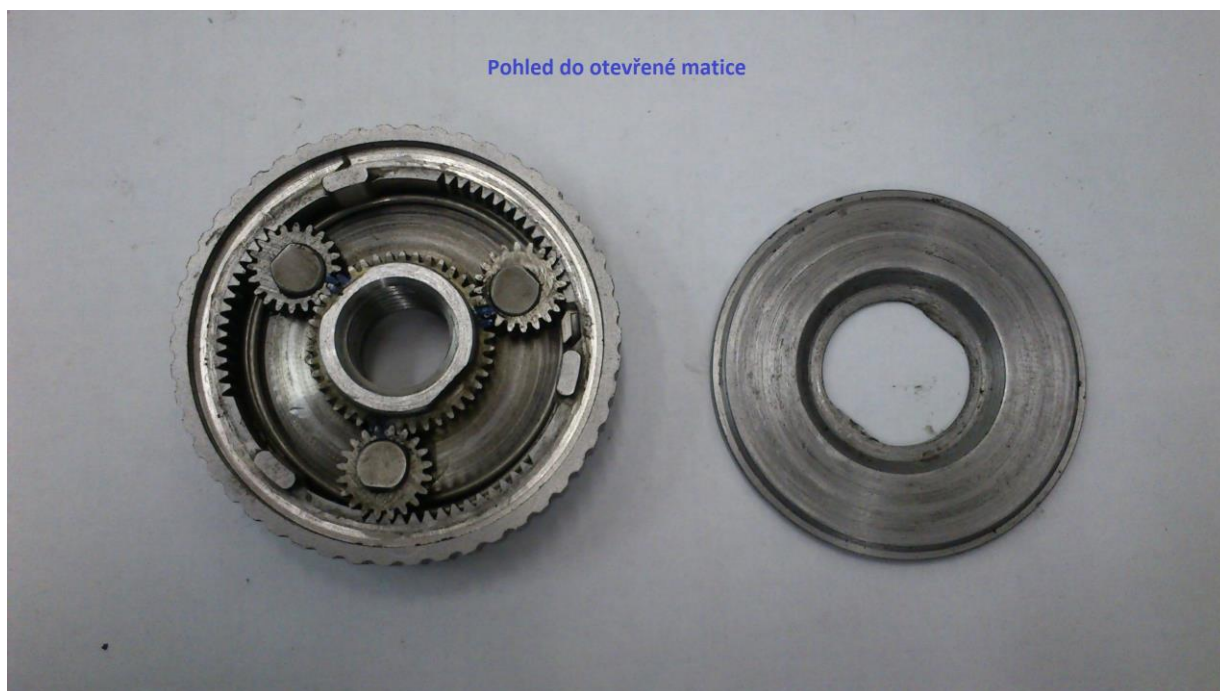


Nejtěžším dílem po výrobní stránce byl zdánlivě lehce vyrobitelný rozpěrný kámen. Výroba kamene proběhla drátořezem snadno, ale problémové bylo měření vyrobeného tvaru. Aby mechanismus fungoval správným způsobem, musely být povrchy rozpěrného kamene s kuželovým zhloubením (kámen také klouže po kuželu) a změřit takový tvar je poměrně obtížné.

Výroba ozubených satelitů proběhla též pomocí drátořezu, stejně jako i věnce. Přes drobnost vyráběných dílů, byly díly vyrobené čistě bez otřepů. Pevnost ozubení byla také dobrá a při montáži nebyl větší problém.

Spodní díl a přítlačný talíř byly vyrobeny na soustruhu. Spodní díl byl potom svařen se středovou částí matice.

Na dalším obrázku je vidět složenou matici s odloženým přitlačným talířem. Pod satelity je vidět zkrutná pružina a je i vidět jak „vylézá“ z určité drážky. Tím se potom při otáčení dostávala mezi satelit a spodní kuželovou plochu. To pak způsobovalo její deformaci a následné porušení kruhového tvaru. Také to samozřejmě zabraňovalo satelitům ve správném odvalování a výsledkem bylo zadření mechanismu.



Zde je vidět vyrobená matice ze spodní strany a technologický svar.



A pohled zvrchu na přítlačný kotouč zajištěný pojistným kroužkem. Tento kotouč přitlačuje brusný kotouč na vřeteno brusky.



