



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

NÁVRH A VYHODNOCENÍ VÝROBY GYROSKOPU

DESIGN AND EVALUATION OF GYROSCOPE PRODUCTION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Kryštof Horáček

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Milan Kalivoda

BRNO 2017

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	Kryštof Horáček
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce:	Ing. Milan Kalivoda
Akademický rok:	2016/17

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

Návrh a vyhodnocení výroby gyroskopu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Technicko–matematický rozbor přístrojového zařízení i s uvedením historického vývoje. Sestavení technologických procesů na základě znalostí strojového zařízení pro náročnou výrobu a vlastností materiálů pro přesné přístroje. Začlenění potřebných měřicích a kontrolních metod.

Cíle bakalářské práce:

1. Teoretický podklad včetně matematického pojetí.
2. Návrh možných variant výroby.
3. Vyhodnocení výroby.
4. Diskuze výsledků.

Seznam doporučené literatury:

HUMÁR, Anton. Materiály pro řezné nástroje. 1. vyd. Praha: MM publishing, s.r.o., 2008. 240 s. ISBN 978-80-254-2250-2.

FREMUNT, Přemysl, Jiří KREJČÍK a Tomáš PODRÁBSKÝ. Nástrojové oceli. 1. vyd. Brno: Dům techniky Brno, 1994. 234 s.

FREMUNT, Přemysl a Tomáš PODRÁBSKÝ. Konstrukční oceli. 1. vyd. Brno: CERM, s.r.o., 1996. 262 s. ISBN 80-85867-95-8.

ZEMČÍK, Oskar. Nástroje a přípravky pro obrábění. 1. vyd. Brno: CERM, s.r.o., 2003. 193 s. ISBN 80-214-2336-6.

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

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

LEINVEBER, Jan, Jaroslav ŘASA a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky. 3. vyd. Praha: Scientia, s.r.o., 2000. 986 s. ISBN 80-7183-164-6.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem a vyhodnocením výroby gyroskopu sloužícího jako učební pomůcka. Na základě vyhotoveného trojrozměrného modelu je zde představen kompletní výrobní návrh, a to včetně kompletní výkresové dokumentace. Koncept výroby je proveden, tzv. po částech, kdy pro každou samostatnou část gyroskopu je vyhotoven rámcový návrh výroby. Teoretické i praktické aspekty jednotlivých výrobních postupů jsou důkladně diskutovány a následně podpořeny technicko-ekonomickým vyhodnocením s ohledem k výrobním možnostem malých až středně velkých dílen.

KLÍČOVÁ SLOVA

gyroskop, návrh výroby, třískové obrábění, výkresová dokumentace, technicko-ekonomické vyhodnocení

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with a design of a gyroscope and with an evaluation of its manufacturing process. Based on created three-dimensional model the entire design of the gyroscope is introduced including its complete drawing documentation. The concept of the device production is executed in a piecewise matter, where a frame design of the production is made for each individual part of the gyroscope. Theoretical and practical aspects of individual production processes are thoroughly discussed including the production cost calculations considering the manufacturing background of small to medium sized workshops.

KEYWORDS

gyroscope, production design, chip machining, drawing documentation, technical and economic evaluation

HORÁČEK, K. *Návrh a vyhodnocení výroby gyroskopu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 78 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Milan Kalivoda.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem svoji bakalářskou práci na téma *Návrh a vyhodnocení výroby gyroskopu* vypracoval samostatně pod dohledem vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu použité literatury na konci práce.

Brno

.....
(Podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Touto cestou bych chtěl vyjádřit vděk vedoucímu mé bakalářské práce, panu Ing. Milanu Kalivodovi, za podporu, cenné rady a pomoc během realizace této práce. Dále bych rád z celého srdce poděkoval celé mé rodině a všem nejbližším za bezmeznou podporu v průběhu mého studia. Děkuji, že jste!

OBSAH

Úvod.....	11
1 Teoretický podklad včetně matematického pojetí	12
1.1 Stručný historický vývoj gyroskopu.....	12
1.1.1 Historie do roku 1898.....	12
1.1.2 Historie po roce 1898.....	13
1.2 Matematický podklad.....	14
1.2.1 Precese.....	15
1.2.2 Nutace	16
1.3 Variace gyroskopů.....	17
1.2.1 Gyroskopy klasické konstrukce.....	17
1.2.3 HRG gyroskopy.....	17
1.2.4 VSG gyroskopy	18
1.2.5 DTG gyroskopy	18
1.2.6 Vlákňové gyroskopy.....	18
1.2.7 Laserové gyroskopy.....	18
1.4 Příklady aplikace gyroskopu	19
2 Návrh a vyhodnocení výroby gyroskopu	24
2.1 Návrh výroby	24
2.1.1 Použité obráběcí metody	25
2.1.2 Volba materiálu komponentů gyroskopu	27
2.1.2.1 Materiál rotoru.....	28
2.1.2.2 Materiál hřídele	29
2.1.2.3 Materiál obalové klece	30
2.1.2.4 Materiál ložiska a ložiskového šroubu.....	31
2.1.3 Volba nástrojového materiálu komponentů gyroskopu	33
2.1.3.1 Nástrojové materiály rotoru gyroskopu	36
2.1.3.2 Nástrojový materiál hřídele gyroskopu.....	39
2.1.3.3 Nástrojové materiály obalové klece gyroskopu	40
2.1.3.4 Nástrojové materiály ložiska a ložiskového šroubu gyroskopu	42
2.1.3 Návrh výroby rotoru gyroskopu	43
2.1.4 Návrh výroby hřídele gyroskopu	45
2.1.5 Návrh výroby obalové klece	47
2.1.6 Návrh výroby ložiska a ložiskového šroubu	49
2.2 Vyhodnocení výroby	53
2.2.1 Propočet strojního času	53
2.2.1.1 Propočet strojního času – Rotor gyroskopu	54
2.2.1.2 Propočet strojního času – Hřidel gyroskopu	55
2.2.1.3 Propočet strojního času – Obalové klece gyroskopu	56
2.2.1.4 Propočet strojního času – Ložisko gyroskopu.....	57
2.2.1.5 Propočet strojního času – Ložiskového šroubu gyroskopu	58
2.2.2 Výpočet normy spotřeba materiálu	59
2.2.2.1 Spotřeba materiálu – Rotor gyroskopu	60
2.2.2.2 Spotřeba materiálu – Hřidel gyroskopu.....	61
2.2.2.3 Spotřeba materiálu – Obalové klece gyroskopu.....	62
2.2.2.4 Spotřeba materiálu – Ložiska gyroskopu	63
2.2.2.5 Spotřeba materiálu – Ložiskového šroubu gyroskopu	64
2.2.3 Výpočet trvanlivosti řezných nástrojů.....	65

2.2.4 Výpočet spotřeby energií.....	66
2.2.4.1 Spotřeba elektrické energie – Stolní soustruh BERNARDO.....	67
2.2.4.2 Spotřeba elektrické energie – Vrtačko-frézka BERNARDO.....	68
2.2.5 Celkové výrobní náklady	68
3 Diskuse.....	70
3.1 Značení polotovarů	70
3.2 Polotovar obalové klece	70
3.3 Přídatky na obrábění	70
3.4 Spojování součástí.....	70
3.5 Trvanlivost řezných nástrojů	71
Závěr	72
Restřík zdrojů	73
Seznam zkratk a symbolů	76
Seznam příloh	78

ÚVOD

Gyroskop je veskrze jednoduchý přístroj, jehož konstrukce je tvořena pouze čtyřmi komponenty, a to rotorem, hřídelí, obalovou klecí a kluznými ložisky. Jeho přínos pro každodenní činnost člověka je ovšem až překvapivě důležitý. Využití gyroskopu se prolíná mnoha odvětvími technické, potažmo vědecké praxe. Vyskytuje se v podstatě na každém kroku, například v mobilních telefonech, kamerových držácích, letadlech, zaoceánských lodích, měřicí technice, ale i na umělých družicích na orbitu Země.

Celá idea zaměření a vzniku této bakalářské práce vznikla už dlouho před nástupem na Fakultu strojního inženýrství VUT v Brně. Za počáteční impuls lze považovat malý projekt, který vznikl ještě v době, navštěvování všeobecného gymnázia. Fascinace gyroskopy přerostla až v pokus o sestrojení vlastního zařízení tohoto typu. Jednalo se o velice jednoduchý gyroskop vyrobený převážně ze dřeva. I přes veškerou snahu bohužel sestrojený dřevěný gyroskop nefungoval správně. Proto bylo využito možnosti vypracování návrhu výroby gyroskopu jako téma bakalářské práce.

Hlavním tématem této bakalářská práce je problematika návrhu a následného vyhodnocení výroby gyroskopu. Navrhovaný gyroskop by měl následně sloužit jako učební pomůcka pro prezentaci gyroskopických jevů.

V první části práce je detailně rozebrána funkce gyroskopu jako zařízení, a to se všemi jeho podstatnými aspekty. Jako podklad pro další řešení bakalářské práce byla rovněž vypracována rešeršní studie zabývající se tematikou historie, vývoje a možnostmi použití gyroskopu. Nedílnou součástí rešerše je i podrobný matematický popis gyroskopický jevů, které je možno při práci s ním pozorovat.

Druhá část práce se už zaměřuje čistě na onen návrh výroby a její následné technicko-ekonomické zhodnocení. Celý návrh výroby je koncipován jako kroková příprava výroby, to znamená, že v několika krocích (volba konstrukčního materiálu, volba rezných nástrojů, rámcové návrhy výroby, atd.) je popsán celý výrobní postup. Finální vyhodnocení výroby je provedeno pomocí příslušných technologických vztahů, jedná se tedy o formu výpočtového protokolu. Za použití těchto výpočtových vztahů jsou určeny celkové výrobní náklady celé série (1000 kusů) a také výrobní cena jednoho navrhovaného gyroskopu.

V neposlední řadě práce obsahuje vyhotovený 3D model gyroskopu a kompletní výkresovou dokumentaci. Tento model slouží jako vizualizace návrhu výroby a také jako referenční materiál pro vyhodnocení navržených výrobních postupů.

1 TEORETICKÝ PODKLAD VČETNĚ MATEMATICKÉHO POJETÍ

Gyroskop je zařízení, které se v českém jazyce označuje jako setrvačnick, přesněji se tedy jedná o hmotný rotor (nejčastěji disk) otáčející se kolem vlastní osy. Tuto osu v praxi reprezentuje hřídel uložena pomocí kluzných ložisek v obalové kleci. Při rotaci setrvačnicku, který má vlastní moment setrvačnosti, není osa ovlivněna natáčením obalové klece. Udrží si tak neustále svoji orientaci v prostoru. Tento jev se nazývá gyroskopický efekt. Z tohoto důvodu jsou gyroskopy využívány při měřicích činnostech nebo v případech, kdy je potřeba udržet konstantní orientaci tělesa [1; 2].



Obr. 1.1: Autorem sestrojený dřevěný gyroskop

1.1 Stručný historický vývoj gyroskopu

Vývoj gyroskopu, potažmo jeho historii, lze v podstatě rozdělit na dvě části. Část první, a to historie do roku 1898, kdy docházelo k postupnému objevování vlastností, možností použití a teoretického popisu přístroje. Druhou částí je pak období po roce 1898 až do současnosti. Tato éra se nese v duchu neustálé modernizace gyroskopů, a jejich rozmanité aplikace.

1.1.1 Historie do roku 1898

První historická zmínka o předmětu podobném gyroskopu, v té době spíše jen jednoduchém setrvačnicku, pochází z antického Řecka. Jednalo se o jednoduchou, lidově řečeno, káču, která sloužila hlavně k zábavě společnosti.

Větší výzkum gyroskopického efektu započal až v polovině 18. století, kdy anglický vědec a lodní kapitán John Serson hledal možnosti zdokonalení navigačního sextantu. Celý jeho výzkum a jím vytvořené zařízení simulující námořní horizont (tzv. umělý horizont) byly ztraceny při zkáze lodi HMS Victory v roce 1744 [3].

Opravdu první gyroskop, tak jak je známý dnes, sestrojil ve 20. letech 19. století německý profesor fyziky a astronomie Johann G. F. von Bohnenberger. V době jeho bádání ještě název “Gyroskop“ neexistoval, pojmenoval tedy svůj výtvar jménem “Zařízení“. Odlišností von Bohnenbergerova návrhu oproti klasickému modelu byl fakt, že rotor netvoří disk, nýbrž hmotná koule (Obr. 1.2). Jako první také vyslovil pojem gyroskopický efekt.

Své jméno získal gyroskop až v roce 1852, kdy vědec francouzského původu Jean Bernard Léon Foucault spojil dvě slova řeckého původu “Gyros“ (rotovat) a “Skopein“ (spatřovat). Tento název vznikl na základě jeho výzkumu, který se zabýval rotací planety Země [4].



Obr. 1.2: Model von Bohnenbergerova gyroskopu [4].

1.1.2 Historie po roce 1898

Od Foucaultova bádání v roce 1852 upadl gyroskop na skoro 50 let v zapomnění. Až v roce 1898 nastal velký skok v jeho vývoji. Inženýr rakouského námořnictva Ludwig Obry si nechal patentovat řídicí mechanismus pro torpéda (Obr. 1.3). Jednalo se o zařízení fungující na principu gyroskopu s bronzovým rotorem poháněným proudem stlačeného vzduchu uvnitř torpéda.



Obr. 1.3: Řídicí mechanismus torpéda [4].

Počátek 20. století byl pro rozšíření možností využití gyroskopu obecně plodným obdobím. O rozmach se největší měrou postarali dva vynálezci, Němec Hermann Anschütz-Kaempfe a Američan Elmer A. Sperry. I když oba tito muži pracovali nezávisle na sobě, je jejich výzkum v mnoha ohledech velice podobný [4]. Význam práce, kterou se zabývali v oboru letecké a lodní navigace, je neocenitelný.

Anschütz-Kaempfe, jakožto ponorkový navigátor, zaměřil svoji práci na oblast námořní navigace. V roce 1904 si nechal patentovat gyrokompas [4], přístroj sloužící k udržování severu při námořní plavbě. O čtyři roky později byl gyrokompas úspěšně uveden do praxe. Dalším jeho patentovaným přístrojem založeným na principu gyroskopu byl automatický kormidelník, tzv. lodní autopilot. Ten byl představen a uveden do provozu roku 1916.

Druhý jmenovaný, Elmer A. Sperry, se ve své objevitelské činnosti zabýval hlavně problematikou letecké navigace, ale krátce si odskočil i do oblasti lodní dopravy. Zde se zaměřil na potřebu eliminace náklonu lodí způsobeného vlnobitím na trup lodi. Výsledky práce na tomto problému představil v roce 1915, kdy instaloval prototyp stop-roll systému do prvních námořních plavidel. Ovšem jeho nejzásadnějším vynálezem byl o šest let dříve představený letecký autopilot. Tento vynález výrazně předběhl svou dobu a v dějinách letectví se řadí na úroveň samotného objevu profilovaného křídla bratří Wrightů.

První a druhá světová válka zafungovala jako obrovský katalyzátor technického vývoje napříč všemi obory, včetně gyroskopu. V průběhu poválečných let procházel gyroskop řadou významných proměn a inovací. Bylo vyvinuto velké množství přístrojů (variací gyroskopu), které se rychle rozšířily do mnoha oblastí technické praxe [3; 4].

1.2 Matematický podklad

Jednou ze základních vlastností rotujících těles je snaha dostat se do polohy, kdy je tato rotace nejméně energeticky náročná. K popisu tohoto stavu slouží veličina nazývaná **moment setrvačnosti**. Ten je popsán vztahem:

$$J = \int r^2 * dm \text{ [kg * m}^2\text{]}, \quad (1.1)$$

kde r je vzdálenost elementu hmotnosti dm od osy otáčení. Právě když je moment setrvačnosti největší, tak se těleso nachází v oné poloze nejmenší náročnosti rotace [5]. Schopnost samovolného nalezení této polohy, potažmo schopnost se do této polohy při vychýlení samovolně vrátit, se u gyroskopu nazývá **gyroskopický efekt**.

Aby bylo možné přesně vysvětlit, co to je gyroskopický moment, je nutné přesněji definovat moment setrvačnosti. U těles v trojrozměrném prostoru je nezbytné, aby byl popis momentu setrvačnosti vztahen ke všem definovaným osám. Z tohoto důvodu se zavádí tzv. **tenzor setrvačnosti**. Jedná se o diagonálně symetrický tenzor, který se skládá z momentů setrvačnosti J_x, J_y, J_z vzhledem k osám x, y a z , a z deviačních momentů setrvačnosti J_{xy}, J_{yz}, J_{zx} odpovídajícím vždy kombinaci dvou os.

$$\mathbb{I} = \begin{pmatrix} J_x & J_{xy} & J_{xz} \\ J_{yx} & J_y & J_{yz} \\ J_{zx} & J_{zy} & J_z \end{pmatrix} \quad (1.2)$$

Tenzor momentu setrvačnosti je důležitý pro výpočet další veličiny nezbytně nutné pro určení gyroskopického momentu. Touto veličinou je **moment hybnosti**. Moment hybnosti popisuje rotační pohyb tělesa, ve starší literatuře je často označován názvem točivost, a je vyjádřen vztahem:

$$\vec{L} = \mathbb{I} * \vec{\omega} [kg * m^2 * s^{-1}], \quad (1.3)$$

kde \mathbb{I} zastupuje tenzor momentu setrvačnosti a ω okamžitou úhlovou rychlost rotace rotoru gyroskopu.

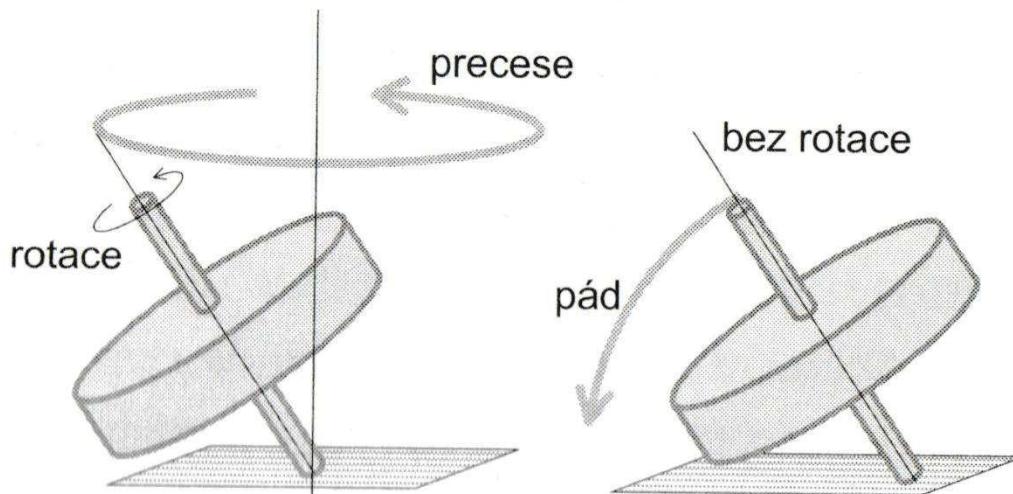
Samotný **gyroskopický moment** je zdánlivý silový moment (kinetická reakce), jímž se gyroskop brání změně své rotace. Je popsán vztahem:

$$\vec{M}_s = -\vec{\Omega} \times \vec{L} [N * m], \quad (1.4)$$

zde L značí moment hybnosti rotoru a Ω značí celkovou úhlovou rychlost gyroskopu. Gyroskopický moment je vždy kolmý na moment hybnosti rotoru i ke směru změny její polohy. Přístroje, které využívají kinetické reakce setrvačnicku při změně osy její rotace, jsou většinou symetrické setrvačnicku, které se nazývají gyroskopy [2; 5; 6].

1.2.1 Precese

Jestliže je gyroskop s nakloněnou osou rotace dostatečně rychle roztočen, tak díky této rotaci zůstane neovlivněn v původní pozici. Bez problémů odolává působení vnějších sil, např. tíhové síle. Tato vlastnost se nazývá gyroskopický efekt. Na rozdíl od tělesa bez rotace, které vnějším silám odolávat nedokáže a dochází u něj k překlopení a dotyku s podložkou. Pohyb v prostoru, při němž osa započne opisovat kuželovou plochu kolem vertikální osy, se nazývá precese.

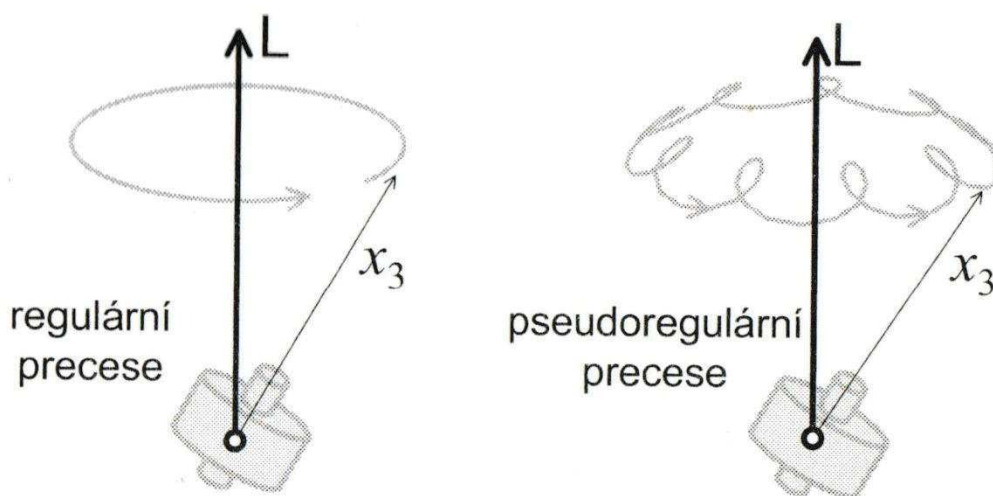


Obr. 1.4: Schématické znázornění precese [5].

Zmíněná precese gyroskopu ovšem není obecně rovnoměrná, nýbrž se dá rozdělit na dvě složky. První složkou je samotná precese a druhou je nutace. Přesněji se tedy jedná o pseudoregulární precese neboli pohyb osy rotace po neuzavřené kvaziperiodické křivce [5].

1.2.2 Nutace

Nutace je periodický parazitní jev, který způsobuje odchylky od rovnoměrné precese. Díky její existenci nedochází k opisování kruhové trajektorie na vrcholu kuželové plochy, ale k opisování trajektorie nutně zdeformované výkmity nutace. Nutace působí na tečnách k trajektorii precese, kolmo na vertikální osu precese [5].



