



**FAKULTA
STROJNÍ
ČVUT V PRAZE**

**Ústav technologie obrábění,
projektování a metrologie**

**Návrh geometrie a technologie výroby
uložení předního kola motocyklu**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2021

Alexandr Ohrablo

Studijní program: B2342 Teoretický základ strojního inženýrství

Vedoucí práce: Ing. Zdeněk Pitrmuc

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pouze s použitím podkladů uvedených v seznamu citací.

V Praze dne

Podpis autora

.....

Poděkování

Rád bych zde poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce, panu Ing. Zdeňku Pitrmucovi, za pomoc, rady a trpělivost při zhotovení této práce. Dále bych rád poděkoval panu Davidu Abrahamovi za cenné rady, konzultace a podporu při řešení problematiky.

V poslední řadě bych rád vyjádřil poděkování své rodině a známým, kteří mi během studia byli oporou.

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem technologie výroby uložení předního kola motocyklu. V rešeršní části jsou popsány nejrozšířenější metody třískového obrábění, funkce předního uložení, jeho funkční plochy a materiály ze kterých lze vyrobit. Praktická část se zabývá samotným návrhem technologie výroby.

Klíčová slova

motocykl, obrábění, funkce, materiál, výroba, technologie

Abstract

This bachelor's thesis deals with the design of a motorcycle front wheel bearing production technology. The research part describes the most common methods of machining, the function of the front bearing, its functional surfaces and materials from which it can be made. The practical part deals with the proposal of production technology.

Key words

motorcycle, machining, function, material, production, technology

Obsah

1. Úvod.....	8
2. Metody obrábění.....	9
2.1 Soustružení	9
2.1.1. Varianty soustružení.....	10
2.2 Frézování.....	12
2.2.1 Obvodové frézování.....	13
2.2.2 Čelní frézování	13
2.2.3 Sousedné frézování.....	13
2.2.4 Nesousedné frézování	14
2.3 Broušení	16
3. Systém uložení předního kola	18
3.1 Vývoj.....	18
3.2 Konstrukce.....	19
4. Funkční plochy a přesnost výroby	21
4.1 Identifikace funkčních ploch	21
4.2 Požadavky na přesnost výroby.....	22
5. Výběr materiálu	23
5.1 Požadavky na materiál	23
5.2 Varianty volby materiálu.....	23
5.2.1 Ocel.....	23
5.2.2 Litina	24

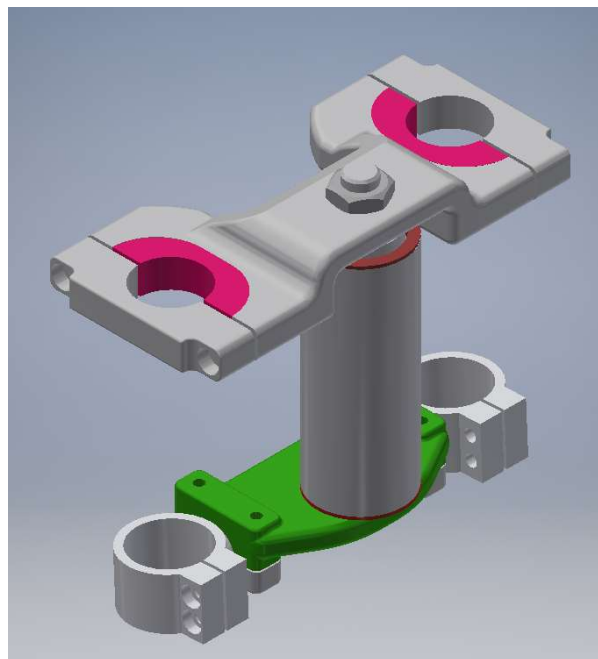
5.2.3	Dural	24
5.3	Volba materiálu	25
6.	Výrobní postup	25
6.1	Horní vložky	26
6.2	Horní objímky	28
6.3	Spodní objímky	30
6.4	Miska $\varnothing 25$	32
6.5	Miska $\varnothing 28$	34
6.6	Čep krku	36
6.7	Kost	40
6.8	Horní uložení	44
6.9	Spodní uložení	47
6.10	Použité stroje	50
6.11	Použité nástroje	52
7.	Závěr	55
	Citovaná literatura	56
	Seznam příloh:	59
	Přílohy:	60

1. Úvod

System jehož výrobou se tato bakalářská práce zabývá byl navržen mým kolegou Davidem Abrahamem jako možná inovace pro druhou generaci elektrické motorky studentského závodního týmu CTU Lions, který se zabývá vývojem a stavbou okruhových speciálů motorek do mezinárodní soutěže MotoStudent.

Motivací pro vznik tohoto mechanismu bylo snížení celkové hmotnosti a jednoduchý způsob změny rozvoru a úhlu řízení motocyklu za účelem zlepšení jízdních vlastností.