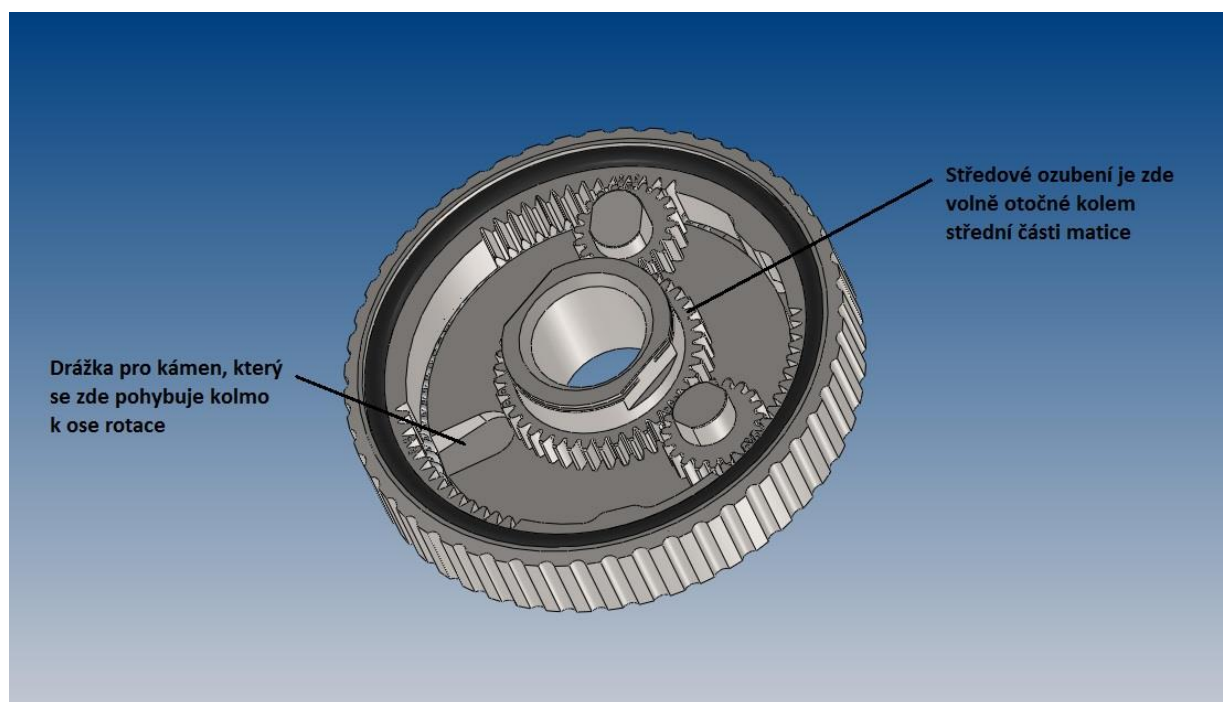
Vyrobeno bylo pět kusů matice. Bohužel při zkoušení vyrobených vzorků se ukázalo, že matice nefunguje dle předpokladů. Při dotažení matice na provozní utahovací moment docházelo k zaseknutí mechanismu a následné povolání bylo možné až s použitím povolovacího klíče. Tato nefunkčnost matice byla dána velkým zatížením styčných ploch rozpěrných klínek. Mechanismus se následně „zakousl“ a matice nešla odlehčit a povolit předpokládaným způsobem. Ukázalo se, že zatížení mechanismu je takové, že je tím jeho funkčnost znemožněna.