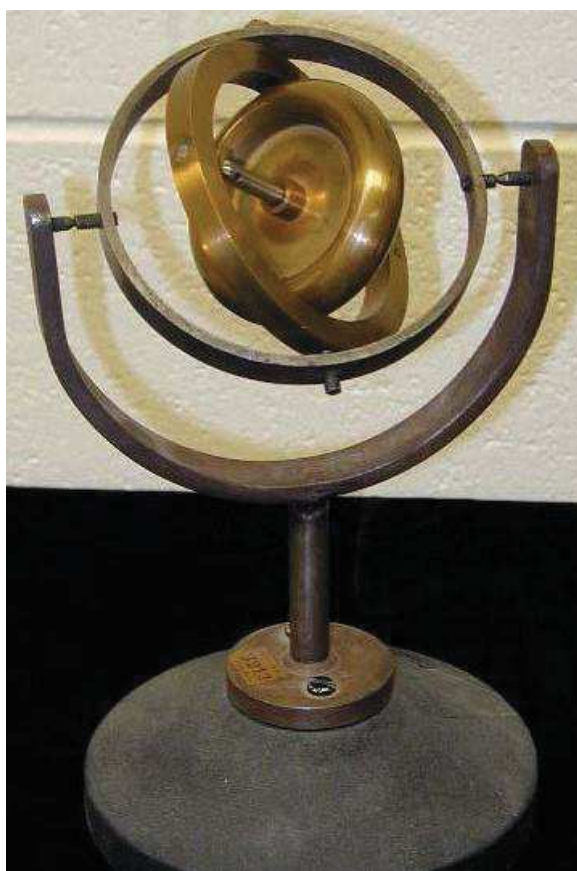
Obr. 1.5: Porovnání regulární a pseudoregulární precese [5].

1.3 Variace gyroskopů

Většina moderních variací gyroskopu jsou měřicí zařízení. Tyto gyroskopy se klasickým Foucaultovským podobají už jen pramálo. Jelikož ale pracují na stejném či velice podobném principu, používá se pro jejich označení také název gyroskop.

1.2.1 Gyroskopy klasické konstrukce

Jedná se o gyroskop skládající se pouze ze tří hlavních komponentů (rotor, hřídel a obalová klec). Konstrukce této variace se od počátku 20. století prakticky nezměnila. Její velkou výhodou je jednoduchá konstrukce a poměrně dobrá odolnost vůči vnějším vlivům. Podle způsobu uložení je možné tuto variaci dále rozdělit na jednostupňové, dvoustupňové a třístupňové gyroskopy (podle stupňů volnosti, ve kterých se gyroskop může volně pohybovat). Nejužívanějším způsobem uložení je Cardanův závěs (třístupňové uložení), viz obr. 1.6 [4;5].



Obr. 1.6: Gyroskop klasické konstrukce uložený v Cardanově závěsu [4].

1.2.3 HRG gyroskopy

Polokulový rezonanční gyroskop (anglicky *Hemispherical Resonator Gyroscope* – HRG) slouží, ostatně jako většina gyroskopů, k měření orientace tělesa v prostoru. Svoji konstrukcí se podobá sklenici na víno nebo houbě. Jedná se o rezonanční dutou polokouli, která je uložena na masivní stopce. Ve stopce se nacházejí piezoelektrické snímače, přičemž ty měří změny rezonance v závislosti na orientaci polokoule vzhledem k počáteční poloze. Gyroskopický efekt zde vzniká v důsledku setrvačnosti stojatých vln. Jelikož tento měřicí gyroskop neobsahuje žádné

pohyblivé části, vyznačuje se velmi dlouhou životností a velkou přesností. Těchto vlastností se hojně využívá například v leteckém nebo vesmírně-výzkumném provozu [7].



Obr. 1.7: HRG rezonanční snímač [7].

1.2.4 VSG gyroskopy

Gyroskopy vibrační konstrukce (*Vibrating Structure Gyroscope* - VSG) jsou dalším typem rezonančních gyroskopů, které slouží k měření úhlové rychlosti. Někdy jsou též nazývány Coriolisovy vibrační gyroskopy. Hlavním prvkem zařízení je rezonátor vidlicového tvaru vyrobený z rozličných kovových slitin. Rotací vibrující vidlice vzniká na jejím konci Coriolisova síla, která má za následek vznik kroutícího momentu. Velikost tohoto momentu je přímo úměrná velikosti úhlové rychlosti, se kterou zařízení rotuje [8].

1.2.5 DTG gyroskopy

Dynamicky nastavitelné gyroskopy (*Dynamically Tuned Gyroscope* – DTG) jsou gyroskopy opatřené speciálním kloubem s ohybovými čepy. Tuhost čepů, potažmo celého kloubu závisí na rychlosti rotace rotoru gyroskopu. Tato rychlost je plně nastavitelná, proto tedy dynamicky nastavitelné gyroskopy. Při dosažení specifické rychlosti, která se nazývá rychlost ladění, překoná gyroskopický moment rotace tuhost kloubu a zařízení se začne chovat jako klasický gyroskop. Udržuje tedy svoji stabilní pozici v prostoru. Této vlastnosti je hojně využíváno ve stíhacích a bezpilotních letounech [9].

1.2.6 Vlákňové gyroskopy

Jedná se o měřicí zařízení, která byla zkonstruována za účelem měření náklonů součástí. Náklon je zde měřen pomocí úhlové rychlosti. Stejně jako většina optických měřicích zařízení jsou i vlákňové optické gyroskopy založeny na Sagnacově efektu. Ten pro zjištění úhlové rychlosti používá porovnání časů oběhů dvou paprsků světla procházejících vláknem uzavřené smyčky. Paprsky se pohybují po kruhové smyčce, jeden po směru hodinových ručiček a druhý v protisměru. Úhlová rychlost je následně určena z rozdílů časů oběhů paprsků [10].

1.2.7 Laserové gyroskopy

Obloukový laserový gyroskop je další optický měřicí přístroj založený na Sagnacově efektu. Náklon se zde stejně jako u vlákňových gyroskopů měří pomocí úhlové rychlosti. Ta je zjišťována pomocí měření rozdílů frekvencí dvou proti sobě se pohybujících laserových paprsků. Trajektorie, kterou lasery překonávají, má čtvercový tvar [11].

1.4 Příklady aplikace gyroskopu

Možnosti aplikace gyroskopu a zařízení na gyroskopu založených se v průběhu 20. a 21. století se rozrostly do nevídaných velikostí. Dopomohla tomu především modernizace a technologický vývoj, jdoucí ruku v ruce s trendem minimalizace velikosti těchto zařízení. V současnosti lze na zařízení obsahující gyroskop narazit prakticky denně.

- **Gyrokompas** – Nemagnetický druh kompasu, který je převážně používán na lodích k určování geografického směru. Princip gyrokompasu je založen na gyroskopickém efektu, který je vytvářen gyroskopem ukrytým uvnitř zařízení, a na rotaci Země. Díky tomu je schopen automaticky udržovat svoji polohu vzhledem k Zemi a z té určovat geografický směr. Největší výhodou gyrokompasu oproti magnetickému kompasu je to, že nefunguje na principu magnetické přitažlivosti, tudíž jej nelze ovlivňovat feromagnetickými materiály [5; 12; 13].



Obr. 1.8: Historický gyrokompas [13].

- **Umělý horizont** – Jedná se o aplikaci gyroskopu, která se jen nepatrně liší od gyrokompasu. Gyroskop uvnitř umělého horizontu je uložen ve dvoustupňovém závěsu, přičemž jeho stabilní osa je ztotožněna s reálným horizontem. Přístroj tak dokáže v reálném čase ukazovat náklon pohybujícího se letadla vzhledem k horizontu [12; 13].



Obr. 1.9: Detail útrob umělého horizontu [15].

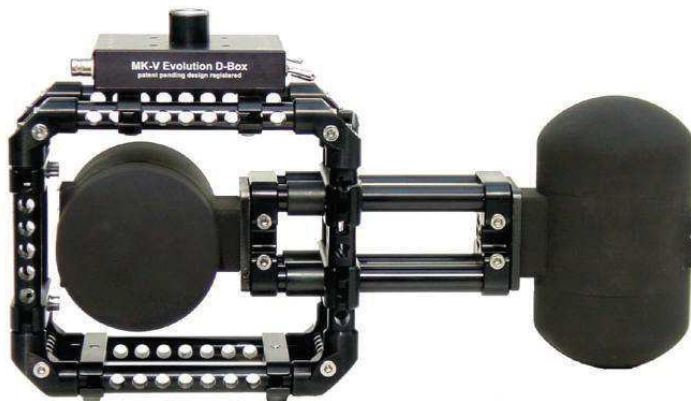
- **Segway a Hoverboard** – Tato dvě zařízení jsou moderní dopravní prostředky, které slouží k pohybu po městě, či v lehkém terénu. Jedná se o dvoukolá jednomístná vozítka ovládaná pouze náklony a pohyby pasažéra. Tyto náklony a pohyby jsou snímány pomocí měřicích zařízení (snímačů) založených na principu gyroskopu, přesněji laserovými a VSG gyroskopy [14].



Obr. 1.10: Segway [14].

- **Steadicam** – Zařízení sloužící ke stabilizaci kamerových systémů, obsahující dva gyroskopy klasické konstrukce. Hlavní funkcí steadicamu je udržování

konstantní pozice kamery vzhledem k pohybu operátora, a zároveň slouží jako eliminátor otřesů vzniklých při jeho používání. K velké popularizaci došlo po použití při natáčení filmu Hvězdné války: Návrat Jediho. V této době ho lze najít v podstatě u každé filmové produkce, kde při natáčení supljuje pohled první osoby [15].



Obr. 1.11: Detail gyroskopů na zařízení Steadicam [15].

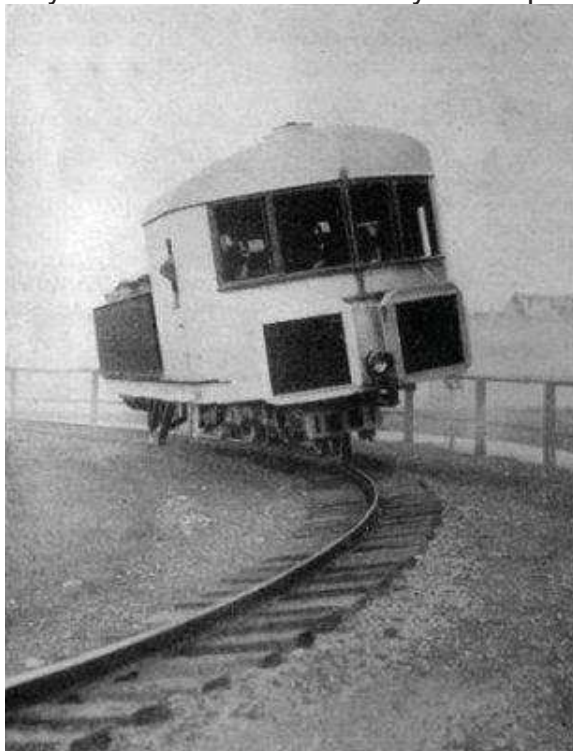
- **Powerball** – Posilovací přístroj rukou, který je založený na principu překonávání gyroskopického momentu. Tento přístroj byl navržen jako zařízení sloužící k posilování rukou a k prevenci proti onemocněním karpálního tunelu pro americké astronauty. Postupem času se rozšířil i mezi širokou veřejnost a dnes je nejčastěji prodáván pod obchodním názvem Powerball [5].



Obr. 1.12: Posilovací zařízení Poweball [5].

- **ISS a umělé družice Země** – Pro ISS a další umělé družice je nezbytně nutné, aby udržovaly svoje solární panely neustále natočené směrem ke Slunci. Slunce je totiž ve vesmíru jediným dostupným zdrojem elektrické energie. Například ISS využívá ke korekci pozice směrem ke Slunci čtveřici masivních gyroskopů klasické konstrukce. Nakloněním rotujícího gyroskopu lze gyroskopický moment, který svou rotací vyvíjejí, použít k naprosto přesnému posunutí či naklonění v daném směru [16].

- **Gyrocar a Gyromonorail** – Experimentální typy dopravních prostředků, které jsou svým vzhledem velice podobné motocyklům. Vertikální rovnováha je u nich udržována pomocí gyroskopického efektu. Ten je vytvářen pomocí jednoho masivního gyroskopu klasické konstrukce poháněným transmisními otáčkami přivedenými z motoru vozidla. Gyrocar je dvoukolý automobil představený v roce 1912. Navzdory zajímavému konstrukčnímu řešení nikdy nedošlo k jeho masivnímu rozšíření. Proto se už ve své době se jednalo spíše o automobilovou kuriozitu. Gyromonorail je jednostopé drážní vozidlo pohybující se pouze po jedné koleji. Tento koncept byl představen v roce 1903 irským vynálezcem Louisem Brennanem. Tento koncept se stejně jako Gyrocar neuchytil. Byl vytlačen klasickými dvoustopými drážními vozidly, ty byly upřednostněny z důvodu vyšší stability a menší náročnosti na výrobu a provoz [17].



Obr. 1.13: Gyromonorail na začátku 19. století [17].

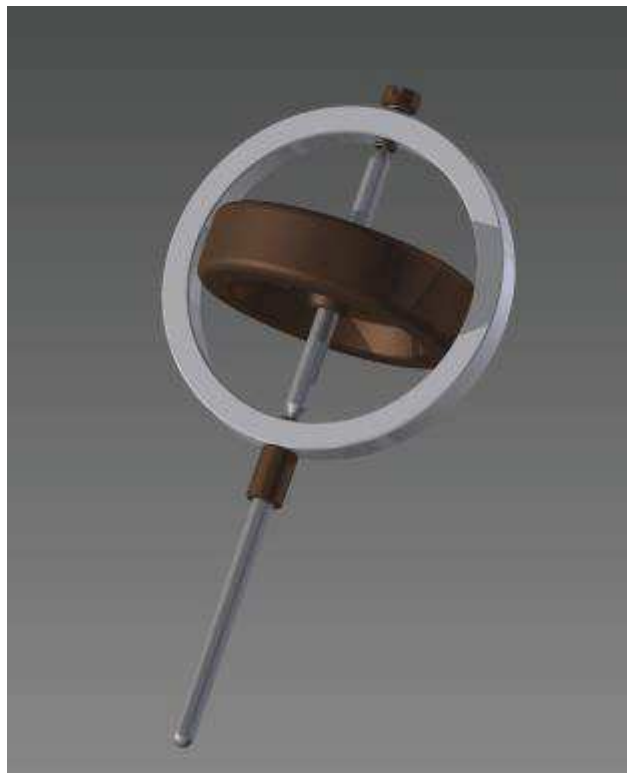
- **Lodní stabilizátor** – Jde o technickou aplikaci gyroskopu klasické konstrukce uloženého v jednostupňovém závěsu. Funkce stabilizátoru spočívá v eliminaci silového momentu vlnobití dopadajícího na trup lodi gyroskopickým momentem rotujícího rotoru stabilizátoru. Lodní stabilizátor je nejvíce rozšířený pod obchodním názvem Seakeeper [18; 19].



Obr. 1.14: Detail lodního stabilizátoru firmy Seakeeper [19].

2 NÁVRH A VYHODNOCENÍ VÝROBY GYROSKOPU

Návrh výroby gyroskopu a její následné vyhodnocení je hlavním tématem této bakalářské práce. Při jeho vypracování je postupováno v souladu se zavedenými technologickými metodami návrhu a výroby strojních součástí. Gyroskop, který slouží jako referenční model pro návrh výroby, je vytvořen v softvérovém programu *Autodesk Inventor Professional 2015*.



Obr. 2.1: Navržený model gyroskopu.

2.1 Návrh výroby

Navrhované zařízení je jednostupňový gyroskop. Jedná se o jednoduché zařízení, jehož primárním účelem je sloužit jako učební pomůcka. Od tohoto uplatnění se odvíjí i aspekty výroby.

Jednostupňový gyroskop je možné z hlediska výroby rozdělit na čtyři základní součásti (komponenty):

- Rotor – Nejdůležitější součást gyroskopu, setrvačnický vytvářející svou rotací gyroskopický moment a gyroskopický efekt. V porovnání se zbytkem komponentů se jedná o poměrně těžkou rotační součást.
- Hřídel – Tenká ocelová hřídel, která je nositelem rotoru. Slouží jako osa rotace rotoru gyroskopu.
- Obalová klec – Lehká, avšak pevná kovová konstrukce kruhového tvaru. Jejím hlavním účelem je držet celý gyroskop pohromadě.
- Ložisko a ložiskový šroub – Jedno pevné a druhé posuvné ložisko (ložiskový šroub), které umožňují rotační pohyb hřídele s rotorem v obalové kleci

gyroskopu. To celé prakticky bez tření. Do pevného ložiska lze ještě nasadit prodlužovací stopku.

Všechny součásti navrhovaného gyroskopu spadají svým způsobem obrábění do oblasti třískového obrábění. Třískové obrábění je technologie strojního obrábění, kdy se změna tvaru obráběné plochy realizuje odebíráním obráběného materiálu ve formě třísek. Tento úběr lze definovat jako interakci nástroje a obrobku za daných technologických podmínek. Celý tento proces je poháněn elektrickou energií, která je v obráběcí stroji přeměňována na energii mechanickou. Ta je následně spotřebovávána během obráběcího procesu [20].

Metody obrábění lze dále dělit podle charakteristických znaků na:

- Metody obrábění s definovanou geometrií nástroje – soustružení, frézování, vrtání, vystružování, zahlubování, vyvrtávání, obrážení, hoblování, protahování atd.
- Metody obrábění s nedefinovanou geometrií nástroje – broušení, honování, lapování, superfinišování atd. (dokončovací metody)
- Nekonvenční metody obrábění – elektroerozivní obrábění, chemické obrábění, obrábění ultrazvukem, obrábění elektronovým paprskem, obrábění vodním paprskem atd. (nejčastěji dělicí metody)
- Metody úpravy obrobených ploch – válečkování, hlazení, brokování, balotínování, leštění atd. [20].

2.1.1 Použité obráběcí metody

Pro výrobu součástí navrhovaného gyroskopu jsou použity následující výrobní metody. Tyto metody jsou voleny s ohledem na komplikovanost dané výroby, možnosti a vybavenost dané dílny. Snahou je rovněž, aby výroba byla co možná nejméně náročná, tudíž aby byla snadno opakovatelná a finančně nenáročná.

1. **Soustružení** slouží k výrobě rotačních součástí, kdy je obráběná plocha povětšinou obráběna jednobřitým nástrojem. Soustružením lze obrábět vnitřní či vnější rovinné, válcové, kuželové a tvarové plochy. Hlavním pohybem při soustružení je pohyb rotační, ten koná obrobek. Naopak nástroj koná přímočarý posuvný pohyb [21;22]. Základní kinematický popis soustružení, přesněji popis rychlostí této technologie obrábění, se vyjádří na základě matematických vztahů:

- Řezná rychlost:

$$v_c = \pi * D * n * 10^{-3} [m * min^{-1}], \quad (2.1)$$

kde D odpovídá průměru obráběné plochy [mm] a n jsou otáčky obrobku [min^{-1}] [23].

- Posuvová rychlost:

$$v_f = f * n [mm * min^{-1}], \quad (2.2)$$

kde f značí posuv nástroje na otáčku obrobku [mm] a n jsou otáčky obrobku [min^{-1}] [23].

- Celková rychlost řezného pohybu:

$$v_e = \sqrt{v_c^2 + v_f^2} = 10^{-3} * n * \sqrt{(\pi * D)^2 + f^2} [m * \text{min}^{-1}], \quad (2.3)$$

kde v_e je celková rychlost řezného pohybu [$m * \text{min}^{-1}$] [23].

2. **Frézování** je technologií třískového obrábění, kdy je materiál z obrobku oddělován pomocí břitů rotujícího nástroje. Řezný proces u frézování je přerušovaný, toto přerušování vzniká v důsledku časových prodlev mezi záběry jednotlivými zuby nástroje. Zuby nástroje oddělují krátké třísky proměnlivé tloušťky. Pro přesný kinematický popis frézování je nutné definovat tzv. posuv na zub f_z , což je délka dráhy, kterou urazí obrobek za dobu záběru jednoho zubu [21;22]. Celá kinematika lze následně vyjádřit matematickými vztahy:

- Řezná rychlost:

$$v_c = \pi * D * n * 10^{-3} [m * \text{min}^{-1}], \quad (2.4)$$

kde D je průměr obráběné plochy [mm] a n jsou otáčky frézovacího nástroje [min^{-1}] [23].

- Posuv na otáčku (délka dráhy, kterou absolvuje obrobek za dobu jedné otáčky nástroje):

$$f_n = f_z * z [mm], \quad (2.5)$$

kde f_n označuje posuv na jednu otáčku nástroje [mm], z označuje počet zubů (břitů) nástroje [-] [23].

- Posuvová rychlost:

$$v_f = f_n * n = f_z * z * n [mm * \text{min}^{-1}], \quad (2.6)$$

kde v_f opět zastupuje posuvovou rychlost [$mm * \text{min}^{-1}$], f_n označuje posuv na jednu otáčku nástroje [mm], n jsou stejně jako u řezné rychlosti otáčky nástroje [min^{-1}] a z zde zastupuje počet zubů (břitů) nástroje [-] [23].

- Celková rychlost řezného pohybu:

$$v_e = \sqrt{v_c^2 + v_f^2} [m * \text{min}^{-1}], \quad (2.7)$$

kde v_e je stejně jako u soustružení celková rychlost řezného pohybu [$m \cdot \text{min}^{-1}$] [23].

3. **Vrtání**, potažmo **obrábění otvorů** je technologie obrábění vnitřních ploch, prováděná nejčastěji dvoubřitým nástrojem. Tato technologie slouží ke zhotovování děr do plného materiálu nebo zvětšování a zpřesňování již zhotovených děr [21;22]. Kinematický popis je velice podobný tomu u frézování a je popsán matematickými vztahy:

- Řezná rychlost:

$$v_c = \pi * D * n * 10^{-3} [m * \text{min}^{-1}], \quad (2.8)$$

kde D opět značí průměr obráběné plochy [mm] a n jsou otáčky frézovacího nástroje [min^{-1}] [23].

- Posuvová rychlost:

$$v_f = f_n * n [mm * \text{min}^{-1}], \quad (2.9)$$

kde f_n stejně jako u frézování označuje posuv na jednu otáčku nástroje [mm] a n jsou stejně jakou řezné rychlosti otáčky nástroje [min^{-1}] [23].

- Celková rychlost řezného pohybu:

$$v_e = \sqrt{v_c^2 + v_f^2} [m * \text{min}^{-1}], \quad (2.10)$$

kde v_e je stejně jako u předchozích metod označuje celkovou rychlost řezného pohybu [$m \cdot \text{min}^{-1}$] [23].