Cílem této práce je zjistit jaké metody obrábění jsou vhodné pro výrobu našeho mechanismu a s jejich pomocí navrhnout technologický postup.



Obrázek 1 - Mechanismus uložení

2. Metody obrábění

Obrábění je souhrnný termín pro skupinu výrobních procesů, které dávají obrobkům určitý geometrický tvar mechanickým oddělením materiálu od polotovarů či surových dílů ve formě třísek. Mezi nejdůležitější procesy obrábění patří soustružení, vrtání, frézování a broušení. Metody obrábění dělíme nejčastěji na metody výrobní a dokončovací. Vzhledem k povaze úlohy se budeme věnovat pouze těm výrobním.

2.1 Soustružení

V normě DIN 8589, která definuje všechny výrobní procesy obrábění kovů, je soustružení definováno následovně: „*Soustružení je obrábění s uzavřeným (většinou kruhovým) řezným pohybem a jakýmkoli posuvem v rovině kolmé ke směru řezu. Osa rotace řezného pohybu si udržuje svoji polohu vůči obrobku bez ohledu na posuv.*“ [1]

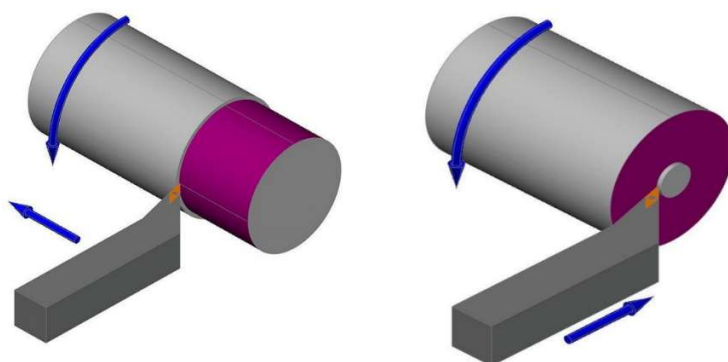
Soustružení je nejčastěji používaná metoda třískového obrábění. Používá se pro výrobu rotačně symetrických výrobků, zejména hřídelí, přírub a závitů. Na soustruhu se obrábí hlavně válcové a kuželové plochy, vnitřní i vnější. Prakticky lze na soustruhu obrábět veškeré obrobitelné materiály.



Obrázek 2 - CNC soustruh Bernardo FEL 1840 ENC

2.1.1. Varianty soustružení

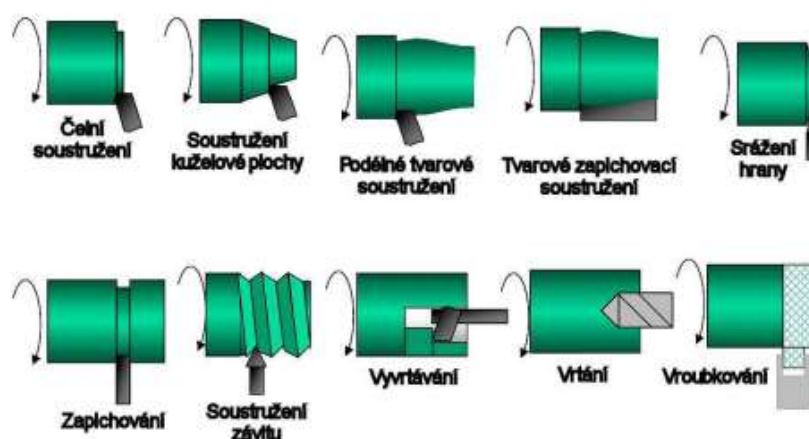
Při soustružení koná obrobek hlavní pohyb tím, že se otáčí kolem své vlastní osy. Nástroj se posuvem pohybuje po dráze obrysu, který má být na obrobku vytvořen. Nástroj se pohybuje buď ve směru souběžném s osou směrem k vřetenu či ve směru kolmém na osu hlavního pohybu. Podle směru pohybu nástroje rozlišujeme soustružení axiální a radiální.



Obrázek 3 - Axiální a radiální soustružení

Dalším rozdělením je vnitřní a vnější soustružení. Jak název napovídá, rozdíl je v tom jestli se obráběná plocha nachází uvnitř či vně obrobku. Při vnitřním soustružení je potřeba nástrojem zajet dovnitř obrobku, musíme jej tedy upevnit ve směru osy obrobku. V tomto případě nelze obrobek upevnit mezi hroty. Vnitřní soustružení umožňuje provádět operace jako vrtání a vyvrtávání. Rozdílem mezi těmito operacemi na soustruhu a na vrtačce je že u soustruhu vykonává hlavní pohyb obrobek, kdežto na vrtačce jej koná nástroj a obrobek je nehybně upevněn k pracovnímu stolu.