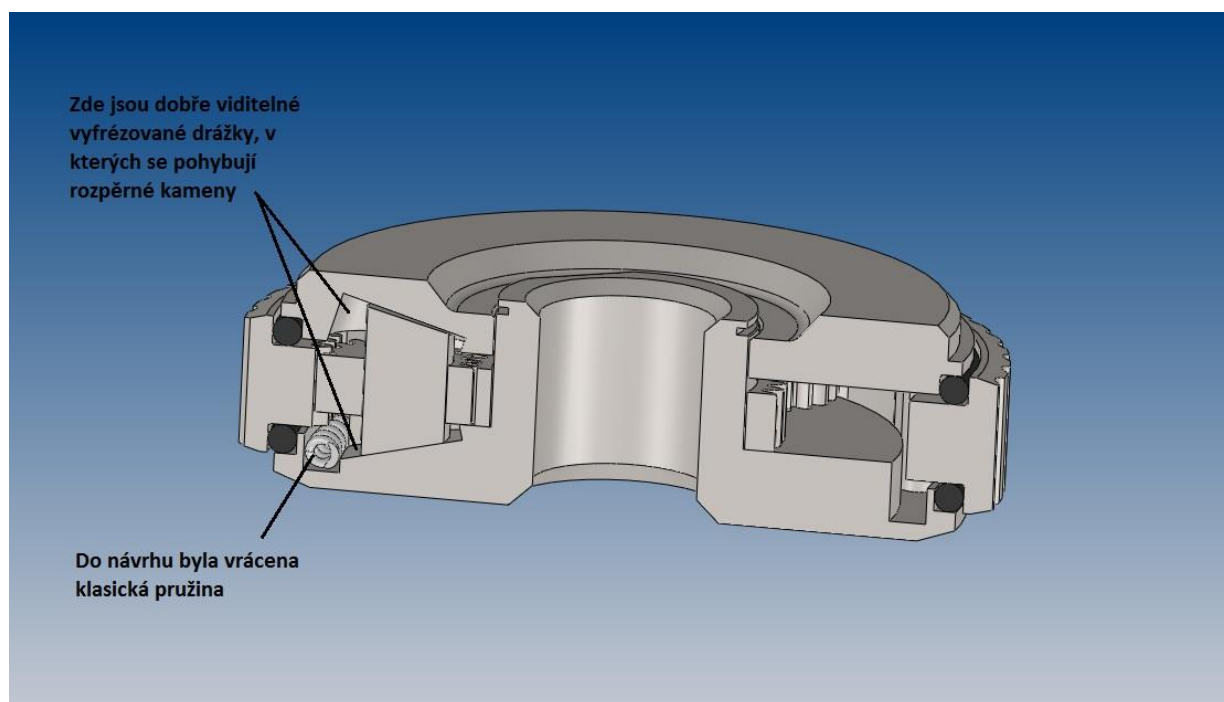
5.2 Návrh dalších úprav

Při dalším zkoumání fungování mechanismu bylo zjištěno, že pointa povolení mechanismu byla chybná ve způsobu odvalení rozpěrného kolíčku. Z principu fungování mechanismu vyplývá, že kolíček se pohybuje po cykloidě, která je v prvopočátku tečná na vrstevnici rozpěrných kuželů. Z toho plyne, že kolíček poměrně dlouhou dobu musí cestovat v plném zatížení, než začne vyjíždět ze záběru a odlehčovat mechanismus. To je samozřejmě nevhodné, ideální je směr kolíčku sladit se směrem odlehčení, tzn. aby rozpěrný kolíček nevyjížděl ze záběru po šroubovici, ale kolmo k ose otáčení. To by bylo mnohem lepší pro schopnost uvolnit mechanismus při zatíženém stavu.

Technici vzali dva střední díly matice a z jednoho odsoustružili ozubení a z druhého střed. Tím vznikly dva díly, při kterém byl středový věnec s ozubením volně otočný. Tím pádem při povolování nebyly satelity nuceny dodržet cykloidní dráhu a mohly vyjet ze záběru kolmo k ose rotace. To pomohlo v první fázi zataženého mechanismu k jeho uvolnění a matice šla lehce povolit. Samozřejmě díky otočnému střednímu ozubení, nebyl mechanismus funkční a matice se nevrátila do počátečního stavu. Byl to jakýsi jednofunkční mechanismus, který ale potvrdil hypotézu možného zlepšení.

Na tomto základě byl vypracován další model matice. Ten již nebyl výrobně realizován, ale pro úplnost jej zde uvádím také.





Kompletní 3D CAD model včetně výkresové dokumentace je součástí DVD přiloženého k bakalářské práci.

6. Ekonomická analýza

Ekonomická analýza se provádí pomocí detailního rozpisu materiálu a následným vyhodnocením nákladů na jejich výrobu. Rozpis dílů a materiálu vypadá dle následující tabulky:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1			Rozpis materiálu rychloupínací matice Tmi-1-01							
2										
3	Č.položky	Č.dílu	Název dílu	Materiál	Hmotn. [Kg]	Mn. [ks]				
4	1	Tmi-1-01-01	Vnější příruba	12 060	0,0502	1				
5	2	Tmi-1-01-02	Vnitřní ozubení	12 060	0,0168	1				
6	3	Tmi-1-01-03	Satelit	12 060	0,0015	3				
7	4	Tmi-1-01-04	Rozpěrný kámen	12 060	0,0150	3				
8	5	Tmi-1-01-05	Vnitřní příruba	12 060	0,0251	1				
9	6	Tmi-1-01-06	Obvodové kolo	12 060	0,0395	1				
10	7	Tmi-1-01-07	Pružina	10 270-1 DH	0,0035	1				
11	8	Tmi-1-01-08	Těsnění	62 22 16.07	0,0025	2				
12	9	Tmi-1-01-09	Pojistný kroužek	12 090	0,0003	1				
13										

Rychloupínací matice TMI-1-01



Kalkulační pracovník, v našem případě paní Ing. Vlčková, potom dle svých zkušeností nacenila každý díl. Nacenění vychází ze zkušeností a směrodatné je využití výrobních technologií a náročnost výrobních tolerancí.