2.1.2 Volba materiálu komponentů gyroskopu

Výběr konstrukčního materiálu jakéhokoliv zařízení je velice komplexní proces. Do tohoto procesu vstupuje velké množství aspektů s různou váhou na konečný výběr. Mezi tyto aspekty se řadí potřebné mechanické vlastnosti, obrobitelnost, dostupnost, cena a v neposlední řadě také vzhled materiálu. Ten hraje, hlavně u spotřebního zboží, klíčovou roli. Použité materiály svými mechanickými vlastnostmi ovlivňují výsledné vlastnosti celého navrhovaného zařízení. Studium a určování materiálůvých charakteristik se zabývá vědní obor Materiálové inženýrství. Základním zdrojem pro určování mechanických vlastností jsou pak Materiálové listy.

V případě navrhovaného gyroskopu je jeho vzhled velice důležitý faktor. Jedná se totiž o nezakrytované zařízení, které plní roli učební pomůcky. Je tedy žádoucí, aby zvolené materiály nebyly vzhledově stejné. Tedy aby se daly různé komponenty jednoduše rozlišit.

Velice žádoucí je také vhodně zvolený polotovaru výrobku (komponentu). Volba polotovaru úzce souvisí právě s volbou konstrukčního materiálu komponentu. Konstrukční materiály jsou dodávány v nepřeberném množství velikostí a tvarů. Správná volba tohoto polotovaru se odvíjí hlavně od výsledného tvaru součásti, ale vždy je také dbáno na to, aby odpad vzniklý při výrobě byl co možná nejmenší. K přesnému určení velikosti polotovaru slouží tzv. přídávky na obrábění. Tyto přídávky se dále rozdělují na:

- Přídavek na průměr polotovaru:

$$p_p = 0,05 * d + 2 [mm], \quad (2.11)$$

kde d zastupuje největší průměr hotové součásti [mm].

- Přídavek na délku polotovaru:

$$p_D = (2 \div 4) [mm]. \quad (2.12)$$

Celkové rozměry polotovaru se následně skládají ze součtů výsledných průměrů, potažmo délek, a příslušných přídavek [24].

2.1.2.1 Materiál rotoru

Jelikož rotor gyroskopu je v podstatě hmotný setrvačnick vzniká u něj potřeba zvolit takový materiál, aby měl při poměrně malém objemu co možná největší hmotnost. Tato vlastnost materiálu je jednou ze základních fyzikálních vlastností hmoty, tato vlastnost se nazývá hustota materiálu. Hustotu materiálu lze popsat matematickým vzorcem:

$$\rho = \frac{m}{V} [kg * m^{-3}], \quad (2.13)$$

kde m značí hmotnost daného materiálu [kg] a V je jeho objem [m^3].

Jak již vyplývá ze vztahu (1.1), hmotnost je jedním ze dvou činitelů, na kterých závisí velikost momentu setrvačnosti. Tato závislost je přímá, z čehož plyne, že čím bude hmotnost setrvačnicku (rotoru) větší, tím větší bude i onen moment setrvačnosti.

V minulosti byl hlavním používaným konstrukčním materiálem pro rotory gyroskopů bronz. Také u zde navrhovaného gyroskopu je bronz zvolen hlavním konstrukčním materiálem rotoru gyroskopu.

Oproti ocelím má bronz jednu neoblomnou výhodu, a to, že je jeho hustota v porovnání vyšší. Hustota bronzu se v závislosti na přesném složení pohybuje okolo hodnoty $8\,900 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, kdežto hustota konstrukčních ocelí jen okolo $7\,800 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Zvolený cínový bronz (ČSN 42 3016) se dále vyznačuje dobrými mechanickými vlastnostmi, které ovšem nedosahují mechanických vlastností u ocelí. Pro užití navrhovaného gyroskopu jsou ale naprosto dostačující.

Tab. 2.1: Značení a mechanické vlastnosti zvoleného cínového bronzu

Norma značení		
Norma ČSN	42 3016	
Norma ISO	CuSn6	
Norma ČSN EN	CW 452K	
Norma DIN	2.1020	
Mechanická vlastnost		
	Jednotka	Hodnota
Mez kluzu R_e	MPa	min. 300
Mez pevnosti R_m	MPa	min. 370
Tažnost A	%	20
Tvrdość	HV	190
Hustota ρ	kg*m ⁻³	8 902
Modul pružnosti v tahu E	GPa	119
Modul pružnosti ve smyku G	GPa	44,7

[25;26]

Polotovaru rotoru:

- Určení přídavku na průměr polotovaru rotoru podle vztahu (2.11):

$$p_{PR} = 0,05 * d_R + 2 = 0,05 * 74 + 2 = 5,7 \text{ mm}$$

- Určení přídavku na délku polotovaru rotoru podle vztahu (2.12):

$$p_{DR} = 4 \text{ mm}$$

- Celkové rozměry polotovaru rotoru navrhovaného gyroskopu:

$$\varnothing_R = d_R + p_{PR} = 74 + 5,7 = 79,7 \text{ mm} \rightarrow 80 \text{ mm}$$

$$L_R = l_R + p_{DR} = 20 + 4 = 24 \text{ mm}$$

Výsledný polotovar obalové klece nese označení: $\varnothing 80 - 24$ ČSN 42 3016.

2.1.2.2 Materiál hřídele

U návrhu materiálu hřídele gyroskopu je nezbytné brát v potaz potřebné mechanické a pevnostní charakteristiky, které by měly být onomu materiálu hřídele vlastní. Obecně se pro konstrukci hřídelí používají legované i nelegované oceli. Ty nelegované třídy 12 se používají pro hřídele s méně náročným provozem. Zato legované oceli tříd 13 až 16 se využívají na značně namáhané strojní hřídele. Mechanické a pevnostní charakteristiky všech těchto ocelí lze podpořit vhodně zvoleným tepelným zpracováním.

Pro hřídel navrhovaného gyroskopu je zvolena ocel pro méně náročné aplikace, tedy ocel třídy 12. Přesněji se jedná o nelegovanou uhlíkovou ocel ČSN 41 2050 (dále jen 12 050) s obsahem uhlíku 0,35 %. Ta je určena k zušlechťování a povrchovému kalení. V praxi se nejčastěji používá pro velké hřídele stabilních strojů, transmisní hřídele, pístnice a další. [25;26]

U učební pomůcky, jejíž roli bude navrhovaný gyroskop plnit, není zapotřebí, aby mechanické a pevnostní vlastnosti materiálu hřídele dosahovaly závratně vysokých hodnot. Použití takto vysoce kvalitních materiálu sebou nese i nevýhodu velmi vysoké pořizovací ceny. I tento pohled na věc musí být brán v potaz a z tohoto důvodu je u navrhované hřídele volen poměrně běžný konstrukční materiál.

Tab. 2.2: Značení a mechanické vlastnosti zvolené oceli

Norma značení		
Norma ČSN	12 050.6	
Norma ISO	C60E4	
Norma ČSN EN	1.1191	
Mechanická vlastnost	Jednotka	Hodnota
Mez kluzu R_e	MPa	min. 410
Mez pevnosti R_m	MPa	min. 640
Tažnost A	%	20
Tvrdość	HV	max. 269
Hustota ρ	kg*m ⁻³	7 801
Modul pružnosti v tahu E	GPa	211
Modul pružnosti ve smyku G	GPa	79,3

[25;26]

Polotovár hřídele:

- Určení přídávku na průměr polotovaru hřídele podle vztahu (2.11):

$$p_{PH} = 0,05 * d_H + 2 = 0,05 * 6 + 2 = 2,3 \text{ mm}$$

- Určení přídávku na délku polotovaru hřídele podle vztahu (2.12):

$$p_{DH} = 4 \text{ mm}$$

- Celkové rozměry polotovaru hřídele navrhovaného gyroskopu:

$$\varnothing_H = d_H + p_{PH} = 6 + 2,3 = 8,3 \text{ mm} \rightarrow 9 \text{ mm}$$

$$L_H = l_H + p_{DH} = 80,4 + 4 = 84,4 \text{ mm} \rightarrow 85 \text{ mm}$$

Výsledný polotovár hřídele nese označení: $\varnothing 9 - 85$ ČSN 41 2050.

2.1.2.3 Materiál obalové klece

Volba materiálu obalových klecí gyroskopu se v průběhu historického vývoje často měnila. V konečném důsledku musí tento materiál splňovat jen dvě základní vlastnosti. V první řadě musí být dostatečně pevný, aby dokázal odolávat vytvářenému gyroskopickému momentu. Zároveň ale musí být lehký tak, aby zbytečně nenavyšoval hmotnost zařízení.

Jako konstrukční materiál navrhované obalové klece je zvolen hliník. Hliník a jeho slitiny jsou hojně využívanými konstrukčními materiály. V praxi jsou oblíbené právě pro svoji kombinaci lehkosti a pevnosti. Ta je využívána při konstrukci trupů letadel

a vesmírných stanic. Své uplatnění nachází ovšem i v naprosto běžných aplikacích, jako jsou těla mobilních telefonů, profilových žebřicích, oken, dveří nebo kuchyňského nádobí.

Obalová klec je v návrhu prezentována pouze poměrně tenkým hliníkovým prstencem (hliník ČSN 42 4203). Ten je v praxi používán na mechanicky vysoce namáhané součásti, tudíž pro účely učební pomůcky naprosto vyhovuje. [strojnické tab.]

Tab. 2.3: Značení a mechanické vlastnosti zvoleného hliníku

Norma značení		
Norma ČSN	42 4203	
Norma DIN	3.1355	
Norma ČSN EN	AW 2024	
Mechanická vlastnost	Jednotka	Hodnota
Mez kluzu R_e	MPa	76
Mez pevnosti R_m	MPa	186
Tažnost A	%	22
Tvrdost	HB	47
Hustota ρ	$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	2 712
Modul pružnosti v tahu E	GPa	71,7
Modul pružnosti ve smyku G	GPa	26,9

[25;26]

Polotovary obalové klece:

- Určení přídatku na průměr polotovaru obalové klece podle vztahu (2.11):

$$p_{PK} = 0,05 * d_{OK} + 2 = 0,05 * 96 + 2 = 6,8 \text{ mm}$$

- Určení přídatku na délku polotovaru obalové klece podle vztahu (2.12):

$$p_{DOK} = 2 \text{ mm}$$

- Celkové rozměry polotovaru obalové klece navrhovaného gyroskopu:

$$\checkmark_K = d_{OK} + p_{POK} = 96 + 6,8 = 102,8 \text{ mm} \rightarrow 100 \text{ mm}$$

$$L_{OH} = l_{OK} + p_{DOK} = 10 + 2 = 12 \text{ mm}$$

Výsledný polotovar obalové klece nese označení: Tr \checkmark 100 – 12 ČSN 42 4203.

2.1.2.4 Materiál ložiska a ložiskového šroubu

Ložisko, potažmo ložiskový šroub, jsou pro správnou funkci gyroskopu podstatné, ba dokonce nenahraditelné součásti. Svoji funkcí nejvíce připomínají funkci rotačních kluzných ložisek (pouzder). Stejně jako ona kluzná ložiska umožňují rotaci hřídele bez následného přidávání mazného média do místa kontaktu komponentů.

Kluzných ložisek je velké množství druhů, většinu těchto druhů ovšem spojuje použitý materiál kluzné vrstvy. Tímto materiálem je slinovaný bronz, ten je ve většině

případů nanesen na tvarovaný ocelový nosič. Slinovaný bronz svojí porézností v sobě udržuje výrobcem aplikované mazné médium.

Materiál ložiska a ložiskového šroubu navrhovaného gyroskopu je tedy volen s přihlédnutím k materiálu oněch kluzných ložisek tak, aby byl co nejvíce podobný. Volba tedy padla stejně jako u rotoru na cínový bronz ČSN 42 3016.

Bronz se, jak již bylo zmíněno v návrhu materiálu rotoru gyroskopu, vyznačuje poměrně dobrými mechanickými vlastnostmi, ty jsou vypsány v tab. 2.4. Zároveň je dobře obrobitelný a splňuje i další požadavek na materiál navrhovaného gyroskopu. Přesněji, že se odlišuje vzhledem od ostatních komponentů gyroskopů, které se s ním přímo dotýkají. Je tedy zaručena jeho jednoduchá rozpoznatelnost.

Tab. 2.4: Mechanické vlastnosti zvoleného bronzu

Norma značení		
Norma ČSN	42 3016	
Norma ISO	CuSn6	
Norma ČSN EN	CW 452K	
Norma DIN	2.1020	
Mechanická vlastnost	Jednotka	Hodnota
Mez kluzu R_e	MPa	min. 300
Mez pevnosti R_m	MPa	min. 370
Tažnost A	%	20
Tvrdość	HV	190
Hustota ρ	$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	8 902
Modul pružnosti v tahu E	GPa	119
Modul pružnosti ve smyku G	GPa	44,7

[25;26]

Polotovár ložiska:

- Určení přídávku na průměr polotovaru ložiska podle vztahu (2.11):

$$p_{PL} = 0,05 * d_L + 2 = 0,05 * 10 + 2 = 2,5 \text{ mm}$$

- Určení přídávku na délku polotovaru ložiska podle vztahu (2.12):

$$p_{DL} = 4 \text{ mm}$$

- Celkové rozměry polotovaru ložiska navrhovaného gyroskopu:

$$\varnothing_L = d_L + p_{PL} = 10 + 2,5 = 12,5 \text{ mm} \rightarrow 12 \text{ mm}$$

$$L_L = l_L + p_{DL} = 24 + 4 = 28 \text{ mm}$$

Výsledný polotovár ložiska nese označení: $\varnothing 12 - 28$ ČSN 42 3016.

Polotovár ložiskového šroubu:

- Určení přídávku na průměr polotovaru ložiskového šroubu podle vztahu (2.11):

$$p_{p\check{s}} = 0,05 * d_{\check{s}} + 2 = 0,05 * 10 + 2 = 2,5 \text{ mm}$$

- Určení přídavku na délku polotovaru ložiskového šroubu podle vztahu (2.12):

$$p_{D\check{s}} = 4 \text{ mm}$$

- Celkové rozměry polotovaru ložiskového šroubu navrhovaného gyroskopu:

$$\check{\varnothing}_{\check{s}} = d_{\check{s}} + p_{p\check{s}} = 10 + 2,5 = 12,5 \text{ mm} \rightarrow 12 \text{ mm}$$

$$L_{\check{s}} = l_{\check{s}} + p_{D\check{s}} = 17 + 4 = 21 \text{ mm}$$

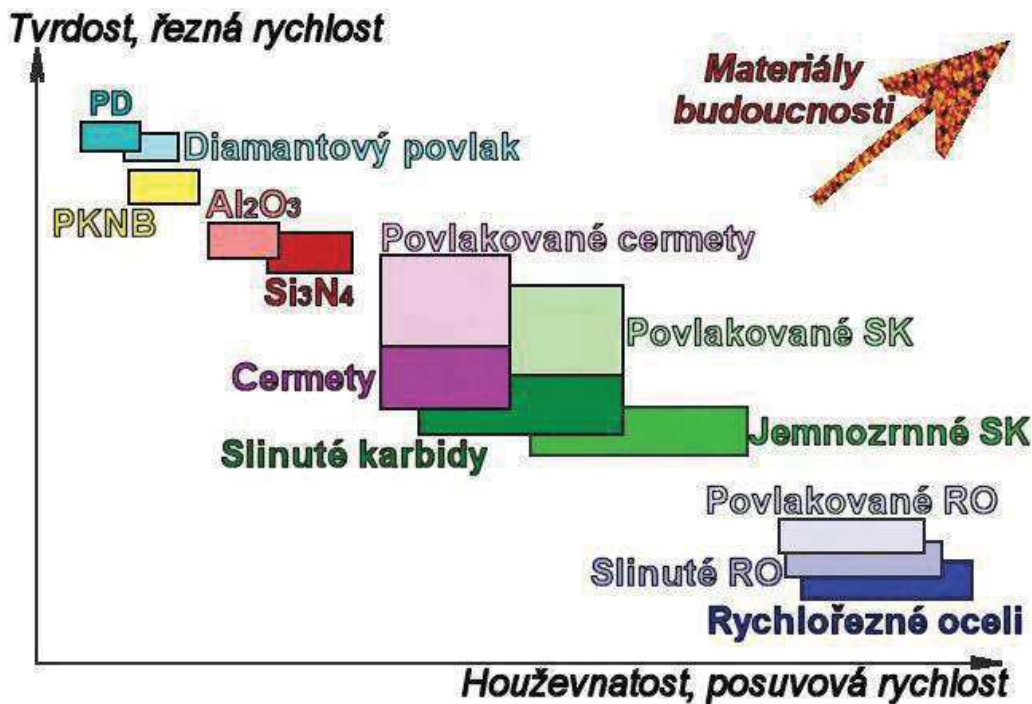
Výsledný polotovar ložiskového šroubu nese označení: $\check{\varnothing} 12 - 21$ ČSN 42 3016

2.1.3 Volba nástrojového materiálu komponentů gyroskopu

Volba rezného materiálu nástroje je další z mnoha důležitých proměnných, které vstupují do procesu návrhu výroby. Řezné (nástrojové) materiály přímo ovlivňují produktivitu obrábění, potažmo celé výroby. Kvůli tomu se do vývoje nových a modernějších rezných materiálů investují nemalé finanční prostředky. Díky investicím a cílenému výzkumu vznikají v podstatě každoročně nové materiály, které rozšiřují už tak rozsáhlý sortiment rezných materiálů.

Největším problémem rezných materiálů je to, že neexistuje žádný takový univerzální materiál. Každý rezný materiál je zpravidla určen jen pro specifickou oblast materiálů. Nástrojové materiály musejí splňovat vysoké požadavky a jejich konečný výběr záleží na mnoha aspektech:

- rozměrech, tvaru a materiálu obrobku,
- technologii výroby a stavu povrchu polotovaru,
- tvaru a druhu řezu,
- druhu a stavu obráběcího stroje,
- požadavcích na kvalitu obráběného materiálu,
- ekonomiku provozu stroje atd. [23].



Obr. 2.2: Vývojový trend nástrojových materiálů [21].

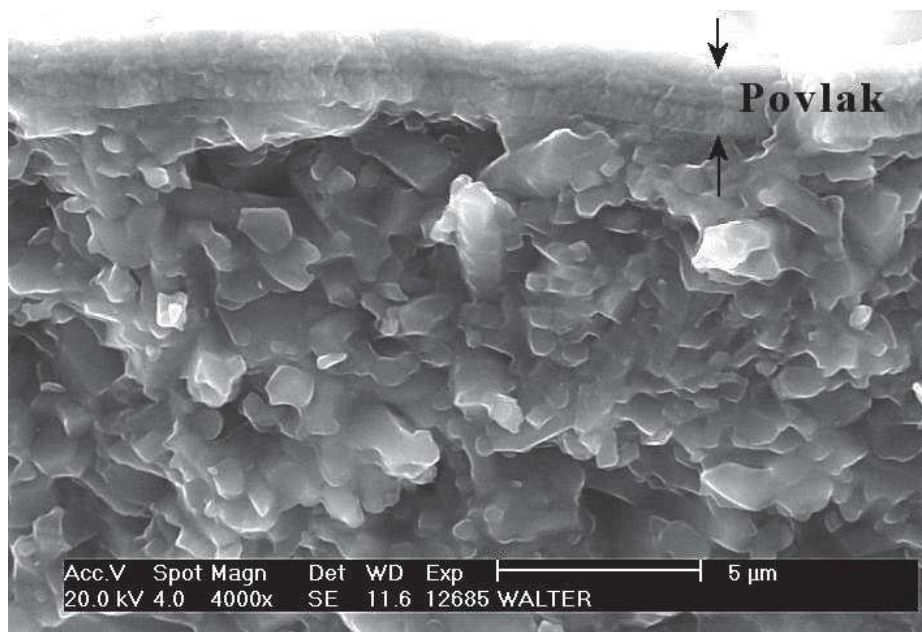
Nejčastěji se jako řezné materiály používají nástrojové oceli, slinuté karbidy, cermety, řezná keramika, polykrystalický kubický nitrid bóru a v neposlední řadě polykrystalický diamant.

- **Nástrojové oceli** – Jedná se o materiál, který byl po dlouho dobu nejrozšířenějším nástrojovým materiálem. V současnosti jsou postupně vytlačovány modernějšími materiály. Nástrojové oceli lze dále dělit do tří kategorií:
 1. Uhlíkové nástrojové oceli:
 - obsah uhlíku 0,3 až 1,4 %,
 - martenzitická struktura,
 - maximální teplota užívání 250 °C.
 2. Legované nástrojové oceli:
 - obsah uhlíku 0,8 až 1,2 %,
 - obsah legur mezi 10 a 15 % (W, Cr, V, Mn, Mo, Si, Ni).
 3. Rychlořezné (vysokolegované) oceli:
 - nejpoužívanější skupina nástrojových ocelí,
 - obsah uhlíku 0,7 až 1,3 %,
 - obsah legur více než 30% (W, Cr, V, Co, Mo),
 - nižší tvrdost, ale vyšší houževnatost [21;22].
- **Slinuté karbidy** – Řezné materiály, které jsou vyráběny pomocí slinování nejrůznějších karbidů (WC, TiC, TaC, NbC) společně s kovovým pojivem (Co). Slinuté karbidy se následně používají pro výrobu břitvých destiček. Pro vylepšení řezivosti a mechanických vlastností mohou být břitvé destičky ještě povlakovány [21]. Slinuté karbidy se dělí do šesti základních tříd, které jsou vyobrazeny na obr. 2.3.

Skupina	Podskupiny	Základní chemické složení	Efektivní aplikace pro obráběný materiál
P	P01, P05, P10, P15, P20, P25, P30, P35, P40, P45, P50	WC (30÷82)% +TiC (8÷64)% +Co (5÷17)% + (TaC.NbC)	Slinuté karbidy pro obrábění materiálů, dávající dlouhou, plynulou třísku: Nelegovaná, nízkolegovaná a vysoce legovaná ocel, litá ocel, automátová ocel, nástrojová ocel, feritická a martenzitická korozivzdorná ocel.
M	M01, M05, M10, M15, M20, M25, M30, M35, M40	WC (79÷84)% +TiC (5÷10)% +TaC.NbC (4÷7)% +Co (6÷15)%	Slinuté karbidy pro obrábění materiálů, dávající dlouhou a střední třísku: Austenitická a feriticko austenitická ocel, korozivzdorná, žáruvzdorná, žároveňná, nemagnetická a otěruvzdorná ocel.
K	K01, K05, K10, K15, K20, K25, K30, K35, K40	WC (87÷92)% +Co (4÷12)% + (TaC.NbC)	Slinuté karbidy pro obrábění materiálů, dávající krátkou, drobnou třísku: Nelegovaná i legovaná šedá litina, tvárná litina, temperovaná litina.
N	N01, N05, N10, N15, N20, N25, N30		Slinuté karbidy pro obrábění neželezných materiálů: Slitiny mědi a hliníku, duroplasty, fibry, plasty s vlákninou, tvrdá guma.
S	S01, S05, S10, S15, S20, S25, S30		Slinuté karbidy pro obrábění: Žáruvzdorné slitiny na bázi Fe, superslitiny na bázi Ni nebo Co, Titanu, Ti slitiny.
H	H01, H05, H10, H15, H20, H25, H30		Slinuté karbidy pro obrábění: Zušlechťené oceli s pevností nad 1500 MPa, kalené oceli HRC 48÷60, tvrzené kokilové litiny HSh 55÷58

Obr. 2.3: Třídy dělení slinutých karbidů [27].

- **Cermety** – Dvousložkový řezný materiál, který kombinuje řeznou keramiku a nástrojovou ocel. Jedná se o řezný materiál, jenž na povrchu vyniká vysokou tvrdostí keramické vrstvy a houževnatostí ocelového jádra [21].
- **Řezná keramika** – Nástrojový materiál, který vykazuje nadprůměrně vysokou tvrdost za vysokých teplot, avšak je také velice křehký. Řezná keramika je rovněž velice náchylná na vruby, z tohoto důvodu se formuje do tvaru břitových destiček, ovšem bez utvářeče třísky. Nejčastěji je využívána řezná keramika na bázi oxidu hlinitého (Al_2O_3) nebo nitridu křemíku (Si_3N_4). I tento druh nástrojového materiálu může být pro zlepšení vlastností povlakován [22].



Obr. 2.4: Povlakovaná řezná keramika WSN10 firmy Walter (SRN): Povlak $\text{TiN}/\text{Al}_2\text{O}_3$ [22].

- **Polykrystalický kubický nitrid bóru** – Řezný materiál, jež se vyznačuje velmi vysokou tvrdostí blížící se tvrdosti diamantu. Polykrystalický kubický nitrid bóru je poměrně drahý nástrojový materiál, proto je častěji formovaný pouze do malého řezného segmentu, který je připájen na špičku břitové destičky ze slinutých karbidů než v monolitickou břitovou destičku. Velkou výhodou tohoto materiálu je jeho schopnost bezproblémově obrábět velice tvrdé konstrukční materiály na bázi železa (oceli, litiny) [22].
- **Polykrystalický diamant** – Polykrystalický diamant je synteticky vyrobený řezný materiál, který je vytvořen slinutím jemných krystalů diamantu a keramického pojiva. Používá se pro obrábění jednoduchým jednobřítým nástrojem s plynulým nepřerušovaným řezem. Největší nevýhodou tohoto řezného materiálu je jeho teplotní nestálost. Z toho důvodu není vhodný na obrábění ocelí s vysokou teplotou tavení, kde se velice rychle opotřebovává. Naopak je hojně využíván při obrábění většiny nekovových slitin, plastů, kompozitních materiálu a dalších [22].


2.1.3.1 Nástrojové materiály rotoru gyroskopu

Volba nástrojového materiálu pro jednotlivé komponenty (součásti) gyroskopu asi nejvíce zaleží na konstrukčním materiálu, ze kterého je součást vyrobena. Zde u rotoru se jedná o cínový bronz ČSN 42 3016. Jak již bylo zmíněno, slinuté karbidy se dělí do 6 skupin právě podle materiálu k jehož obrábění jsou vhodné.

Jako nástrojové (řezné) materiály pro rotor gyroskopu jsou zvoleny slinuté karbidy třídy N, a to jak k hrubování, tak i k dokončování. Třída N je určena k obrábění slitin hliníku a slitin mědi, do této oblasti zapadá právě zvolený cínový bronz ČSN 42 3016.


Všechny VBD, vrtáky a frézy použité na výrobu rotoru gyroskopu jsou přehledně uvedeny v následujících tabulkách (2.5–2.9).

Tab. 2.5: Hrubovací VBD třídy N.

Číslo kroku	Problematika	Řešení
1	Materiál obrobku	Cínová bronz ČSN 42 3016
2	Název procesu	Hrubování
3	Typ nástroje	SK (slinuté karbidy) Skupina: N (zelená)
4	Kód – VBD	Tvar VBD: C  CCMW 09T304
5	Výrobce	SANDVIK Coromant
6	Katalogové režimy	$v_c = 100 \text{ m} * \text{min}^{-1}$ $a_p = 2 \text{ mm}$ $f = 0,5 \text{ mm}$
7	Těleso nástroje	SCLCL 2020K12
8	Kontrola sestavy	CCMW 09T304 FP SCLCL 1212K 09-S

[27]

Tab. 2.6: Dokončovací VBD třídy N.

Číslo kroku	Problematika	Řešení
1	Materiál obrobku	Cínová bronz ČSN 42 3016
2	Název procesu	Dokončování
3	Typ nástroje	SK (slinuté karbidy – 6 skupin) Skupina: N (zelená)
4	Kód – VBD	Tvar VBD: C  CCMW 09T304 FP
5	Výrobce	SANDVIK Coromant
6	Katalogové režimy	$v_c = 100 \text{ m} * \text{min}^{-1}$ $a_p = 1 \text{ mm}$ $f = 0,15 \text{ mm}$
7	Těleso nástroje	SCLCL 2020K12
8	Kontrola sestavy	CCMW 09T304 FP SCLCL 1212K 09-S

[27]

Tab. 2.7: Celokarbidový vrták třídy N.

Číslo kroku	Problematika	Řešení
1	Materiál obrobku	Cínová bronz ČSN 42 3016
2	Název procesu	Hrubé vrtání
3	Typ nástroje	SK (slnuté karbidy) Skupina: N (zelená)
4	Kód	860.1 0580 017A1 NM
5	Výrobce	SANDVIK Coromant
6	Katalogové režimy	$v_c = 100 \text{ m} * \text{min}^{-1}$ $f = 0,3 \text{ mm}$

[28]

Tab. 2.8: Celokarbidový fréza třídy N.

Číslo kroku	Problematika	Řešení
1	Materiál obrobku	Cínová bronz ČSN 42 3016
2	Název procesu	Dokončování
3	Typ nástroje	SK (slnuté karbidy – 6 skupin) Skupina: N (zelená)
4	Kód	2P121 1400 NC
5	Výrobce	SANDVIK Coromant
5	Katalogové režimy	$v_c = 100 \text{ m} * \text{min}^{-1}$ $a_p = 14 \text{ mm}$ $f = 0,05 \text{ mm}$

[28]

Tab. 2.9: Celokarbidový výstružník třídy N.


Číslo kroku	Problematika	Řešení
1	Materiál obrobku	Cínová bronz ČSN 42 3016
2	Název procesu	Hrubé vrtání
3	Typ nástroje	SK (slnuté karbidy) Skupina: N (zelená)
4	Kód	435.T 0600 A1 XF
5	Výrobce	SANDVIK Coromant
6	Katalogové režimy	$v_c = 80 \text{ m} * \text{min}^{-1}$ $f = 0,3 \text{ mm}$

[28]

2.1.3.2 Nástrojový materiál hřídele gyroskopu

K výrobě hřídele gyroskopu je použita nelegovaná uhlíková ocel ČSN 41 2050 (12 050.6), která spadá do třídy slinutých karbidů P. Z tohoto důvodu jsou zvoleny nástroje ze slinutých karbidů právě z této třídy. Tyto nástroje jsou popsány v tabulkách (2.10–2.12).

Tab. 2.10: Univerzální VBD třídy P.

Číslo kroku	Problematika	Řešení
1	Materiál obrobku	Nelegovaná uhlíková ocel ČSN 41 2050
2	Název procesu	Dokončování/hrubování
3	Typ nástroje	SK (slinuté karbidy – 6 skupin) Skupina: P (modrá)
4	Kód – VBD	Tvar VBD: C  CNMG 090308 FP
5	Výrobce	SANDVIK Coromant
6	Katalogové režimy	$v_c = 100 \text{ m} * \text{min}^{-1}$ $a_p = 1 \text{ mm}/2 \text{ mm}$ $f = 0,2 \text{ mm}/0,5 \text{ mm}$
7	Těleso nástroje	DCLNL 2020L K09
8	Kontrola sestavy	CNMG 090308 FP DCLNL 2020L K09

[27]

Tab. 2.11: Celokarbidový stopková fréza třídy P.

Číslo kroku	Problematika	Řešení
1	Materiál obrobku	Nelegovaná uhlíková ocel ČSN 41 2050
2	Název procesu	Frézování - dokončování
3	Typ nástroje	SK (slinuté karbidy – 6 skupin) Skupina: P (modrá)
4	Kód	2P340 0400 PA
5	Výrobce	SANDVIK Coromant
6	Katalogové režimy	$v_c = 100 \text{ m} * \text{min}^{-1}$ $a_p = 4 \text{ mm}$ $f = 0,045 \text{ mm}$

[28]

Tab. 2.12: Celokarbidový vrták třídy P.


Číslo kroku	Problematika	Řešení
1	Materiál obrobku	Nelegovaná uhlíková ocel ČSN 41 2050
2	Název procesu	Vrtání - dokončování
3	Typ nástroje	SK (slnuté karbidy – 6 skupin) Skupina: P (modrá)
4	Kód	R840 0100 70 A0B
5	Výrobce	SANDVIK Coromant
6	Katalogové režimy	$v_c = 100 \text{ m} * \text{min}^{-1}$ $f = 0,2 \text{ mm}$

[28]

2.1.3.3 Nástrojové materiály obalové klece gyroskopu

Hliníková slitina ČSN 42 4203, z níž je zkonstruována obalová klec gyroskopu, opět spadá do karbidové třídy N. Díky této skutečnosti lze pro obrábění dané slitiny využít stejné nástrojové materiály jako u rotoru gyroskopu. Zvolené nástroje jsou popsány v tabulkách (2.13–2.16).

Tab. 2.13: Univerzální dokončovací VBD třídy N.

Číslo kroku	Problematika	Řešení
1	Materiál obrobku	Hliníková slitina ČSN 42 4203
2	Název procesu	Vnější dokončování
3	Typ nástroje	SK (slnuté karbidy – 6 skupin) Skupina: N (zelená)
4	Kód – VBD	Tvar VBD: C  CCMW 09T304 FP
5	Výrobce	SANDVIK Coromant
6	Katalogové režimy	$v_c = 100 \text{ m} * \text{min}^{-1}$ $a_p = 1 \text{ mm}$ $f = 0,2 \text{ mm}$
7	Těleso nástroje	SCLCL 2020K12
8	Kontrola sestavy	CCMW 09T304 FP SCLCL 1212K 09-S

[27]

Tab. 2.14: Celokarbidový vrták třídy N.

Číslo kroku	Problematika	Řešení
1	Materiál obrobku	Hliníková slitina ČSN 42 4203
2	Název procesu	Vrtání průchozího otvoru
3	Typ nástroje	SK (slnuté karbidy) Skupina: N (zelena)
4	Kód	R840 0600 50 A1A
5	Výrobce	SANDVIK Coromant
6	Katalogové režimy	$v_c = 100 \text{ m} * \text{min}^{-1}$ $f = 0,2 \text{ mm}$

[28]

Tab. 2.15: Celokarbidový vrták třídy N.

Číslo kroku	Problematika	Řešení
1	Materiál obrobku	Hliníková slitina ČSN 42 4203
2	Název procesu	Předvrtání otvoru pro závit
3	Typ nástroje	SK (slnuté karbidy) Skupina: N (zelena)
4	Kód	R840 0470 50 A1A
5	Výrobce	SANDVIK Coromant
6	Katalogové režimy	$v_c = 100 \text{ m} * \text{min}^{-1}$ $f = 0,2 \text{ mm}$

[28]

Tab. 2.16: Vnitřní závitník M6x1 třídy N s lamačem třísek.


Číslo kroku	Problematika	Řešení
1	Materiál obrobku	Hliníková slitina ČSN 42 4203
2	Název procesu	Předvrtání otvoru pro závit
3	Typ nástroje	SK (slnuté karbidy) Skupina: N (zelena)
4	Kód	E358 M6
5	Výrobce	SANDVIK Coromant
6	Katalogové režimy	$v_c = 24 \text{ m} * \text{min}^{-1}$

[28]

2.1.3.4 Nástrojové materiály ložiska a ložiskového šroubu gyroskopu

Konstrukčním materiálem ložiska a ložiskového šroubu je cínový bronz ČSN 42 3016. Jde o stejný materiál, který je použit u rotoru gyroskopu. Tato shoda představuje velkou výhodu z důvodu opětovného použití stejného nástrojového materiálu (slnutý karbid třídy N), tudíž i snížení nákladů na nákup těchto materiálů. Použité VBD, vrtáky, frézy a závitníky jsou uvedeny v tabulkách (2.17–2.20).

Tab. 2.17: Univerzální dokončovací VBD třídy N.

Číslo kroku	Problematika	Řešení
1	Materiál obrobku	Cínová bronz ČSN 42 3016
2	Název procesu	Dokončování
3	Typ nástroje	SK (slnuté karbidy – 6 skupin) Skupina: N (zelená)
4	Kód – VBD	Tvar VBD: C  CCMW 09T304 FP
5	Výrobce	SANDVIK Coromant
5	Katalogové režimy	$v_c = 100 \text{ m} * \text{min}^{-1}$ $a_p = 1 \text{ mm}$ $f = 0,2 \text{ mm}$
6	Těleso nástroje	SCLCL 2020K12
7	Kontrola sestavy	CCMW 09T304 FP SCLCL 1212K 09-S

[27]

Tab. 2.18: Celokarbidový vrták třídy N.

Číslo kroku	Problematika	Řešení
1	Materiál obrobku	Cínová bronz ČSN 42 3016
2	Název procesu	Vrtání zahloubení
3	Typ nástroje	SK (slnuté karbidy – 6 skupin) Skupina: N (zelená)
4	Kód	R840 0600 50 A1A
5	Výrobce	SANDVIK Coromant
5	Katalogové režimy	$v_c = 100 \text{ m} * \text{min}^{-1}$ $f = 0,2 \text{ mm}$

[28]

Tab. 2.19: Celokarbidový fréza třídy N.

Číslo kroku	Problematika	Řešení
1	Materiál obrobku	Cínová bronz ČSN 42 3016
2	Název procesu	Dokončování
3	Typ nástroje	SK (slinuté karbidy – 6 skupin) Skupina: N (zelená)
4	Kód	2P340 0200 NA
5	Výrobce	SANDVIK Coromant
5	Katalogové režimy	$v_c = 100 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ $a_p = 2 \text{ mm}$ $f = 0,045 \text{ mm}$

[28]

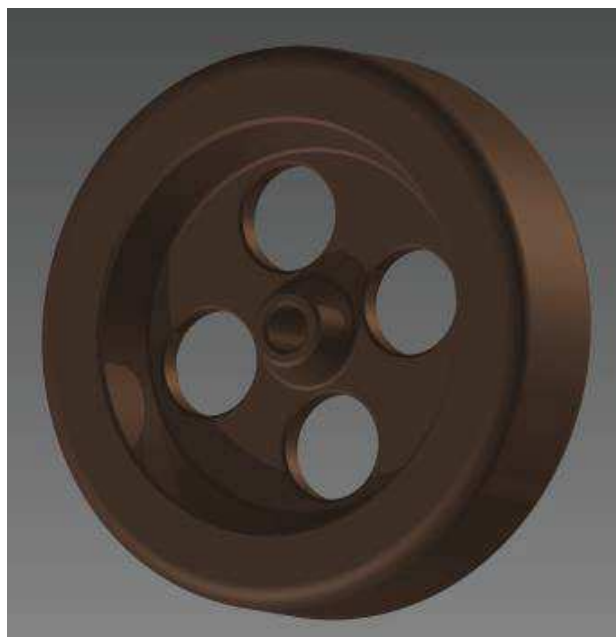
Tab. 2.20: Vnější závitník M6x1 třídy N.

Číslo kroku	Problematika	Řešení
1	Materiál obrobku	Cínová bronz ČSN 42 3016
2	Název procesu	Frézování šroubové drážky
3	Typ nástroje	SK (slinuté karbidy – 6 skupin) Skupina: N (zelená)
4	Kód - VBD	266RG 16MM03 A100M
5	Výrobce	SANDVIK Coromant
5	Katalogové režimy	$v_c = 200 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$
6	Těleso nástroje	266RFG 2020 16
7	Kontrola sestavy	266RG 16MM03 A100M 266RFG 2020 16

[28]

2.1.3 Návrh výroby rotoru gyroskopu

Rotor gyroskopu je rotační součást, která je vyráběna převážně soustružením. K výrobě odlehčujících otvorů je dále využito i frézování a vrtání. Při výrobě je kladen velký důraz na precizní provedení středového průchozího otvoru pro hřídel. Tento otvor musí být umístěn přesně ve středu rotoru, aby nedocházelo k nerovnoměrné rotaci, chvěním a rázům. Detail rotoru gyroskopu je vyobrazen na obr. 2.5.



Obr. 2.5: Detail rotoru gyroskopu.

Detailní výroba rotoru je popsána v rámcovém návrhu výrobu (tab. 2.21). Výkres součásti číslo BP-G-1/6-A3 lze nalézt v přílohách této práce (příloha 3).

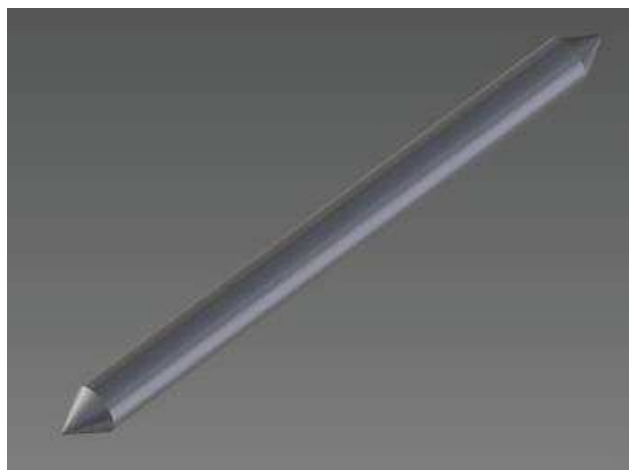
Tab. 2.21: Rámcový návrh výroby rotoru gyroskopu.

Rámcový návrh výroby rotoru gyroskopu			
Název součásti: Rotor gyroskopu Číslo výkresu: BP-G-1/6-A3		Materiál součásti: 42 3016 Polotovar součásti: Ø 80 – 24 ČSN 42 3016 Hmotnost [kg] <ul style="list-style-type: none"> • hrubá: 1,07 kg • čistá: 0,45 kg 	
Číslo operace:	Typ stroje:	Popis práce:	Řezný nástroj:
1	Pásová pila BOMAR (Příloha 1/1)	Řezat polotovar na délku $l = 24$.	
2	Posuvné měřítko SCHUT (Příloha 2/1)	Kontrolovat délku $l = 24$.	
3	Stolní soustruh BERNARDO (Příloha 1/2)	Upnout polotovar do sklíčidla stroje za Ø 80 a soustružit obě čela na kotu 20.	Hrubovací nůž: CCMW 9T304 (Tab. 2.5)
4	Stolní soustruh BERNARDO (Příloha 1/2)	Předvrtat středový otvor Ø 5,8 H8.	Karbidový vrták Ø 5,8 mm: 860.1-0580-017A1-NM (Tab. 2.7)

5	Stolní soustruh BERNARDO (Příloha 1/2)	Hrubovat profil prvního čela a bok rotoru s odstupem 1 mm od profilu uvedeném ve výkresové dokumentaci.	Hrubovací nůž: CCMW 9T304 (Tab. 2.5)
6	Stolní soustruh BERNARDO (Příloha 1/2)	Hrubovat profil druhého čela a bok rotoru s odstupem 1 mm od profilu uvedeném ve výkresové dokumentaci.	Hrubovací nůž: CCMW 9T304 (Tab. 2.5)
7	Stolní soustruh BERNARDO (Příloha 1/2)	Upnout polotovary do sklíčidla stroje za $\varnothing 76$. Soustružit profil první strany rotoru na hotovo podle výkresové dokumentace.	Dokončovací nůž: CCMW 09T304 FP (Tab. 2.6)
8	Stolní soustruh BERNARDO (Příloha 1/2)	Upnout za $\varnothing 76$ a soustružit profil druhého čela rotoru na hotovo podle výkresové dokumentace.	Dokončovací nůž: CCMW 09T304 FP (Tab. 2.6)
9	Stolní soustruh BERNARDO (Příloha 1/2)	Dokončit středový otvor ($\varnothing 6 H6$) na hotovo.	Výstružník $\varnothing 6$ mm: 435.T-0600-A1-XF (Tab. 2.9)
10	Vrtačko-frézka BERNARDO (Příloha 1/3)	Upnout za čelo rotoru a vrtat 4 odlehčovací otvory ($\varnothing 14 H8$). Následně srazit hrany.	Fréza $\varnothing 14$ mm: 2P121 1400 NC (Tab. 2.8)
11	Posuvné měřítko SCHUT, Mikrometr SCHUT (Příloha 2/1 a 2/2)	Kontrolovat přesnost součásti podle parametrů udávaných ve výkresové dokumentaci.	
12	Drsnoměr MITUTOYO (Příloha 2/4)	Kontrolovat kvalitu povrchu součásti podle výkresové dokumentace.	

2.1.4 Návrh výroby hřídele gyroskopu

Hřídel gyroskopu je vyrobena z oceli ČSN 41 0250 za použití převážně soustružení. Stejně jako u rotoru, je i zde kladen velký důraz na válcovitost a přímost vyrobené součásti, aby byly eliminovány nežádoucí vlivy způsobené nepřesnou výrobou. Velmi důležitým aspektem výroby je tepelné zpracování součásti, které slouží ke zvýšení pevnosti a zlepšení mechanických vlastností hřídele. Detail vyráběné hřídele zobrazuje obr. 2.6.



Obr. 2.6: Detail hřídele gyroskopu.

V tabulce 2.22 je uveden rámcový návrh výroby hřídele gyroskopu. Výrobní výkres hřídele je uveden v přílohách této bakalářské práce (příloha 4).

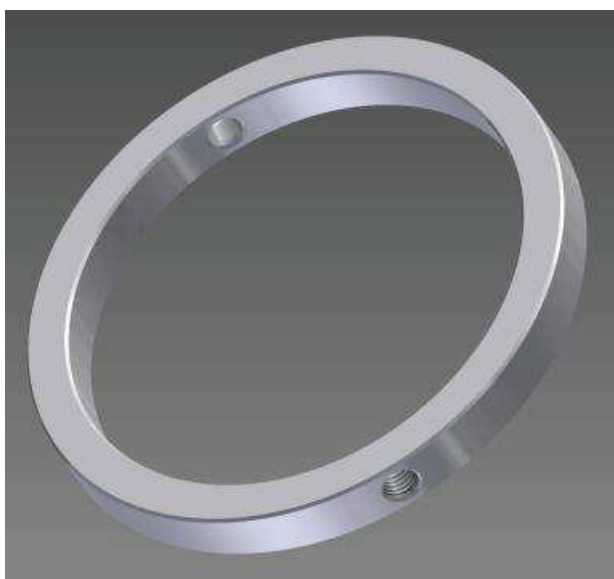
Tab. 2.22: Rámcový návrh výroby hřídele gyroskopu.