Kalkulace Výrobních nákladů

Č.položky	Název dílu	Mn. [ks]	Materiál	MGK	FK	HK	riziko	HK+riziko	technologie
1	Vnější příruba	1	12,50 Kč	0,94 Kč	58,60 Kč	72,04 Kč	10%	79,24 Kč	obrábění
2	Vnitřní ozubení	1	7,38 Kč	0,55 Kč	14,00 Kč	21,93 Kč	20%	26,32 Kč	obrábění
3	Satelit	3	1,37 Kč	0,10 Kč		1,47 Kč	10%	1,61 Kč	sintr
4	Rozpěrný kámen	3	6,68 Kč	0,50 Kč		7,18 Kč	200%	21,53 Kč	sintr
5	Vnitřní příruba	1	10,65 Kč	0,80 Kč		11,44 Kč	0%	11,44 Kč	tváření/sintr
6	Obvodové kolo	1	16,31 Kč	1,22 Kč		17,53 Kč	0%	17,53 Kč	sintr
7	Pružina	1	1,75 Kč	0,13 Kč		1,88 Kč	0%	1,88 Kč	norm/spec.díl
8	Těsnění	2	0,50 Kč	0,04 Kč		0,54 Kč	0%	0,54 Kč	norm/spec.díl
9	Pojistný kroužek	1	0,25 Kč	0,02 Kč		0,27 Kč	0%	0,27 Kč	norm/spec.díl

134,28 Kč

160,37 Kč

V neposlední řadě se také provede kalkulace nákladů na nástroje a tím na možné investice do výroby. Ke každému dílu je přičtena cena za výrobu formy, za materiál a také riziko, které nese výroba v podobě problémů s dodržáním výrobních tolerancí. Například u rozpěrného kolíčku je vidět v následující tabulce riziko 200%. To vyplývá z velmi těžkého měření správného tvaru vyrobeného dílu. Díl má na koncích kuželové zahhloubení a je nutné, aby byla dodržena nejen jeho délka, ale i tvar. Měření správnosti takového dílu je poměrně složité a nutnost kontrolovat každý kus výrobu prodražuje.

Kalkulace nákladů na nástroje (investice)				
Č.položky	Název dílu	Nástroje	riziko	WK+riziko
1	Vnější příruba	2 000 Kč	0%	2 000 Kč
2	Vnitřní ozubení	3 500 Kč	0%	3 500 Kč
3	Satelit	130 000 Kč	15%	149 500 Kč
4	Rozpěrný kámen	150 000 Kč	200%	450 000 Kč
5	Vnitřní příruba	100 000 Kč	10%	110 000 Kč
6	Obvodové kolo	130 000 Kč	15%	149 500 Kč
7	Pružina			
8	Těsnění			
9	Pojistný kroužek			
		515 500 Kč		864 500 Kč

Cena mechanické upínací matice se pohybuje na trhu kolem 750,-Kč. Cena vyrobené matice podle našeho návrhu je mezi 135,- až 160,-Kč, což by při realizaci výroby takovéto matice byla pravděpodobně konkurence schopná cena.

Závěr

Ve firmě Protool zkoušejí vyvinout novou matici již několik let a prototypových matic různých principů bylo vyrobeno více (možná i deset různých typů). Naše nové řešení je originálním příspěvkem po stránce funkčního mechanismu a může dát nový náhled dalšímu vývoji. A nejen po stránce mechanické, ale i po funkční stránce může být přínosem. Mechanismus byl totiž vyroben jako reálný prototyp a jednotlivé prvky byly podrobeny funkčnímu testu. Výsledky zkoušek potom mohly dát všem náhled na funkční možnosti vyráběných dílů a jejich použitelnost nejen v matici, ale i v jiných nářadích, které firma Protool vyrábí.

Seznam použité literatury

- 1/ Prof. Ing. Lubomír Pešík, CSc. : Části strojů: Stručný přehled 2. díl, Liberec 2006
- 2/ Doc. Ing. František Drastík, CSc. a kol.: Strojnická příručka: Vývoj, výpočty, konstrukce, technologie, výroba
- 3/ Ing. Zdeněk Bradský, CSc., Doc. Ing. Václav Jáč, CSc. : Mechanika II. Kinematika, Liberec 1986
- 4/ Doc. Ing. Jaroslav Charvát CSc. : Syntéza mechanismů I. část, Liberec 1973
- 5/ Prof. Ing. František Boháček, DrSc. : Části a mechanismy strojů III - Převody
- 6/ <http://cs.wikipedia.org/wiki/Flexa> - hledáno v listopadu 2012

Seznam příloh

- 1/ Tištěná forma výkresové dokumentace k finální variantě rychloupínací matice
- 2/ Tištěný výpočet zkrutné pružiny
- 3/ DVD s 3D CAD modely všech tří verzí upínací matice vytvořený v programu SolidWorks v. 2012. Dále DVD obsahuje výkresovou dokumentaci ke všem verzím, zdrojový soubor pro výpočet pružiny v PTC MathCad v. 2012 a samotnou bakalářskou práci ve formátu pdf.