Rámcový návrh výroby hřídele gyroskopu			
Název součásti: Hřídel gyroskopu Číslo výkresu: BP-G-2/6-A4		Materiál součásti: 12 050.6 Polotovar součásti: Ø 9 – 85 ČSN 41 2050 Hmotnost [kg] <ul style="list-style-type: none"> • hrubá: 0,042 kg • čistá: 0,016 Kg 	
Číslo operace:	Typ stroje:	Popis práce:	Řezný nástroj:
1	Pásová pila BOMAR (Příloha 1/1)	Řezat polotovar na délku $l = 85$.	
2	Posuvné měřítko SCHUT (Příloha 2/1)	Kontrolovat délku $l = 85$.	
3	Stolní soustruh BERNARDO (Příloha 1/2)	Upnout polotovar do sklíčidla stroje a soustružit Ø 6 k6 po celé délce polotovaru.	Dokončovací nůž: CNMG 090308 FP (Tab. 2.10)
4	Posuvné měřidlo, mikrometr (Příloha 2/1 a 2/2)	Kontrolovat Ø 6 k6, válcovitost a obvodové házení.	
5	Stolní soustruh BERNARDO (Příloha 1/2)	Upnout polotovar do sklíčidla stroje za Ø 6 a soustružit na délku 80,4.	Dokončovací nůž: CNMG 090308 FP (Tab. 2.10))

6	Stolní soustruh BERNARDO (Příloha 1/2)	Soustružit sražení 30° na obou stranách polotovaru.	Dokončovací nůž: CNMG 090308 FP (Tab. 2.10)
7	Vrtačko-frézka BERNARDO (Příloha 1/3)	Upnout stroje za Ø 6 a frézovat plošku 4x4 podle výkresové dokumentace	Fréza Ø 4 mm: 2P340 0400 PA (Tab. 2.11)
8	Vrtačko-frézka BERNARDO (Příloha 1/3)	Vrtat průchozí otvor o Ø 1 dle výkresové dokumentace, následně srazit hrany.	Vrták Ø 1 mm: R840 010070 A0B (Tab. 2.12)
9	Posuvné měřítko SCHUT, Mikrometr SCHUT (Příloha 2/1 a 2/2)	Kontrolovat přesnost součásti podle parametrů udávaných ve výkresové dokumentaci	
10	Drsnoměr MITUTOYO (Příloha 2/4)	Kontrolovat kvality povrchu součásti podle výkresové dokumentace.	

2.1.5 Návrh výroby obalové klece

Hlavní funkcí obalové klece gyroskopu je zajištění kompaktnosti celého zařízení (její detail je znázorněn na obr. 2.7). Za pomoci ložiska a ložiskového šroubu se do obalové klece umísťuje hřídel s rotorem. Obalová klec je rovněž rotační součást gyroskopu, jejímž konstrukčním materiálem je slitina hliníku ČSN 42 4203. K její výrobě je převážně použito vnitřní a vnější soustružení. Průchozí a závitové otvory jsou vyrobeny pomocí vrtání a frézování.



Obr. 2.7: Detail obalové klece gyroskopu.

Rámcový návrh výroby obalové klece gyroskopu je uveden v následující tabulce 2.23. V příloze této práce lze nalézt výrobní výkres dané součásti (příloha 5).

Tab. 2.23: Rámcový návrh výroby obalové klece gyroskopu.

Rámcový návrh výroby obalové klece gyroskopu			
Název součásti: Obalová klec gyroskopu Číslo výkresu: BP-G-2/6-A3		Materiál součásti: 42 4203 Polotovar součásti: Tr Ø 100 – 12 ČSN 42 4203 Hmotnost [kg] <ul style="list-style-type: none"> • hrubá: 0,092 kg • čistá: 0,055 kg 	
Číslo operace:	Typ stroje:	Popis práce:	Řezný nástroj:
1	Pásová pila BOMAR (Příloha 1/1)	Řezat polotovar XX na délku $l = 12$.	
2	Posuvné měřítko SCHUT (Příloha 2/1)	Kontrolovat délku $l = 12$.	
3	Stolní soustruh BERNARDO (Příloha 1/2)	Upnout polotovar do sklíčidla stroje za vnitřní Ø 80 a soustružit čela na kotu 10.	Dokončovací nůž: CCMW 09T304 FP (Tab. 2.13)
4	Stolní soustruh BERNARDO (Příloha 1/2)	Soustružit na hotovo vnější Ø 96, následně srazit vnější hrany.	Dokončovací nůž: CCMW 09T304 FP (Tab. 2.13)
5	Stolní soustruh BERNARDO (Příloha 1/2)	Upnout za vnější Ø 96 a soustružit vnitřní Ø 81. Srazit vnitřní hrany dle výkresové dokumentace.	Dokončovací nůž: CCMW 09T304 FP (Tab. 2.13)
6	Posuvné měřítko SCHUT (Příloha 2/1)	Kontrolovat rozměry součásti podle výkresové dokumentace.	
7	Vrtačko-frézka BERNARDO (Příloha 1/3)	Upnout za čela klece do upínky frézky a vrtat průchozí otvor Ø 6 H6 podle výkresové dokumentace. Následně začistit a srazit hrany otvoru.	Vrták Ø 6 mm: R840 0600 50 A1A (Tab. 2.14)
8	Vrtačko-frézka BERNARDO	Upnout za čela klece do upínky frézky a předvrtat průchozí	Vrták: R840 0470 50 A1A (Tab. 2.15)

	(Příloha 1/3)	otvor pro závit Ø 4,7. Následně začistit a srazit hrany otvoru.	
9	Vrtačko- frézka BERNARDO (Příloha 1/3)	Řezat závit M6x1 - 6H do předvrtaného přuchozího otvoru.	Vnitřní závitník: E358 M6 (Tab. 2.16)
10	Závitový kalibr SCHUT (Příloha 2/3)	Kontrolovat správnost vnitřního závitu M6x1.	
11	Posuvné měřítko SCHUT, Mikrometr SCHUT (Příloha 2/1 a 2/2)	Kontrolovat přesnost součásti podle parametrů udávaných ve výkresové dokumentaci	
12	Drsnoměr MITUTOYO (Příloha 2/4)	Kontrolovat drsnost povrchu součásti podle výkresové dokumentace.	

2.1.6 Návrh výroby ložiska a ložiskového šroubu

Ložisko je rotační součást, která je pevně připojena k obalové kleci (Loctite 603). Hlavní funkcí je zachycení hřídele a umožnění její rotace s co nejmenším třením. Ložisko je rovněž vybaveno otvorem pro nasazení prodlužovací hřídele, ta ovšem není součástí tohoto návrhu. Stejně jako rotor je i ložisko gyroskopu vyrobeno z cínového bronzu ČSN 42 3016. Jelikož se jedná o rotační součást je ložisko vyráběno pouze soustružením. Obrázek 2.8 zobrazuje detail ložiska gyroskopu.



Obr. 2.8: Detail ložiska gyroskopu.

Rámcový návrh výroby ložiska gyroskopu je popsán v tabulce 2.24. Výrobní výkres této součásti je součástí příloh této bakalářské práce (příloha 6).

Tab. 2.24: Rámcový návrh výroby ložiska gyroskopu.

Rámcový návrh výroby ložiska gyroskopu			
Název součásti: Ložisko gyroskopu Číslo výkresu: BP-G-4/6-A4		Materiál součásti: 42 3016 Polotovar součásti: Ø 12 – 28 ČSN 42 3016 Hmotnost [kg] <ul style="list-style-type: none"> • hrubá: 0,028 kg • čistá: 0,01 kg 	
Číslo operace:	Typ stroje:	Popis práce:	Řezný nástroj:
1	Pásová pila BOMAR (Příloha 1/1)	Řezat polotovarovou tyč na délku $l = 28$.	
2	Posuvné měřítko SCHUT (Příloha 2/1)	Kontrolovat délku $l = 28$.	
3	Stolní soustruh BERNARDO (Příloha 1/2)	Upnout polotovar do sklíčidla stroje a soustružit čela na kotu 24.	Dokončovací nůž: CCMW 09T304 FP (Tab. 2.17)
4	Stolní soustruh BERNARDO (Příloha 1/2)	Vrtat středový otvor Ø 6 H8 do hloubky 10 podle výkresové dokumentace.	Vrták Ø 6 mm: R840 0600 50 A1A (Tab. 2.18)
5	Stolní soustruh BERNARDO (Příloha 1/2)	Soustružit zahloubení pod úhlem 59° a hloubky 1,5, vše podle výkresové dokumentace.	Vrták Ø 6 mm: R840 0600 50 A1A (Tab. 2.18)
6	Stolní soustruh BERNARDO (Příloha 1/2)	Soustružit první polovinu profilu ložiska (Ø 6 k6) na hotovo. Nasledně srazit požadované hrany.	Dokončovací nůž: CCMW 09T304 FP (Tab. 2.17)
7	Stolní soustruh BERNARDO (Příloha 1/2)	Upnout za Ø 6 a soustružit na hotovo profil druhé poloviny ložiska (Ø 10 h6) podle výkresové dokumentace, včetně sražení požadovaných hran.	Dokončovací nůž: CCMW 09T304 FP (Tab. 2.17)
8	Posuvné měřítko SCHUT, Mikrometr SCHUT	Kontrolovat přesnost součásti podle parametrů udávaných ve výkresové dokumentaci	

	(Příloha 2/1 a 2/2)		
9	Drsnoměr MITUTOYO (Příloha 2/4)	Kontrolovat drsnost povrchu součásti podle výkresové dokumentace.	

Ložiskový šroub je na rozdíl od ložiska výškově nastavitelný pomocí metrického závitu. Utahováním a povolováním závitu lze centrovat rotor v obalové kleci, a také ovlivňovat velikost působení tření na hřídel. Nejdůležitější částí ložiskového šroubu je právě metrický závit M6x1, který je soustružen pomocní speciálního závitového nože. Konstrukčním materiálem ložiskového šroubu je cínový bronz ČSN 42 3016. Detail ložiskového šroubu je zobrazen na obr. 2.9.



Obr. 2.9. Detail ložiskového šroubu gyroskopu.

V tabulce 2.25 je popsán návrh výroby ložiskového šroubu. Výrobní výkres lze nalézt v příloze 7 této bakalářské práce.

Tab. 2.25: Rámcový návrh výroby ložiskového šroubu gyroskopu.

Rámcový návrh výroby ložiskového šroubu gyroskopu			
Název součásti: Ložiskový šroub gyroskopu Číslo výkresu: BP-G-5/6-A4		Materiál součásti: 42 3016 Polotovar součásti: Ø 12 – 21 ČSN 42 3016 Hmotnost [kg] <ul style="list-style-type: none"> • hrubá: 0,021 kg • čistá: 0,006 kg 	
Číslo operace:	Typ stroje:	Popis práce:	Řezný nástroj:
1	Pásová pila BOMAR (Příloha 1/1)	Řezat polotovarovou tyč na délku $l = 21$.	

2	Posuvné měřítko SCHUT (Příloha 2/1)	Kontrolovat délku $l = 21$.	
3	Stolní soustruh BERNARDO (Příloha 1/2)	Upnout polotovary do sklíčidla stroje a soustružit čela na kotu 17.	Dokončovací nůž: CCMW 09T304 FP (Tab. 2.17)
4	Stolní soustruh BERNARDO (Příloha 1/2)	Soustružit zahloubení pod úhlem 59° a hloubky 1,5, vše podle výkresové dokumentace.	Vrták $\varnothing 6$ mm: R840 0600 50 A1A (Tab. 2.18)
5	Stolní soustruh BERNARDO (Příloha 1/2)	Upnout za $\varnothing 12$ a soustružit profil hlavy šroubu ($\varnothing 10$ h6) podle výkresové dokumentace, včetně sražení hran.	Dokončovací nůž: CCMW 09T304 FP (Tab. 2.17)
6	Stolní soustruh BERNARDO (Příloha 1/2)	Upnout za $\varnothing 10$ a soustružit závitovou část šroubu. Následně srazit hrany.	Dokončovací nůž: CCMW 09T304 FP (Tab. 2.17)
7	Posuvné měřítko SCHUT (Příloha 2/1)	Kontrolovat $\varnothing 6$ jako základ pro závit M6x1.	
8	Stolní soustruh BERNARDO (Příloha 1/2)	Řezat závit M6x1 – 6g v délce $l = 11^{0,-0,1}$.	Vnější závitový nůž: 266RG 16MM03 A100M (Tab. 2.17)
9	Závitový kalibr SCHUT (Příloha 2/3)	Kontrolovat správnost vnějšího závitu M6x1.	
10	Vrtačko-frézka BERNARDO (Příloha 1/3)	Upnout za $\varnothing 10$ do sklíčidla a frézovat drážku 2x2,5 podle výkres. dokumentace.	Fréza $\varnothing 2$ mm: 2P340 0200 NA (Tab. 2.19)
11	Posuvné měřítko SCHUT, Mikrometr SCHUT (Příloha 2/1 a 2/2)	Kontrolovat přesnost součásti podle parametrů udávaných ve výkresové dokumentaci	
12	Drsnoměr MITUTOYO (Příloha 2/4)	Kontrolovat kvality povrchu součásti podle výkresové dokumentace.	

2.2 Vyhodnocení výroby

Vyhodnocení výroby navrhovaného gyroskopu je provedeno pomocí výpočtu ekonomicko-technické bilance pro vzorový výrobní objem 1000 kusů. Předmětem tohoto výpočtu je určení strojních časů výroby jednotlivých komponentů (součástí) navrhovaného zařízení, z nichž je následně vypracována ekonomická bilance výroby.

Hlavním výstupem tohoto hodnocení je potom výrobní cena jednoho gyroskopu. Tato vypočtená kusová cena slouží k porovnání navrhovaného gyroskopu s jinými komerčně dostupnými zařízeními.

2.2.1 Propočet strojního času

Prvním krokem ve vyhodnocení výroby je určení celkového strojního času výroby. Tento strojní čas je následně používán pro výpočet celkových nákladů na výrobu gyroskopu. Důležité je také určit strojní časy pro jednotlivé obráběcí stroje a řezné nástroje.

- Otáčky rotujícího řezného nástroje, potažmo součásti:

$$v_c = \pi * D * n * 10^{-3} \Rightarrow n = \frac{10^3 * v_c}{\pi * D} \text{ [min}^{-1}\text{]}, \quad (2.14)$$

kde v_c označuje řeznou rychlost [$\text{m} * \text{min}^{-1}$] a D zastupuje průměr obráběné součásti nebo průměr rotujícího nástroje v závislosti na typu obrábění [mm] [29].

- Strojní čas:

$$t_{as} = \frac{l_i}{n * f} \text{ [min]}, \quad (2.15)$$

kde je l_i délka záběru obráběcího nástroje (včetně přidavného náběhu a přeběhu) [mm], n jsou otáčky [min^{-1}] a f prezentuje posuv řezného nástroje [mm] [29].

- Vedlejší strojní čas:

$$t_{av} = \frac{t_{as}}{10} \text{ [min]}, \quad (2.16)$$

Kde t_{as} označuje již zmíněný strojní čas [min] [29].

2.2.1.1 Propočet strojního času – Rotor gyroskopu

Tab. 2.26: Propočet strojního času – Rotor gyroskopu

Propočet strojního času – Rotor gyroskopu							
Číslo operace (tab. 2.21)	a_p	D	v_c	f	n	t_{asR}	t_{avR}
	[mm]	[mm]	[m*min ⁻¹]	[mm]	[min ⁻¹]	[min]	[min]
3	2	80-0	100	0,5	398	0,25	0,025
	2	80-0	100	0,5	398	0,25	0,025
4	5,8	5,8	100	0,3	398	0,2	0,02
5 a 6	2	80	100	0,5	398	0,12	0,012
	2	55-6	100	0,5	578	0,08	0,008
	2	55-6	100	0,5	578	0,08	0,008
	2	25-6	100	0,5	1273	0,033	0,0033
	2	24-6	100	0,5	1326	0,027	0,0027
	2	23-6	100	0,5	1384	0,022	0,0022
	2	25-6	100	0,5	1273	0,033	0,0033
	2	24-6	100	0,5	1326	0,027	0,0027
	2	23-6	100	0,5	1384	0,022	0,0022
7	1	76-6	100	0,15	500	0,74	0,074
8	1	76-6	100	0,15	500	0,74	0,074
9	0,8	6	80	0,3	2000	0,033	0,0033
10	14	14	100	0,2	2200	0,014	0,0014
	14	14	100	0,2	2200	0,014	0,0014
	14	14	100	0,2	2200	0,014	0,0014
	14	14	100	0,2	2200	0,014	0,0014
Σ						2,713	0,2713
						$t_{asRcelkovy}$	2,9843

Vzorový výpočet pro 7. operaci (soustružení finálního profilu) z tab. 2.26:

$$n = \frac{10^3 * v_c}{\pi * D} = \frac{10^3 * 100}{\pi * 76} = 500 \text{ min}^{-1}$$

$$t_{as} = \frac{l_i}{n * f} = \frac{55}{500 * 0,15} = 0,74 \text{ min}$$

$$t_{av} = \frac{t_{as}}{10} = \frac{0,74}{10} = 0,074 \text{ min}$$

Tab. 2.27: Strojní časy pro obráběcí stroje – Rotor gyroskopu

Strojní časy pro obráběcí stroje – Rotor gyroskopu		
Typ stroje	Označení	Strojní čas [min]
Strojní soustruh BERNARDO	t_{asGS}	2,9227
Vrtačko-frézka BERNARDO	t_{asGVF}	0,0616

2.2.1.2 Propočet strojního času – Hřídel gyroskopu

Tab. 2.28: Propočet strojního času – Hřídel gyroskopu

Propočet strojního času – Hřídel gyroskopu							
Číslo operace (tab. 2.22)	a_p	D	v_c	f	n	t_{asH}	t_{avH}
	[mm]	[mm]	[m*min ⁻¹]	[mm]	[min ⁻¹]	[min]	[min]
3	1	9	100	0,2	2000	0,225	0,0225
5	2	9-0	100	0,5	2000	0,03	0,003
	2	9-0	100	0,5	2000	0,03	0,003
	0,6	9-0	100	0,5	2000	0,03	0,003
6	1	9-0	100	0,2	2000	0,01	0,001
	1	9-0	100	0,2	2000	0,015	0,0015
	1	9-0	100	0,2	2000	0,02	0,002
	1	9-0	100	0,2	2000	0,025	0,0025
	1	9-0	100	0,2	2000	0,03	0,003
	1	9-0	100	0,2	2000	0,01	0,001
	1	9-0	100	0,2	2000	0,015	0,0015
	1	9-0	100	0,2	2000	0,02	0,002
	1	9-0	100	0,2	2000	0,025	0,0025
	1	9-0	100	0,2	2000	0,03	0,003
7	3,1	4	100	0,18	2200	0,02	0,002
8	1	1	100	0,2	2200	0,018	0,0018
Σ						0,553	0,0553
						$t_{asHcelkovy}$	0,6083

Vzorový výpočet 7. operaci (frézování) z tab. 2.28:

$$n = \frac{10^3 * v_c}{\pi * D} = \frac{10^3 * 100}{\pi * 4} = 7\,958 \text{ min}^{-1} \Rightarrow 2\,200 \text{ min}^{-1}$$

$$f = f_z * z = 0,045 * 4 = 0,18 \text{ mm}$$

$$t_{as} = \frac{l_i}{n * f} = \frac{2 + 4 + 2}{2\,200 * 0,18} = 0,02 \text{ min}$$

$$t_{av} = \frac{t_{as}}{10} = \frac{0,02}{10} = 0,002 \text{ min}$$

Tab. 2.29: Strojní časy pro obráběcí stroje – Hřídel gyroskopu

Strojní časy pro obráběcí stroje – Hřídel gyroskopu		
Typ stroje	Označení	Strojní čas [min]
Strojní soustruh BERNARDO	t_{asHS}	0,5665
Vrtačko-frézka BERNARDO	t_{asHVF}	0,0418

2.2.1.3 Propočet strojního času – Obalové klece gyroskopu

Tab. 2.30: Propočet strojního času – Obalové klece gyroskopu

Propočet strojního času – Obalové klece gyroskopu							
Číslo operace (tab. 2.23)	a_p	D	v_c	f	n	t_{asOK}	t_{avOK}
	[mm]	[mm]	[m*min ⁻¹]	[mm]	[min ⁻¹]	[min]	[min]
3	1	100-80	100	0,2	318	0,22	0,022
	1	100-80	100	0,2	318	0,22	0,022
4	1	100	100	0,2	318	0,19	0,019
	1	98	100	0,2	325	0,185	0,0185
5	0,5	80-81	100	0,2	398	0,15	0,015
7	6	6	100	0,2	2000	0,05	0,005
8	4,7	4,7	100	0,2	2000	0,05	0,005
9	1,3	6	24	1	24	0,625	0,0625
Σ						1,69	0,169
						$t_{asOKcelkovy}$	1,859

Vzorový výpočet pro 5. operaci (vnitřní soustružení) z tab. 2.30:

$$n = \frac{10^3 * v_c}{\pi * D} = \frac{10^3 * 100}{\pi * 80} = 398 \text{ min}^{-1}$$

$$t_{as} = \frac{l_i}{n * f} = \frac{1 + 4 + 1}{398 * 0,2} = 0,15 \text{ min}$$

$$t_{av} = \frac{t_{as}}{10} = \frac{0,15}{10} = 0,015 \text{ min}$$

Tab. 2.31: Strojní časy pro obráběcí stroje – Ložiskového šroubu gyroskopu

Strojní časy pro obráběcí stroje – Obalová klec gyroskopu		
Typ stroje	Označení	Strojní čas [min]
Strojní soustruh BERNARDO	t_{asOKS}	1,0615
Vrtačko-frézka BERNARDO	t_{asOKVF}	0,7975

2.2.1.4 Propočet strojního času – Ložisko gyroskopu

Tab. 2.32: Propočet strojního času – Ložisko gyroskopu

Propočet strojního času – Ložisko gyroskopu							
Číslo operace (tab. 2.24)	a_p	D	v_c	f	n	t_{asL}	t_{avL}
	[mm]	[mm]	[m*min ⁻¹]	[mm]	[min ⁻¹]	[min]	[min]
3	1	12-0	100	0,2	1800	0,022	0,0022
	1	12-0	100	0,2	1800	0,022	0,0022
	1	12-0	100	0,2	1800	0,022	0,0022
	1	12-0	100	0,2	1800	0,022	0,0022
4	6	6	100	0,2	2000	0,03	0,003
5	6	6	100	0,2	2000	0,01	0,001
6	1	12	100	0,2	1800	0,031	0,0031
	1	10	100	0,2	1800	0,031	0,0031
	1	8	100	0,2	2000	0,028	0,0028
	1	6	100	0,2	2000	0,028	0,0028
7	1	12	100	0,2	1800	0,031	0,0031
					Σ	0,277	0,0277
						$t_{asLcelkovy}$	0,3047

Vzorový výpočet pro 4. operaci (vrtání) z tab. 2.XY:

$$n = \frac{10^3 * v_c}{\pi * D} = \frac{10^3 * 100}{\pi * 6} = 5\,305 \text{ min}^{-1} \Rightarrow 2\,000 \text{ min}^{-1}$$

$$t_{as} = \frac{l_i}{n * f} = \frac{1 + 4 + 1}{2\,000 * 0,2} = 0,03 \text{ min}$$

$$t_{av} = \frac{t_{as}}{10} = \frac{0,03}{10} = 0,003 \text{ min}$$

Tab. 2.33: Strojní časy pro obráběcí stroje – Ložiskového šroubu gyroskopu

Strojní časy pro obráběcí stroje – Ložisko gyroskopu		
Typ stroje	Označení	Strojní čas [min]
Strojní soustruh BERNARDO	t_{asLS}	0,3047
Vrtačko-frézka BERNARDO	t_{asLVF}	0

2.2.1.5 Propočet strojního času – Ložiskového šroubu gyroskopu

Tab. 2.34: Propočet strojního času – Ložiskového šroubu gyroskopu

Propočet strojního času – Ložiskového šroubu gyroskopu							
Číslo operace (tab. 2.24)	a_p	D	v_c	f	n	$t_{asLŠ}$	$t_{avLŠ}$
	[mm]	[mm]	[m*min ⁻¹]	[mm]	[min ⁻¹]	[min]	[min]
3	1	12-0	100	0,2	1800	0,022	0,0022
	1	12-0	100	0,2	1800	0,022	0,0022
	1	12-0	100	0,2	1800	0,022	0,0022
	1	12-0	100	0,2	1800	0,022	0,0022
4	6	6	100	0,2	2000	0,03	0,003
5	1	12	100	0,2	1800	0,022	0,0022
6	1	12	100	0,2	1800	0,04	0,004
	1	10	100	0,2	1800	0,04	0,004
	1	8	100	0,2	2000	0,035	0,0035
	1	6	100	0,2	2000	0,035	0,0035
8		6	200	1	2000	0,625	0,0625
10	2,5	2	100	0,09	2200	0,07	0,007
Σ						0,985	0,0985
$t_{asLŠcelkovy}$						1,0835	

Vzorový výpočet pro 3. operaci (soustružení čela) z tab. 2.34:

$$n = \frac{10^3 * v_c}{\pi * D} = \frac{10^3 * 100}{\pi * 12} = 2\,652 \text{ min}^{-1} \Rightarrow 1\,800 \text{ min}^{-1}$$

$$t_{as} = 4 * \frac{l_i}{n * f} = 4 * \frac{8}{1\,800 * 0,2} = 0,088 \text{ min}$$

$$t_{av} = \frac{t_{as}}{10} = \frac{0,088}{10} = 0,0088 \text{ min}$$

Tab. 2.35: Strojní časy pro obráběcí stroje – Ložiskového šroubu gyroskopu

Strojní časy pro obráběcí stroje – Ložiskového šroubu gyroskopu		
Typ stroje	Označení	Strojní čas [min]
Strojní soustruh BERNARDO	$t_{asLŠS}$	1,0065
Vrtačko-frézka BERNARDO	$t_{asLŠVF}$	0,077

2.2.2 Výpočet normy spotřeba materiálu

Dalším důležitým aspektem výpočtu výrobních nákladů, je rovněž výpočet spotřeby konstrukčního materiálu. Tento výpočet je tak nedílnou součástí vyhodnocení výroby navrhovaného gyroskopu.

K výpočtu celkové spotřeby materiálu slouží následující rovnice:

- Hmotnost hotové součásti: U součástí navrhovaného gyroskopu jsou jejich hmotnosti určeny pomocí výpočtového modulu program Autodesk Inventor Professional 2015 [29].

$$Q_s \text{ [kg]}, \quad (2.17)$$

- Ztráta materiálu z nevyužitého konce tyče:

$$n = \frac{l}{L_i} \text{ [ks]}, \quad (2.18)$$

$$q_K = \frac{Q_K}{n} \text{ [kg]}, \quad (2.19)$$

kde n označuje počet polotovaru z jedné tyče [ks], l zastupuje délku polotovarové tyče [mm], L_i je délka polotovaru [mm] a Q_K značí hmotnost daného polotovaru [kg] [29].

- Ztráta materiálu vzniklá dělením tyče:

$$q_U = \frac{n_{iez} * u}{n} \text{ [kg]}, \quad (2.20)$$

kde $n_{řez}$ zastupuje počet řezů [ks], u označuje velikost prořezu [mm] a n je počet polotovaru z jedné tyče [ks] [29].

- Ztráta vzniklá obráběním:

$$q_o = Q_K - Q_S [kg], \quad (2.21)$$

kde je Q_K hmotnost polotovaru [kg] a Q_S hmotnost hotové součásti [kg] [29].

- Celkové ztráty:

$$Z_m = q_K + q_U + q_o [kg], \quad (2.22)$$

kde q_K , q_U a q_o jsou již výše zmíněné ztráty [29].

- Norma spotřeby materiálu:

$$N_m = Q_S + Z_m [kg], \quad (2.23)$$

kde Q_S označuje hmotnost hotové součásti [kg] a Z_m jsou celkové ztráty [kg] [29].

- Celková spotřeba materiálu pro danou součást:

$$Sp_{rok} = N_m * mn_{rok} [kg], \quad (2.24)$$

kde N_m normu spotřeby materiálu [kg] a mn_{rok} označuje roční objem výroby [ks] [29].

- Cena materiálu pro danou součást:

$$C_{Mi} = Sp_{rok} * c_{Rkg} [Kč], \quad (2.25)$$

Kde Sp_{rok} je celková spotřeba materiálu pro danou součást [kg] a c_{ikg} vyjadřuje cenu 1 kg materiálu [Kč] [29].

2.2.2.1 Spotřeba materiálu – Rotor gyroskopu

Zadané hodnoty pro výpočet:

- Polotovar: $\emptyset 80 - 24$ ČSN 42 3016
- Polotovarová tyč: $\emptyset 80 - 6000$ ČSN 42 3016
- Hmotnost polotovaru (hrubá hmotnost): $Q_{KR} = 1,07$ kg
- Hmotnost hotové součásti (čistá hmotnost): $Q_{SR} = 0,45$ kg
- Cena 1 kg materiálu: $c_{Rkg} = 338,80$ Kč (bez DPH) [<https://www.nevyko.cz>]
- Roční objem výroby: $mn_{rok} = 1\ 000$ ks

Výpočet spotřeby materiálu rotoru gyroskopu:

- Ztráta materiálu z nevyužitého konce tyče (podle vztahů 2.18 a 2.19):

$$n = \frac{l}{L_R} = \frac{6000}{24} = 250 \text{ ks}$$

$$q_K = \frac{Q_{KR}}{n} = \frac{1,07}{250} = 4,28 * 10^{-3} \text{ kg}$$

- Ztráta materiálu vzniklá dělením tyče (podle vztahu 2.20):

$$q_U = \frac{n_{\check{r}ez} * u}{n} = \frac{248 * 0,015}{250} = 0,015 \text{ kg}$$

- Ztráta vzniklá obráběním (podle vztahu 2.21):

$$q_O = Q_{KR} - Q_{SR} = 1,07 - 0,45 = 0,62 \text{ kg}$$

- Celkové ztráty (podle vztahu 2.22):

$$Z_m = q_K + q_U + q_O = 4,28 * 10^{-3} + 0,015 + 0,62 = 0,6393 \text{ kg}$$

- Norma spotřeby materiálu (podle vztahu 2.23):

$$N_m = Q_{SR} + Z_m = 0,45 + 0,6393 = 1,0893 \text{ kg}$$

- Celková spotřeba materiálu pro rotor gyroskopu (podle vztahu 2.24):

$$Sp_{rok} = N_m * mn_{rok} = 1,0893 * 1000 = 1\,089,3 \text{ kg}$$

- Cena materiálu rotoru gyroskopu (podle vztahu 2.25):

$$C_{MR} = Sp_{rok} * c_{Rkg} = 1\,089,3 * 338,80 = 369\,054,84 \text{ Kč}$$

2.2.2.2 Spotřeba materiálu – Hřidel gyroskopu

Zadané hodnoty pro výpočet:

- Polotovar: $\emptyset 9 - 85$ ČSN 41 2050
- Polotovarová tyč: $\emptyset 9 - 6000$ ČSN 41 2050
- Hmotnost polotovaru (hrubá hmotnost): $Q_{KH} = 0,042 \text{ kg}$
- Hmotnost hotové součásti (čistá hmotnost): $Q_{SH} = 0,016 \text{ kg}$
- Cena 1 kg materiálu: $c_{Hkg} = 23,77 \text{ Kč}$ (bez DPH) [<https://www.kondor.cz>]
- Roční objem výroby: $mn_{rok} = 1\,000 \text{ ks}$

Výpočet spotřeby materiálu hřídele gyroskopu:

- Ztráta materiálu z nevyužitého konce tyče (podle vztahů 2.18 a 2.19):

$$n = \frac{l}{L_H} = \frac{6000}{85} = 70,59 \rightarrow 70 \text{ ks}$$

$$q_K = \frac{Q_{KH}}{n} = \frac{0,042}{70} = 6 * 10^{-4} \text{ kg}$$

- Ztráta materiálu vzniklá dělením tyče (podle vztahu 2.20):

$$q_U = \frac{n_{řez} * u}{n} = \frac{68 * 0,015}{70} = 0,0146 \text{ kg}$$

- Ztráta vzniklá obráběním (podle vztahu 2.21):

$$q_O = Q_{KH} - Q_{SH} = 0,042 - 0,016 = 0,026 \text{ kg}$$

- Celkové ztráty (podle vztahu 2.22):

$$Z_m = q_K + q_U + q_O = 6 * 10^{-4} + 0,0146 + 0,026 = 0,0412 \text{ kg}$$

- Norma spotřeby materiálu (podle vztahu 2.23):

$$N_m = Q_{SH} + Z_m = 0,016 + 0,0412 = 0,0572 \text{ kg}$$

- Celková spotřeba materiálu pro rotor gyroskopu (podle vztahu 2.24):

$$Sp_{rok} = N_m * mn_{rok} = 0,0572 * 1000 = 57,2 \text{ kg}$$

- Cena materiálu hřídele gyroskopu (podle vztahu 2.25):

$$C_{MH} = Sp_{rok} * c_{Hkg} = 57,2 * 23,77 = 1\,359,644 \text{ Kč}$$

2.2.2.3 Spotřeba materiálu – Obalové klece gyroskopu

Zadané hodnoty pro výpočet:

- Polotovar: Tr Ø 100 – 12 ČSN 42 4203
- Polotovarová tyč: Tr Ø 100 – 6000 ČSN 42 4203
- Hmotnost polotovaru (hrubá hmotnost): $Q_{KOK} = 0,092 \text{ kg}$
- Hmotnost hotové součásti (čistá hmotnost): $Q_{SOK} = 0,055 \text{ kg}$
- Cena 1 kg materiálu: $c_{OKkg} = 120 \text{ Kč}$ (bez DPH) [<https://www.ehlinik.cz>]
- Roční objem výroby: $mn_{rok} = 1\,000 \text{ ks}$

Výpočet spotřeby materiálu obalové klece gyroskopu:

- Ztráta materiálu z nevyužitého konce tyče (podle vztahů 2.18 a 2.19):

$$n = \frac{l}{L_{OK}} = \frac{6000}{12} = 500 \text{ ks}$$

$$q_K = \frac{Q_{KOK}}{n} = \frac{0,092}{500} = 1,84 * 10^{-4} \text{ kg}$$

- Ztráta materiálu vzniklá dělením tyče (podle vztahu 2.20):

$$q_U = \frac{n_{řez} * u}{n} = \frac{498 * 0,015}{500} = 0,0149 \text{ kg}$$

- Ztráta vzniklá obráběním (podle vztahu 2.21):

$$q_O = Q_{KOK} - Q_{SOK} = 0,092 - 0,055 = 0,037 \text{ kg}$$

- Celkové ztráty (podle vztahu 2.22):

$$Z_m = q_K + q_U + q_O = 1,84 * 10^{-4} + 0,0149 + 0,037 = 0,052 \text{ kg}$$

- Norma spotřeby materiálu (podle vztahu 2.23):

$$N_m = Q_{SOK} + Z_m = 0,055 + 0,052 = 0,107 \text{ kg}$$

- Celková spotřeba materiálu pro rotor gyroskopu (podle vztahu 2.24):

$$Sp_{rok} = N_m * mn_{rok} = 0,107 * 1000 = 107 \text{ kg}$$

- Cena materiálu obalové klece gyroskopu (podle vztahu 2.25):

$$C_{MOK} = Sp_{rok} * c_{OKkg} = 107 * 120 = 12\,840 \text{ Kč}$$

2.2.2.4 Spotřeba materiálu – Ložiska gyroskopu

Zadané hodnoty pro výpočet:

- Polotovar: $\emptyset 12 - 28$ ČSN 42 3016
- Polotovarová tyč: $\emptyset 12 - 6000$ ČSN 42 3016
- Hmotnost polotovaru (hrubá hmotnost): $Q_{KL} = 0,028 \text{ kg}$
- Hmotnost hotové součásti (čistá hmotnost): $Q_{SL} = 0,01 \text{ kg}$
- Cena 1 kg materiálu: $c_{Lkg} = 393,80 \text{ Kč}$ (bez DPH) [<https://www.nevyko.cz>]
- Roční objem výroby: $mn_{rok} = 1\,000 \text{ ks}$

Výpočet spotřeby materiálu ložiska gyroskopu:

- Ztráta materiálu z nevyužitého konce tyče (podle vztahů 2.18 a 2.19):

$$n = \frac{l}{L_L} = \frac{6000}{28} = 214,286 \rightarrow 214 \text{ ks}$$

$$q_K = \frac{Q_{KL}}{n} = \frac{0,028}{214} = 1,31 * 10^{-4} \text{ kg}$$

- Ztráta materiálu vzniklá dělením tyče (podle vztahu 2.20):

$$q_U = \frac{n_{řez} * u}{n} = \frac{213 * 0,015}{214} = 0,0149 \text{ kg}$$

- Ztráta vzniklá obráběním (podle vztahu 2.21):

$$q_O = Q_{KL} - Q_{SL} = 0,028 - 0,01 = 0,018 \text{ kg}$$

- Celkové ztráty (podle vztahu 2.22):

$$Z_m = q_K + q_U + q_O = 1,31 * 10^{-4} + 0,0149 + 0,018 = 0,033 \text{ kg}$$

- Norma spotřeby materiálu (podle vztahu 2.23):

$$N_m = Q_{SL} + Z_m = 0,01 + 0,033 = 0,043 \text{ kg}$$

- Celková spotřeba materiálu pro rotor gyroskopu (podle vztahu 2.24):

$$Sp_{rok} = N_m * mn_{rok} = 0,043 * 1000 = 43 \text{ kg}$$

- Cena materiálu ložiska gyroskopu (podle vztahu 2.25):

$$C_{ML} = Sp_{rok} * c_{Lkg} = 43 * 393,8 = 16\,933,4 \text{ Kč}$$

2.2.2.5 Spotřeba materiálu – Ložiskového šroubu gyroskopu

Zadané hodnoty pro výpočet:

- Polotovar: $\emptyset 12 - 21$ ČSN 42 3016
- Polotovarová tyč: $\emptyset 12 - 6000$ ČSN 42 3016
- Hmotnost polotovaru (hrubá hmotnost): $Q_{KL\check{s}} = 0,021 \text{ kg}$
- Hmotnost hotové součásti (čistá hmotnost): $Q_{SL\check{s}} = 0,006 \text{ kg}$
- Cena 1 kg materiálu: $c_{L\check{s}kg} = 393,80 \text{ Kč}$ (bez DPH) [<https://www.nevyko.cz>]
- Roční objem výroby: $mn_{rok} = 1\,000 \text{ ks}$

Výpočet spotřeby materiálu ložiska gyroskopu:

- Ztráta materiálu z nevyužitého konce tyče (podle vztahů 2.18 a 2.19):

$$n = \frac{l}{L_{L\dot{S}}} = \frac{6000}{21} = 285,714 \rightarrow 285 \text{ ks}$$

$$q_K = \frac{Q_{KL\dot{S}}}{n} = \frac{0,021}{285} = 7,368 * 10^{-5} \text{ kg}$$

- Ztráta materiálu vzniklá dělením tyče (podle vztahu 2.20):

$$q_U = \frac{n_{\text{řez}} * u}{n} = \frac{284 * 0,015}{285} = 0,0149 \text{ kg}$$

- Ztráta vzniklá obráběním (podle vztahu 2.21):

$$q_O = Q_{KL\dot{S}} - Q_{SL\dot{S}} = 0,021 - 0,006 = 0,015 \text{ kg}$$

- Celkové ztráty (podle vztahu 2.22):

$$Z_m = q_K + q_U + q_O = 7,368 * 10^{-5} + 0,0149 + 0,015 = 0,03 \text{ kg}$$

- Norma spotřeby materiálu (podle vztahu 2.23):

$$N_m = Q_{SL\dot{S}} + Z_m = 0,006 + 0,03 = 0,036 \text{ kg}$$

- Celková spotřeba materiálu pro rotor gyroskopu (podle vztahu 2.24):

$$Sp_{rok} = N_m * mn_{rok} = 0,036 * 1000 = 36 \text{ kg}$$

- Cena materiálu ložiskového šroubu gyroskopu (podle vztahu 2.25):

$$C_{ML\dot{S}} = Sp_{rok} * c_{L\dot{S}kg} = 36 * 393,8 = 14\,176,8 \text{ Kč}$$

2.2.3 Výpočet trvanlivosti řezných nástrojů

Do výpočtu celkových výrovních nákladů nezbytně vstupují i náklady na řezné nástroje.

Výpočet nákladů na řezné nástroje se uskutečňuje pomocí následujících vztahů:

- Počet VBD:

$$N_{VBD} = \frac{T_a}{T} [\text{ks}], \quad (2.26)$$

kde T_a je celkový strojní čas (pro 1000 kusů) [min] a T zastupuje trvanlivost nástroje [min] [29].

- Celková cena VBD:

$$C_{VBD} = N_{VBD} * c_i \text{ [Kč]}, \quad (2.27)$$

Kde N_{VBD} označuje počet VBD [ks] a c_i je cena za daný řezný nástroj [Kč] [29].

Tab. 2.36: Trvanlivost řezných nástrojů

Trvanlivost řezných nástrojů					
Řezný nástroj	Trvanlinost	Cena	Strojní čas	Potřebný počet	Celková cena
	[min]	[Kč]	[min]	[ks]	[Kč]
CCMW 09T304	120	250	0,944	8	2 000
CCMW 09T304 FP	120	250	2,792	24	6 000
860.1 5800 017A1 NM	70	200	0,2	3	600
2P121 1400 NC	100	250	0,056	1	250
435.T 0600 A1 XF	45	400	0,033	1	400
CCMG 090308 FP	120	250	0,515	5	1 250
2P340 0400 PA	100	250	0,02	1	250
R840 0100 70 A0B	70	200	0,018	1	200
R840 0470 50 A1A	70	200	0,05	1	200
R840 0600 50 A1A	70	200	0,12	2	400
E358 M6	200	230	0,625	4	920
2P340 0200 NA	100	250	0,07	1	250
266RFG 1MM03 A100M	200	230	0,625	4	920
				Σ_{VBD}	13 640

[sandvik katalog]

Vzorový výpočet pro CCMW 09T304 FP z tab. 2.36:

- Počet VBD (podle vztahu 2.26):

$$N_{VBD} = \frac{T_a}{T} = \frac{2,792 * 1000}{120} = 23,26 \rightarrow 24 \text{ ks}$$

Celková cena VBD (podle vztahu 2.27):

$$C_{VBD} = N_{VBD} * c_2 = 24 * 250 = 6 000 \text{ Kč}$$

2.2.4 Výpočet spotřeby energií

Posledním kusem do skládačky celkových výrobních nákladů jsou náklady spojené se spotřebovanou elektrickou energií v průběhu obrábění. Do výpočtu tohoto typu nákladu vstupuje největší měrou příkon jednotlivých strojů, dále pak cena elektrické energie a směnovost daného provodu.

Výpočet je realizován pomocí následujících vztahů:

- Potřebný počet normohodin:

$$T_{Na} = \frac{t_{asj} * mn_{rok}}{60} [h], \quad (2.28)$$

kde t_{asj} představuje strojní čas pro dány stroj [min] a mn_{rok} je celkový objem výroby [ks] [29].

- Směnnost:

$$s = \frac{T_{Na}}{Ef} [-], \quad (2.29)$$

Kde T_{Na} označuje počet potřebných normohodin [h] a Ef je hodinový fond stroje pro jednosměnný provoz [$h * rok^{-1} * směna^{-1}$] [29].

- Spotřeba elektrické energie:

$$E = s * P * T_{Na} [kW * h], \quad (2.30)$$

kde s představuje směnnost [-], P zastupuje příkon daného obráběcího stroje [kW] a T_{Na} je počet potřebných normohodin [h] [29].

- Cena elektrické energie:

$$C_{ELj} = c_{kWh} * E [Kč], \quad (2.31)$$

Kde c_{kWh} je cena za 1 kWh elektrické energie [$Kč * kW^{-1} * h^{-1}$] a E označuje spotřebovanou elektrickou energii [$kW * h$] [29].

2.2.4.1 Spotřeba elektrické energie – Stolní soustruh BERNARDO

Zadané hodnoty pro výpočet:

- Příkon stroje: $P = 2,2$ kW
- Hodinový fond stroje pro jednosměnný provoz: $Ef = 1\,900$ $h * rok^{-1} * směna^{-1}$
- Cena 1 $kW * h$: $c_{kWh} = 4$ Kč
- Roční objem výroby: $mn_{rok} = 1\,000$ ks

Výpočet spotřeby elektrické energie pro stolní soustruh BERNARDO:

- Potřebný počet normohodin (podle vztahu 2.28):

$$\begin{aligned} T_{Na} &= \frac{t_{asj} * mn_{rok}}{60} = \frac{(t_{asGS} + t_{asHS} + t_{asOKS} + t_{asLS} + t_{asLŠS}) * mn_{rok}}{60} \\ &= \frac{(2,9227 + 0,5665 + 1,0615 + 0,3047 + 1,0065) * 1000}{60} \\ &= 98 \text{ h} \end{aligned}$$

- Směnnost (podle vztahu 2.29):

$$s = \frac{T_{Na}}{E_f} = \frac{98}{1\,900} = 0,0516 \rightarrow 1$$

- Spotřeba elektrické energie (podle vztahu 2.30):

$$E = s * P * T_{Na} = 1 * 2,2 * 98 = 215,6 \text{ kWh}$$

- Cena elektrické energie (podle vztahu 2.31):

$$C_{ELS} = c_{kWh} * E = 4 * 215,6 = 862,4 \text{ Kč}$$

2.2.4.2 Spotřeba elektrické energie – Vrtačko-frézka BERNARDO

Zadané hodnoty pro výpočet:

- Příkon stroje: $P = 2,2 \text{ kW}$
- Hodinový fond stroje pro jednosměnný provoz: $E_f = 1\,900 \text{ h} \cdot \text{rok}^{-1} \cdot \text{směna}^{-1}$
- Cena 1 kWh: $c_{kWh} = 4 \text{ Kč}$
- Roční objem výroby: $mn_{rok} = 1\,000 \text{ ks}$

Výpočet spotřeby elektrické energie pro stolní soustruh BERNARDO:

- Potřebný počet normohodin (podle vztahu 2.28):

$$T_{Na} = \frac{t_{asj} * mn_{rok}}{60} = \frac{(t_{asGVF} + t_{asHVf} + t_{asOKVF} + t_{asLVF} + t_{asLŠVF}) * mn_{rok}}{60} \\ = \frac{(0,0616 + 0,0498 + 0,7975 + 0 + 0,077) * 1000}{60} = 17 \text{ h}$$

- Směnnost (podle vztahu 2.29):

$$s = \frac{T_{Na}}{E_f} = \frac{17}{1\,900} = 0,0089 \rightarrow 1$$

- Spotřeba elektrické energie (podle vztahu 2.30):

$$E = s * P * T_{Na} = 1 * 2,2 * 17 = 37,4 \text{ kWh}$$

- Cena elektrické energie (podle vztahu 2.31):

$$C_{ELVF} = c_{kWh} * E = 4 * 37,4 = 149,6 \text{ Kč}$$

2.2.5 Celkové výrobní náklady

Celkové výrobní náklady a vyrovnání náklady na výrobu jednoho kusu navrhovaného gyroskopu jsou nejdůležitějším výsledkem této bakalářské práce.

Tyto celkové výrobní náklady, poťážmo náklady na 1 kus, jsou vypočteny pomocí jednoduchého součtu dílčích nákladů vypočtených v předchozích krocích.

- Celkové výrobní náklady:

$$\begin{aligned}C_{CEL} &= C_{MR} + C_{MH} + C_{MOK} + C_{ML} + C_{MLŠ} + C_{\Sigma VBD} + C_{ELS} + C_{ELVF} \\ &= 396054,84 + 1359,644 + 12840 + 16933,4 + 14176,8 + 13640 \\ &\quad + 862,4 + 149,6 = 456\,016,684 \text{ Kč}\end{aligned}$$

- Výrobní náklady na 1 kus:

$$C_{1ks} = \frac{C_{CEL}}{mn_{rok}} = \frac{456\,016,684}{1000} = 456,017 \text{ Kč}$$

3 DISKUSE

V průběhu řešení této bakalářské práce se vyskytlo několik problémů a nesrovnalostí, pro které bylo potřeba navrhnout vhodné řešení. Drobné problémy se vyskytly prakticky v každém kroku návrhu výroby gyroskopu. V následujících odstavcích jsou tyto problémy diskutovány společně s jejich příčinami a zvolenými řešeními.

3.1 Značení polotovarů

První a největší problém při řešení návrhu výroby nastal při určování označení polotovarů pro jednotlivé součásti navrhovaného gyroskopu.

Napříč několika použitými zdroji ([25], [26], [30]) panuje nejednotnost ve značení oněch polotovarů. Bylo zvoleno relativně jednoduché řešení, které spojuje přístup více zdrojů. Polotovary jsou tedy značeny pomocí charakteristického rozměru následovaného označením materiálu podle ČSN (např. Tr Ø 100 – 12 ČSN 42 4203).

3.2 Polotovar obalové klece

V návaznosti na předchozí odstavec se vyskytnul další neméně závažný problém, který bylo třeba řešit. Při volbě polotovarů obalové klece navrhovaného gyroskopu bylo možné vybírat ze dvou variant provedení.

První variantou pro polotovar obalové klece byla tlustá hliníková deska, ze které by byl polotovar vyřezáván některou ze speciálních dělicích metod (laserové řezání, řezání vodním paprskem atd.). Variantou číslo dvě pak byla tlustostěnná hliníková trubka daného průměru. U této varianty ale reálně hrozí zploštění dané trubky, tedy její nedokonalá kruhovitost. Tato varianta (Tr Ø 100 – 12 ČSN 42 4203) se však nakonec ukázala vhodnější, a to z důvodu mnohonásobně větší úspory materiálu oproti první variantě.

3.3 Přídavky na obrábění

Velkou neznámou při návrhování výroby bylo určení optimální velikosti přídavků na obrábění. Tyto přídavky jsou v bakalářské práci vypočteny pomocí teoretických vztahů k tomu určených. Jedná se ovšem pouze o teoretické hodnoty, které nezohledňují skutečný stav obráběcích strojů, na kterých bude součást vyráběna. U nových velice přesných obráběcích strojů se zvolené přídavky mohou jevit naprosto přemrštěné. Naopak pro výrobu na letitých, hovorově řečeno „nabořených“, obráběcích strojích by nemusely dostačovat.

Z tohoto důvodu jsou tedy voleny teoretické přídavky na obrábění. Právě ve volbě velikostí přídavků na obrábění lze spatřovat velký prostor pro případnou optimalizaci navrhované výroby.

3.4 Spojování součástí

U navrhovaného gyroskopu se vyskytují místa, kde je zapotřebí spojit dvě součásti rozdílných kovových materiálů (rotor gyroskopu + hřídel gyroskopu, obalová klec gyroskopu + ložisko gyroskopu). Pro tyto spoje je zvoleno speciální lepidlo Loctite 603. Jedná se o lepidlo, které primárně slouží k lepení ložisek na předem předpřipravená místa. Dalším jeho použitím je lepení lícovaných válcových součástí, což je přesně případ navrhovaného gyroskopu.

3.5 Trvanlivost řezných nástrojů

Posledním zde diskutovaným problémem při řešení návrhu a následného vyhodnocení výroby bylo přesné určení trvanlivosti jednotlivých řezných materiálů.

V katalozích dostupných od výrobců řezných nástrojů nejsou hodnoty trvanlivostí uváděny přesně, jsou zde pouze naznačeny v poměrně širokém časovém intervalu. Velikost tohoto intervalu závisí na mnoha proměnných (tvrdost obráběného materiálu, způsob chlazení řezného procesu atd.), které ovlivňují řezný proces.

Z důvodu toho, že daný návrh výroby je pouze teoretický, bylo nutné zvolit adekvátní hodnotu trvanlivosti. Proto byla zvolena vždy střední hodnota daného intervalu (např. $T = 80$ až 160 min, zvoleno $T = 120$ min). Optimalizací řezných podmínek lze trvanlivost řezných nástrojů zvyšovat, což má kladný vliv na výsledné výrobní náklady.

ZÁVĚR

Bakalářská práce se zabývá návrhem výroby gyroskopu a jejím následným vyhodnocením. Tento navržený gyroskop by měl sloužit jako přenosná učební pomůcka, určená pro vizualizaci gyroskopických jevů.

První část práce, jenž je pojata jako rešeršní studie, se věnuje shrnutí obecného vědění o gyroskopech. Tato rešerše obsahuje stručný popis historického vývoje gyroskopu. Dále je zde možné narazit na výčet moderních typů gyroskopů a praktické příklady jejich každodenního využití. V neposlední řadě první část práce osvětluje matematický popis jednotlivých gyroskopických jevů, a to za pomoci matematických a fyzikálních vztahů.

Zatímco první část práce zkoumá gyroskop pouze teoreticky, druhá část se na něj zaměřuje čistě z praktického hlediska. Hlavní náplní druhé části bakalářské práce je krokový návrh výroby gyroskopu, který je vzápětí podroben technicko-ekonomickému vyhodnocení. Návrh výroby se snaží co nejpřesněji kopírovat návrhový postup komerčních firem, které produkují podobná zařízení. Pro názornost je návrh výroby řazen v postupových krocích. Zde je možno pozorovat návrh výroby od vzniku trojrozměrného modelu, přes výběr vhodného konstrukčního materiálu až po volbu řezných nástrojů. Jako poslední krok návrhu výroby je pro každou součást gyroskopu sepsán rámcový návrh výroby, který detailně popisuje postup při výrobě daných součástí.

Dále je vypracována technicko-ekonomická kalkulace výrobních nákladů navrhovaného gyroskopu. Z výpočtů pak vyplývá, že celkové náklady na celou sérii (1000 kusů) činí 456 016,70 Kč, což znamená necelých 456,02 Kč za jeden vyrobený kus. V porovnání s komerčně dostupnými gyroskopy, které je možné pořídit za cenu mezi 250 až 400 Kč s DPH, se jedná o poměrně drahé zařízení. Je ovšem nutné podotknout, že návrh výroby je vyhotoven pro malou až středně velkou dílnu, tedy pro malosériovou výrobu. Při hlubším rozboru vyhodnocení je patrné, že největší část výsledných nákladů, skoro 91%, je způsobena cenou konstrukčních materiálů (414,4 Kč na 1 vyrobený gyroskop). Právě cena materiálu je jedna z nevýhod malosériové výroby. Při správné optimalizaci návrhu výroby a práci na větších sériích lze počítat s poklesem výrobních nákladů, tedy s množstevními slevami na nákup konstrukčního materiálu a úsporami z rozsahu velkosériové výroby.

REJSTŘÍK ZDROJŮ

- [1] Gyroscope. In: *Oxford Dictionaries* [online]. Oxford: Oxford University Press, c2017 [cit. 2017-03-19]. Dostupné z: <https://en.oxforddictionaries.com/definition/gyroscope>.
- [2] ŠTOLL, Ivan. *Mechanika*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1995, 209 s. ISBN 80-01-01369-3.
- [3] K'DOAH RANGE, Shannon a Jennifer MULLINS. Brief History of Gyroscopes. *Solar System Exploration: Science and Technology* [online]. February 2011. [cit. 2017-03-19]. Dostupné z: http://solarsystem.nasa.gov/scitech/display.cfm?ST_ID=327
- [4] *Gyroscopes* [online]. London: Glenn Turner, c2017 [cit. 2017-03-19]. Dostupné z: <http://www.gyroscopes.org>.
- [5] BAJER, Jiří. *Mechanika. 2. 2., rozš. a dopl. vyd.* Olomouc: Vladimír Chlup, 2008, viii, 487 s. ISBN 978-80-903958-1-7.
- [6] HIBBELER, R. C. *Engineering mechanics: statistics and dynamics*. 7th ed. Englewood Cliffs, N. J.: London: Prentice Hall; Prentice-Hall International (UK), 1995, xvi, 624 s. ISBN 0-02-354761-8.
- [7] ROZELLE, David M. *The Hemispherical Resonator Gyro: From Wineglass to the Planets* [online]. [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: <http://www.northropgrumman.com/Capabilities/HRG/Documents/hrg.pdf>
- [8] STERNBERG, H. a C. SCHWALM. *Qualification process for MEMS gyroscopes for the use in navigation systems* [online]. [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: https://web.archive.org/web/20111002084552/http://www.isprs.org/proceedings/XXXVI/5-C55/www.cirgeo.unipd.it/cirgeo/convegni/mmt2007/proceedings/papers/sternberg_harald.pdf
- [9] MAY, David, Michael K. MASTEN a Larry A. STOCKUM. Modeling the dynamically tuned gyroscope in support of high-bandwidth capture loop design [online]. In: *Spiedigitallibrary.org: Acquisition, Tracking, and Pointing XIII*. 1999. [cit. 2017-05-16]. DOI: 10.1117/12.352852. Dostupné z: <http://proceedings.spiedigitallibrary.org/proceeding.aspx?doi=10.1117/12.352852>
- [10] LEFEVRE, Herve C. *The fiber-optic gyroscope*. Boston: Artech house, 2014, 391 s. ISBN 978-1-60807-695-5.
- [11] MACEK, Warren M. a D. T. M. DAVIS JR. *Rotation rate sensing with traveling-wave ring lasers* [online]. In: *Applied Physics Letters*, 1963, 2.3: 67-68. [cit. 2017-03-19]. DOI: <http://doi.org/10.1063/1.1753778>. Dostupné z: <http://aip.scitation.org/doi/abs/10.1063/1.1753778>.
- [12] TIME INC. The Gyroscope: Pilots ships and planes. *LIFE* [online]. New York: Time Inc, 1943, č. 11, s. 80-83 [cit. 2017-03-19]. ISSN 0024-3019. Dostupné z: https://books.google.cz/books?id=YIEEAAAAMBAJ&pg=PA82&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false

- [13] ANSCHÜTZ, J. G. a CO. *The Anschutz Gyro-Compass and Gyroscope Engineering*. Silicon Valley: Elliott-Laboratories Watchmaker Publishing, 2003, 116 s. ISBN 1-929148-12-7.
- [14] Segway [online]. New Hampshire: Segway Inc., c2017 [cit. 2017-03-19]. Dostupné z: <http://www.segway.com/>.
- [15] FERRARA, Serena. *Steadicam: Techniques and aesthetics*. Oxford: Focal Press, 2013, 182 s. ISBN 0-240-51607-9.
- [16] PORT. Kouzlo gyroskopů. In: iVysílání.cz [online]. 21. 10. 2009 [cit. 2017-03-19]. Dostupné z: <http://www.ceskatelevize.cz/porady/10121359557-port/487-kouzlo-gyroskopu/video/>
- [17] THE NEW YORK TIMES. How New Gyro Car Worked In London. *The New York Times* [online]. New York: The New York Times Inc, 1914, [cit. 2017-03-19]. Dostupné z: <http://query.nytimes.com/mem/archive-free/pdf?res=9E07E3D9173AE633A25754C1A9639C946596D6CF>
- [18] POPULAR MECHANICS MAGAZINE. Italien Liner to Defy the Waves. *Popular mechanics magazine* [online]. Chicago: Popular mechanics magazine Inc, 1931, č. 4, s. 626-632. [cit. 2017-03-19]. Dostupné z: https://books.google.cz/books?id=Y-IDAAAAMBAJ&printsec=frontcover&hl=cs&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- [19] *Seakeeper* [online]. California: Seakeeper Inc., c2016 [cit. 2017-03-19]. Dostupné z: <https://www.seakeeper.com>.
- [20] ŘASA, Jaroslav, Přemysl POKORNÝ a Vladimír GABRIEL. *Strojírenská technologie 3. 1. díl, Obráběcí stroje pro automatizovanou výrobu, fyzikální technologie obrábění*. Praha: Scientia, 2005, 256 s. ISBN 80-7183-207-3.
- [21] HUMÁR, A. *Technologie I: Technologie obrábění* [online]. VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2003, 138 s. [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf
- [22] HUMÁR, A. *Výrobní technologie II: Sylabus předmětu* [online]. VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2003, 84 s. [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/VyrobnTechnologie_II.pdf
- [23] FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
- [24] KOČMAN, K. a J. PERNIKÁR. *Ročníkový projekt II-obrábění* [online]. Studijní opory pro podporu samostudia v oboru "Strojírenská technologie" BS studijního programu "Strojírenství". VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2002, 27 s. [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: <http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory>
- [25] LEINVEBER, Jan, Jaroslav ŘASA a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky*. 3., dopl. vyd., dot. Praha: Scientia, 1999, 985 s. ISBN 80-7183-164-6.
- [26] SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE, Richard G. (Richard Gordon) BUDYNAS, Martin HARTL a Miloš VLK. *Konstruování strojních součástí*. V Brně: VUTIUM, 2010, xxv, 1159 s. ISBN 978-80-214-2629-0.

- [27] SANDVIK Coromant. *Soustružnické nástroje* [online]. Praha: SANDVIK Coromant 2015, 1253 s. [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: <http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/>
- [28] SANDVIK Coromant. *Rotační nástroje* [online]. Praha: SANDVIK Coromant 2015, 1500 s. [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: <http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/>
- [29] ZEMČÍK, O. *Technologické procesy* [online]. Studijní opory pro podporu samostudia v oboru "Strojírenská technologie" BS studijního programu "Strojírenství". VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2002, 54 s. [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: <http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/studijniopory/TechnProcesy.pdf>
- [30] SVOBODA, Pavel a Jan BRANDEJS. *Výběry z norem pro konstrukční cvičení*. Doplněné vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013, 234 s. ISBN 978-80-7204-838-0

SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
A	[%]	Tažnost
a_p	[mm]	Hloubka záběru
C_{1ks}	[Kč]	Cena za 1 vyrobený kus
C_{CEL}	[Kč]	Celkové výrobní náklady
C_{ELj}	[Kč]	Cena el. energie pro daný stroj
C_{kWh}	[Kč]	Cena za 1 kWh el. energie
C_{VBD}	[Kč]	Celková cena za VBD
c_i	[Kč]	Cena za daný řezný nástroj
C_{kg}	[Kč]	Cena za 1 kg materiálu
D	[m]	Průměr setrvačnicku
DTG		Dynamically Tuned Gyroscope
d_i	[mm]	Průměr dané součásti
E	[GPa]	Modul pružnosti v tahu
E	[kWh]	Spotřeba el. energie
E_f	[h*rok ⁻¹ *směna ⁻¹]	Hodinový fond stroje
f	[mm]	Posuv
f_z	[mm]	Posuv na zub
G	[GPa]	Modul pružnosti ve smyku
HRG		Hemispherical Resonator Gyroscope
J	[kg*m ²]	Moment setrvačnosti
J_i	[kg*m ²]	Moment setrvačnosti k dané ose
J_{ij}	[kg*m ²]	Deviační moment setrvačnosti k dané ose
L	[kg*m ² *s ⁻¹]	Moment hybnosti
L_i	[mm]	Délka polotovaru dané součásti
l_i	[mm]	Délka záběru dané součásti
l_j	[mm]	Délka součásti/tyče
M_s	[N*m]	Gyroskopický moment
m	[kg]	Hmotnost
mn_{rok}	[ks]	Roční objem výroby
N_M	[kg]	Norma spotřeby materiálu
N_{VBD}	[ks]	Počet VBD
n	[ks]	Počet kusů z 1 tyče
n	[min ⁻¹]	Otáčky
$n_{řez}$	[ks]	Počet řezů
P	[kW]	Příkon
p_{Di}	[mm]	Přidavek na délku daného polotovaru
p_{Pi}	[mm]	Přidavek na průměr daného polotovaru
Q_K	[kg]	Hmotnost hotové součásti
Q_S	[kg]	Hmotnost polotovaru
q_K	[kg]	Ztráty z nevyužitého konce tyče
q_O	[kg]	Ztráty obráběním
q_U	[kg]	Ztráty dělením tyče
R_e	[MPa]	Mez kluzu
R_m	[MPa]	Mez pevnosti
r	[m]	Rameno rotace
Sp_{rok}	[kg]	Celková spotřeba materiálu
s	[-]	Směnnost

T	[min]	Trvanlivost řezného nástroje
T_a	[min]	Celkový strojní čas
t_{asi}	[min]	Strojní čas dané součásti
t_{asj}	[min]	Strojní čas daného stroje
t_{avi}	[min]	Vedlejší strojní čas dané součásti
u	[mm]	Velikost prořezu
V	[m ³]	Objem
VBD		Výměnná břitová destička
VSG		Vibrating Structure Gyroscope
v_c	[m*min ⁻¹]	Řezná rychlost
v_e	[m*min ⁻¹]	Celková rychlost
v_f	[mm*min ⁻¹]	Posuvová rychlost
Z_m	[kg]	Celková ztráty
\varnothing_i	[mm]	Průměr dané součásti
Ω	[rad*s ⁻¹]	Celková úhlová rychlost
ω	[rad*s ⁻¹]	Okamžitá úhlová rychlost
ρ	[kg*m ⁻³]	Hustota
π		Ludolfovo číslo
III		Tenzor setrvačnosti

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1/1: Použité obráběcí stroje

Příloha 1/2: Použité obráběcí stroje

Příloha 1/3: Použité obráběcí stroje

Příloha 2/1: Použitá měřicí technika

Příloha 2/2: Použitá měřicí technika

Příloha 2/3: Použitá měřicí technika

Příloha 2/4: Použitá měřicí technika

Příloha 3: Výkres součásti: Rotor, č. BP – G – 1/6 – A3

Příloha 4: Výkres součásti: Hřídel, č. BP – G – 2/6 – A4

Příloha 5: Výkres součásti: Obalová klec, č. BP – G – 3/6 – A3

Příloha 6: Výkres součásti: Ložisko, č. BP – G – 4/6 – A4

Příloha 7: Výkres součásti: Ložiskový šroub, BP – G – 5/6 – A4

Příloha 8: Výkres sestavy: Gyroskop, BP – G – 6/6 – A3

Příloha 1/1: Použité obráběcí stroje

Pásová pila Ergonomic 275.230 DG



Obr. 1.1: Pásová pila BOMAR

Technické parametry:

- Výrobce: BOMAR
- Výkon: 1 500 W
- Rychlostní stupně: 2
- Řezná rychlost: 40/80 m*min⁻¹
- Prořez 45°: 190 mm
- Prořez 90°: 230 mm
- Napětí: 400 V
- Hmotnost: 310 kg
- Rozměry: 640x1 400x1 270 mm
- Cena s DPH: 48 388 Kč

Zdroj: BOUKAL – Stroje s lidskou péčí
Dostupné z: <https://www.shop.boukal.cz>

Příloha 1/2: Použité obráběcí stroje

Soustruh Bernardo Standard 165 D



Obr. 1.2: Stolní soustruh BERNARDO

Technické parametry:

- Výrobce: BERNARDO
- Výkon: 1 500 W (max. 2 200 W)
- Otáčky: 2 000 min⁻¹
- Rychlostní stupně: 8
- Napětí: 400 V
- Točná délka: 1 000 mm
- Točný průměr: 350 mm
- Hmotnost: 514 kg
- Rozměry: 1 730x700x1 340 mm
- Cena s DPH: 147 076 Kč

Zdroj: BOUKAL – Stroje s lidskou péčí
Dostupné z: <https://www.shop.boukal.cz>

Příloha 1/3: Použité obráběcí stroje

Vrtačko-frézka Bernardo FM 50 VM



Obr. 1.3: Vrtačko-frézka BERNARDO

Technické parametry:

- Výrobce: BERNARDO
- Výkon: 1 500 W (max. 2 200 W)
- Otáčky: 2 520 min⁻¹
- Rychlostní stupně: 12
- Napětí: 400 V
- Naklopení frézovací hlavy: ± 90°
- Rozměry stolu: 820x240 mm
- Vzdálenost vřetene a stolu: 120-410 mm
- Hmotnost: 310 kg
- Rozměry: 1 150x850x1 450 mm
- Cena s DPH: 118 792 Kč

Zdroj: BOUKAL – Stroje s lidskou péčí
Dostupné z: <https://www.shop.boukal.cz>

Příloha 2/1: Použitá měřicí technika

Absolutní digitální posuvné měřítko 0-150 mm



Obr. 1.1: Digitální posuvné měřítko SCHUT

Technické parametry:

- Výrobce: SCHUT
- Měřicí rozsah: 0-150 mm
- Přesnost: $\pm 0,05$ mm
- Numerický krok: 0,01 mm
- Délka ramene: 40 mm
- Přepínač mm/palce: ANO
- Přepínač ABS/relativní měření: ANO
- Maximální rychlost měření: $1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$
- Typ baterie: V357
- Cena s DPH: 896 Kč

Zdroj: SOMETCZ – Precision measurement systems.
Dostupné z: <http://www.sometcz.com>

Příloha 2/2: Použitá měřicí technika

Digitální mikrometr s indikací tolerance 0-25 mm



Obr. 1.2: Digitální mikrometr SCHUT

Technické parametry:

- Výrobce: SCHUT
- Měřicí rozsah: 0-25 mm
- Přesnost: $\pm 0,002$ mm
- Numerický krok: 0,001 mm
- Průměr dotyku: 6,5 mm
- Přepínač mm/palce: ANO
- Přepínač ABS/relativní měření: ANO
- Typ baterie: V357
- Cena s DPH: 2 856 Kč

Zdroj: SOMETCZ – Precision measurement systems.
Dostupné z: <http://www.sometcz.com>

Příloha 2/3: Použitá měřicí technika

M6 x1 6g Závitový kalibr - kroužek dobrý GO



Obr. 1.3: Příklad závitového kalibru SCHUT

Technické parametry:

- Výrobce: SCHUT
- Měřicí rozsah: M6x1 6g
- Přesnost: ISO 1502
- Stoupání: 1 mm
- Cena s DPH: 1 416 Kč

Zdroj: SOMETCZ – Precision measurement systems.
Dostupné z: <http://www.sometcz.com>

M6 x1 6H Závitový kalibr - oboustranný dobrý GO zmetkový NO GO



Obr. 1.4: Příklad závitového kalibru SCHUT

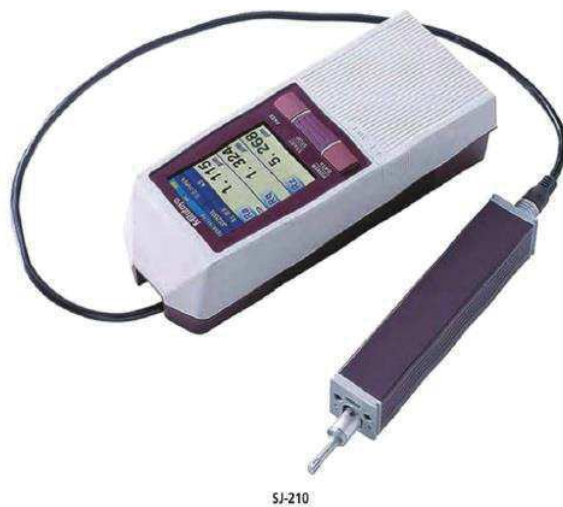
Technické parametry:

- Výrobce: SCHUT
- Měřicí rozsah: M6x1 6H
- Přesnost: ISO 1502
- Stoupání: 1 mm
- Cena s DPH: 1 666 Kč

Zdroj: SOMETCZ – Precision measurement systems.
Dostupné z: <http://www.sometcz.com>

Příloha 2/4: Použitá měřicí technika

Drsnoměr SJ 210



Obr. 1.5: Drsnoměr MITUTOYO

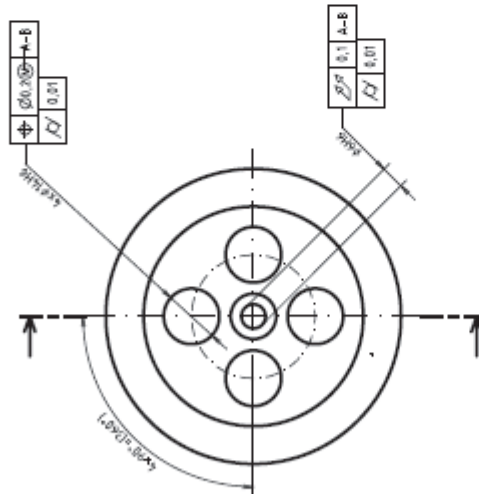
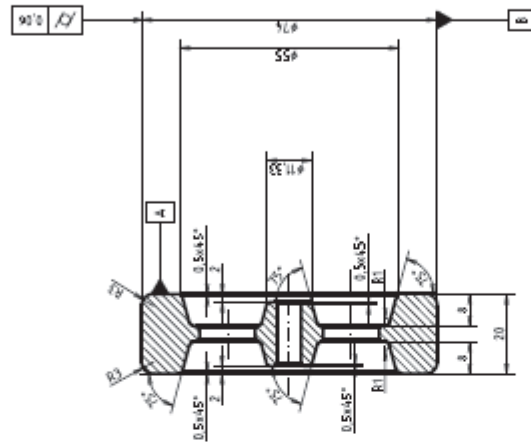
Technické parametry:

- Výrobce: MITUTOYO
- Snímací metoda: Indukční
- Měřicí rozsah: -200 až 150 μm
- Snímací hrot: Diamant
- Poloměr hrotu: 2 μm
- Poloměr páky: 40 mm
- Cena s DPH: 52 717 Kč

Zdroj: M&B Calibr, Ivančice

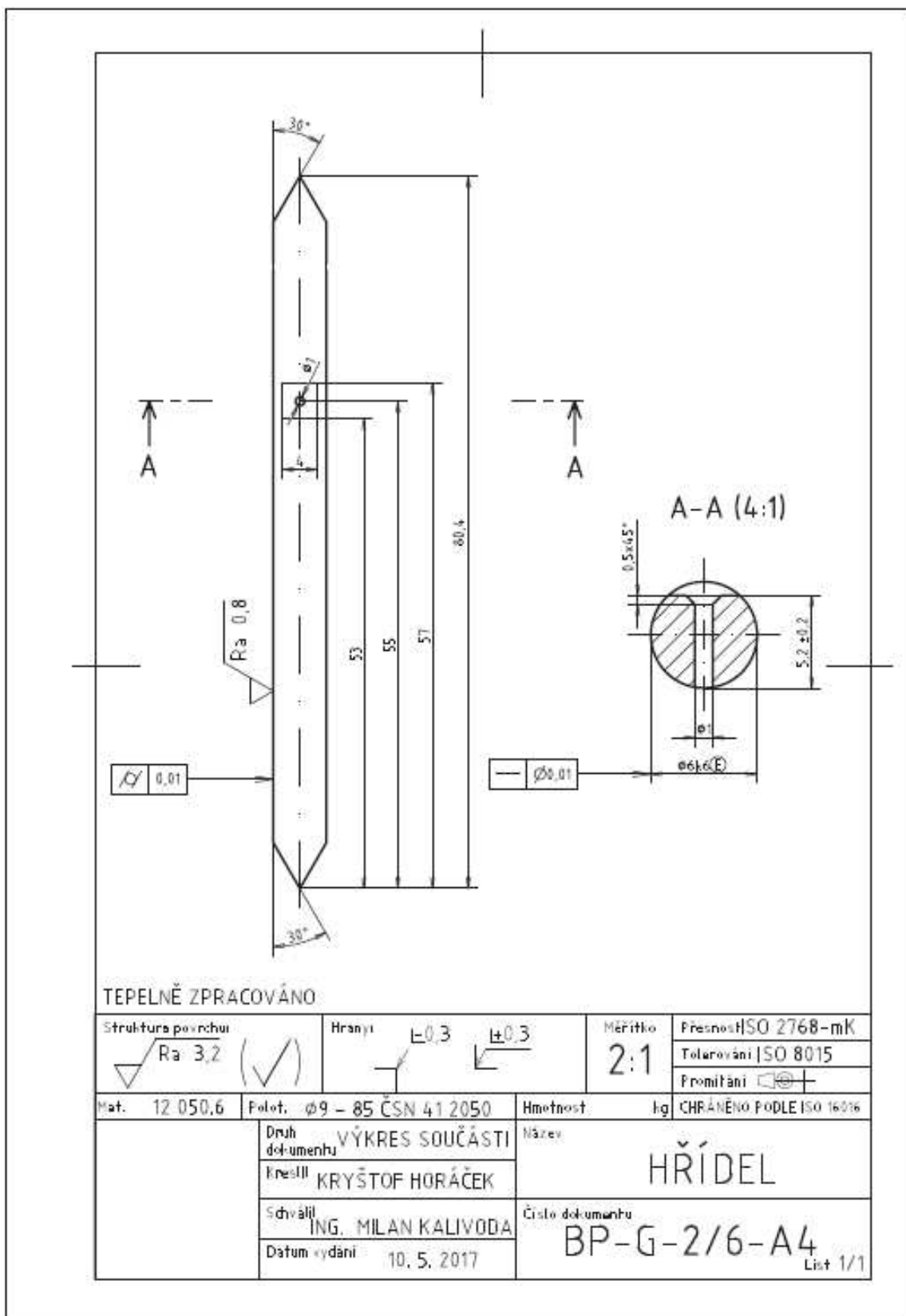
Dostupné z: <http://www.mbcaltibr.cz>

Příloha 3

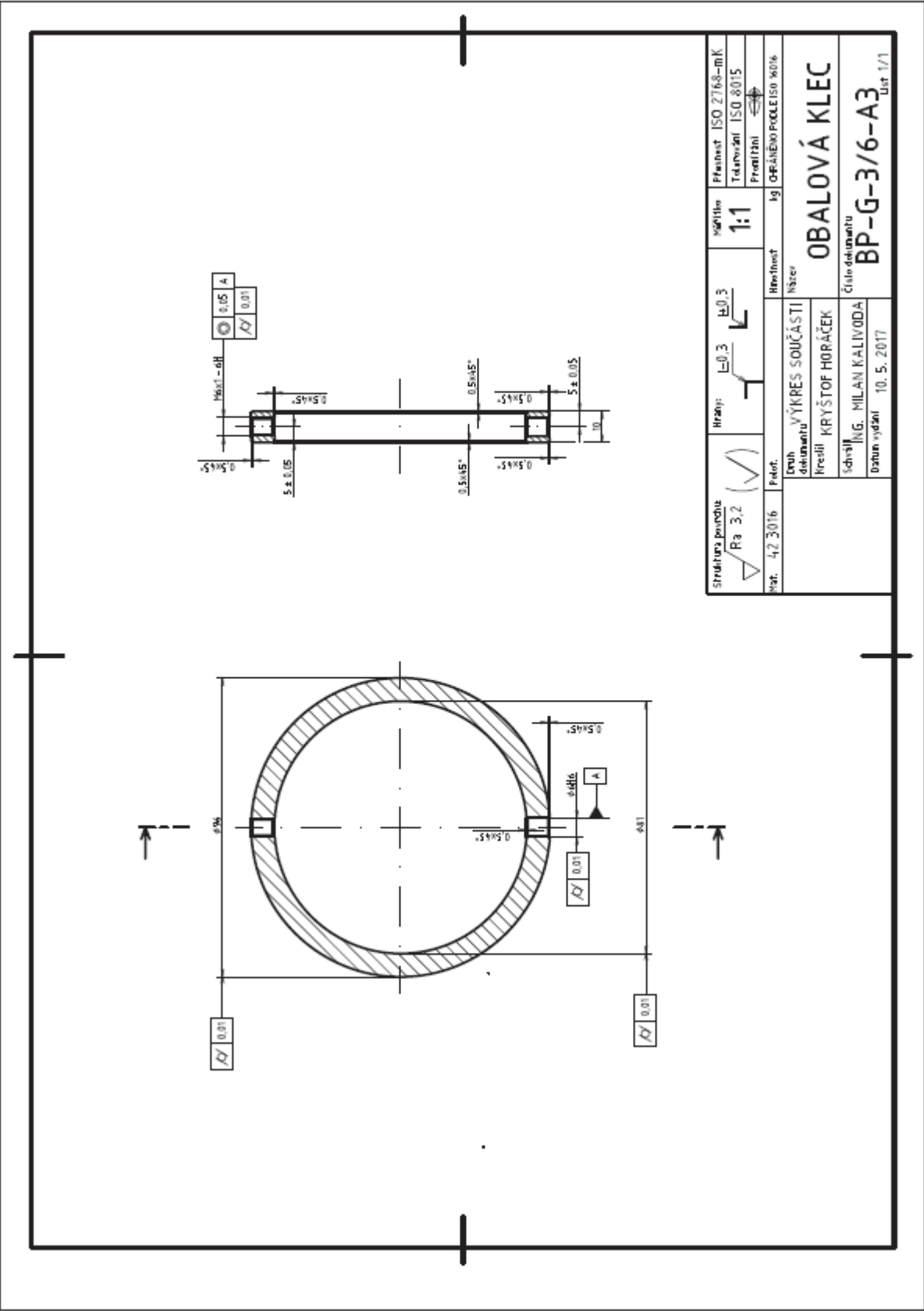


Struktura povrchu Ra 3,2 (√)	Hraný: H=0.3	Skříně: H=0.3	Hledněst Název	Hledněst lg	Přínosť ISO 2768-mK
Mat. 42 3016	Číslo dokumentu VÝKRES SOUČÁSTI	Pracet.	Název ROTOR	Tolerovněst ISO 8015	
	Pracet. KRYŠTOF HORÁČEK	Pracet. ING. MILAN KALIVODA	Pracet. Číslo dokumentu BP-G-1/6-A3	Pracet. OFÁNEVO POCLE ISO 9016	
	Datum vydání 10. 5. 2017		Pracet. 10. 5. 2017		Pracet. 1/1

Příloha 4

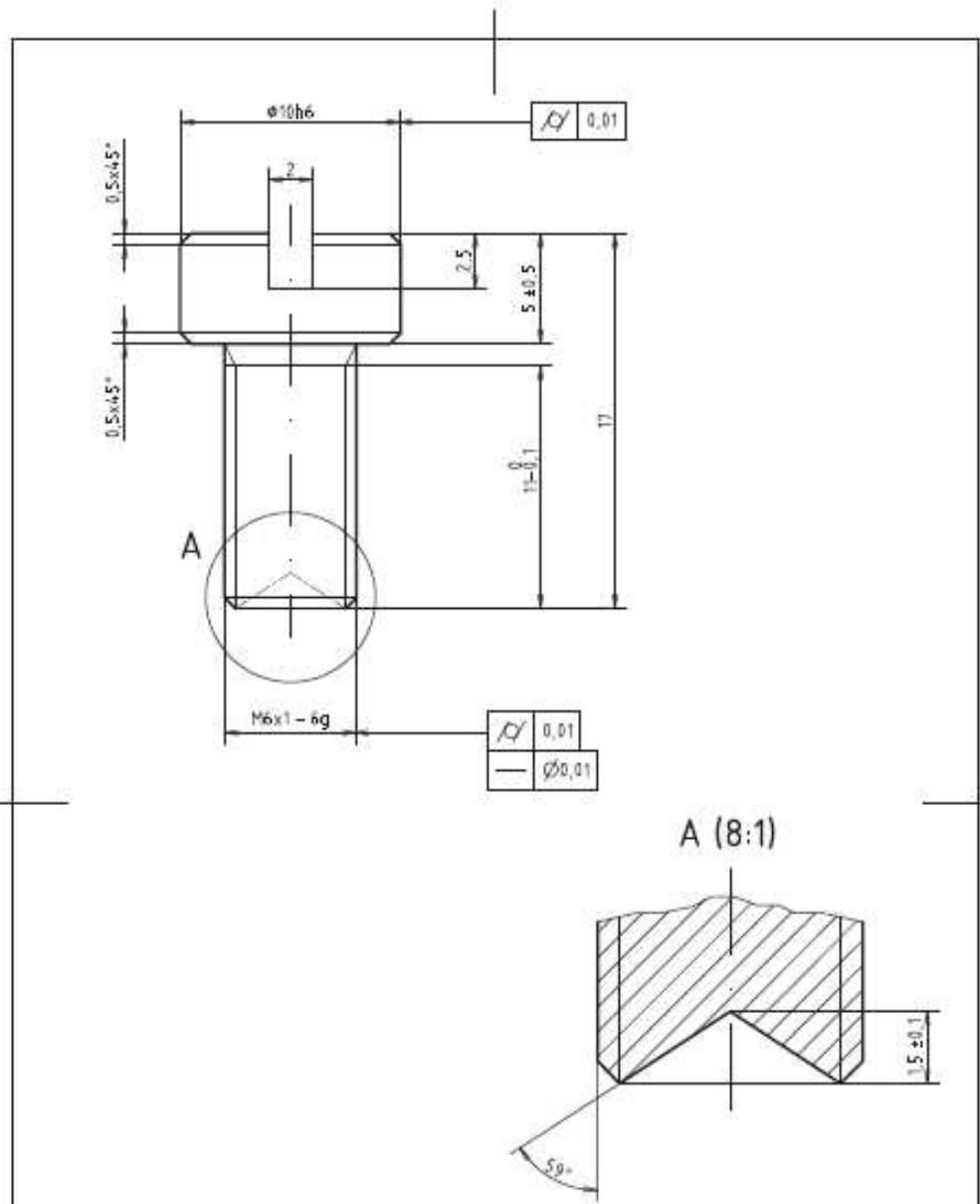


Příloha 5



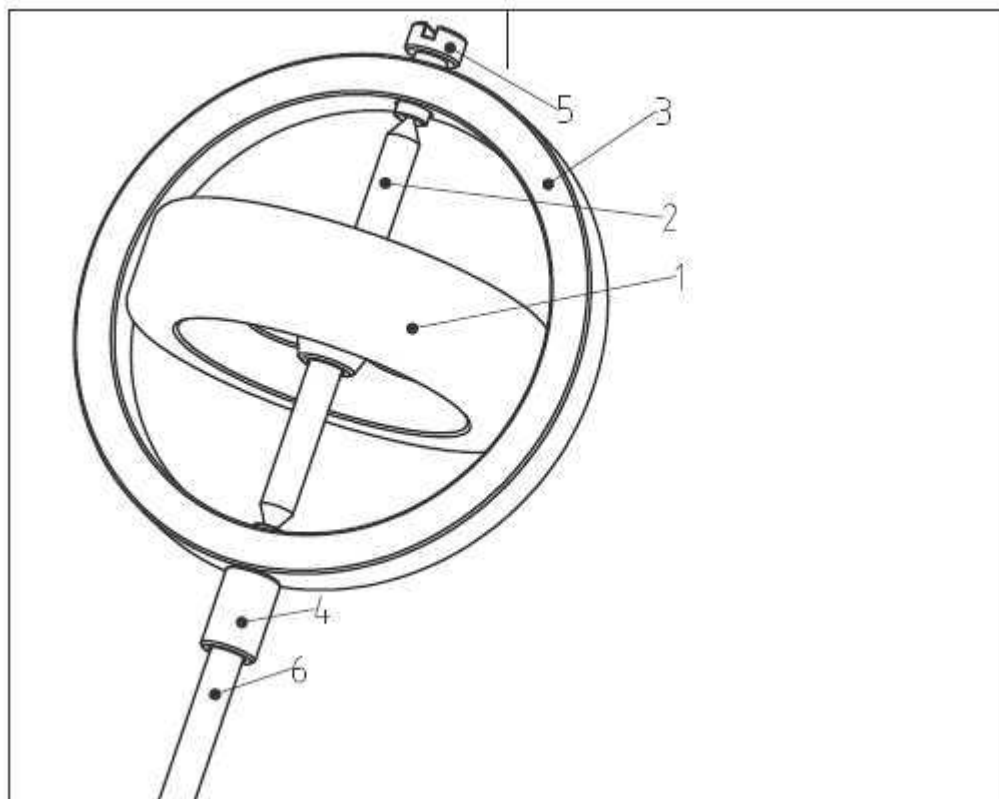
Struktura povrchu Ra 3.2 (✓)	Wahl: L=0.3 H=0.3	Měřítivo 1:1	Průřez ISO 2768-mK
Stat. 4.2 2016	Průřez	Měřítivo	Tržbovaní ISO 8015
Úroveň dokumentu VÝKRES SOUČÁSTI	Název	lg	Průřez ISO 8015
Průřez KRYŠTOF HORÁČEK	OBALOVÁ KLEČ		Průřez
Schválil Ing. MILAN KALIVODA	Číslo dokumentu BP-G-3/6-A3		Průřez
Datum vydání 10. 5. 2017			Průřez

Příloha 7



Struktura povrchu $Ra 3.2$ (✓)	Hrany ± 0.3 (✓)	Měřítka 4:1	Přesnost ISO 2768-mK Tolerování ISO 8015 Promítání
Mat. 42 3016	Polot. $\phi 12 - 21$ ČSN 42 3016	Hmotnost kg	CHRÁNĚNO PODLE ISO 16016
Druh dokumentu VÝKRES SOUČÁSTI	Kreslil KRYŠTOF HORÁČEK	Název LOŽ. ŠROUB	Číslo dokumentu BP-G-5/6-A4 List 1/1
Schválil ING. MILAN KALIVODA	Datum vydání 10. 5. 2017		

Příloha 8



KUSOVNÍK		
ČÍSLO	NÁZEV	ČÍSLO DOKUMENTU
1	ROTOR	BP-G-1/6-A3
2	HŘÍDEL	BP-G-2/6-A4
3	OBALOVÁ KLEC	BP-G-3/6-A3
4	LOŽISKO	BP-G-4/6-A4
5	LOŽISKOVÝ ŠROUB	BP-G-5/6-A3
6	PRODLUŽ. HŘÍDEL	NENÍ SOUČÁSTÍ ŘEŠENÍ

Struktura povrchu: $\sqrt{Ra\ 3,2}$ (✓)		Hrany: $\pm 0,3$ $\pm 0,3$		Měřítko: 1:1	Přesnost ISO 2768-mK Tolerování ISO 8015 Promítání $\square \oplus$
Mat.:	Podst.:	Hmotnost:	lg	CHRÁNĚNO PODLE ISO 16016	
Druh dokumentu: VÝKRES SESTAVY Kreslí: KRYŠTOF HORÁČEK		Název: GYROSKOP			
Schválil: ING. MILAN KALIVODA Datum vydání: 10. 5. 2017		Číslo dokumentu: BP-G-6/6-A4 List 1/1			