Velkou výhodou CNC soustruhů je možnost přesné výroby vnitřních a vnějších závitů na obrobku, který prochází i dalšími operacemi na soustruhu a není tedy nutné jej vytvářet jinou metodou. Soustružnické závitové nože či jejich výměnné břitové destičky (dále jen VBD) mají profil požadovaného závitu a jejich posuv, rovnoběžný s osou otáčení, se rovná stoupání závitu v mm na otáčku. Při použití klasického závitového nože se jedním průchodem nedá dosáhnout úplné požadované hloubky závitu, je tedy třeba závit tvořit více průchody. Naopak při použití kotoučových závitových nožů lze závit vytvořit jedním průchodem. Se soustružením závitů lze vyrábět závity levostranné, pravostranné nebo vícechodé. Dále se na soustruzích dají používat závitové hlavy pro vyšší produktivitu.



Obrázek 4 - Možnosti obrábění na soustruhu

Tabulka 1 - Přesnosti a drsnosti dosažitelné při soustružení [2]

Typ soustružení	Přesnost IT	Drsnost povrchu Ra [μm]
Hrubování	11 až 14	12,5 až 100
Obrábění na čisto	9 až 11	1,6 až 12,5
Obrábění jemné slinutými karbidy	7 až 8	0,4 až 1,6
Obrábění diamantem	5 až 6	0,2 až 0,8
Obrábění na přesných revolverových soustruzích a automatech	6 až 9	1,6 až 6,3

2.2 Frézování

Frézování je po soustružení druhou nejčastěji používanou metodou obrábění. Tato metoda se nejčastěji používá pro výrobu rovinných, vnitřních a vnějších tvarových ploch, drážek či ozubení. Podle normy DIN 8589 je frézování definováno jako „řezání kruhovým řezným pohybem přiřazeným nástroji a jakýmkoli posuvem. Osa rotace řezného pohybu si udržuje svoji polohu vzhledem k nástroji bez ohledu na posuv.“ [3] Hlavní pohyb tedy vykonává rotační nástroj s větším množstvím břitů, nazývaný „fréza“, u strojů („frézka“) s pohyblivým stolem koná vedlejší pohyb k němu připevněný obrobek. Vzhledem k povaze této metody jsou břity nástroje při kontaktu s obrobkem vystaveny silným mechanickým rázům, a to alespoň jednou za otáčku. Podle orientace rotační osy nástroje a směru vedlejšího pohybu rozlišujeme mezi frézováním čelným a válcovým.



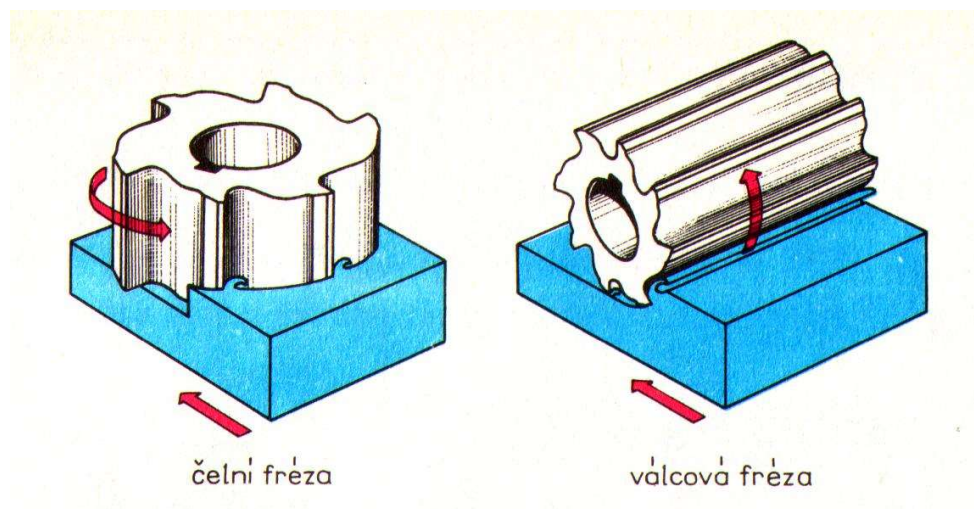
Obrázek 5 - CNC frézka Optimum OPTImill F 105

2.2.1 Obvodové frézování

Při válcovém frézování obrábíme obvodem nástroje, lze tedy používat válcovou či tvarovou frézu. Osa nástroje zde leží rovnoběžně s plochou obrobku. Tento způsob frézování zatěžuje frézku nerovnoměrně díky způsobu záběru frézy. Může tedy vznikat lehké obvodové házení a obrobená plocha může být poznamenána vlnitou stopou.

2.2.2 Čelní frézování

U čelního frézování můžeme obrábět čelem či obvodem frézy nebo frézovací hlavy. Osa nástroje zde stojí kolmo k ploše obrobku. Čelní frézování obecně platí za efektivnější a zároveň plynulejší než obvodové. Díky vyššímu počtu současně zabírajících zubů lze zvolit vyšší rychlost posuvu obrobku. [3]



Obrázek 6 - Čelní a válcové frézování

2.2.3 Sousedné frézování

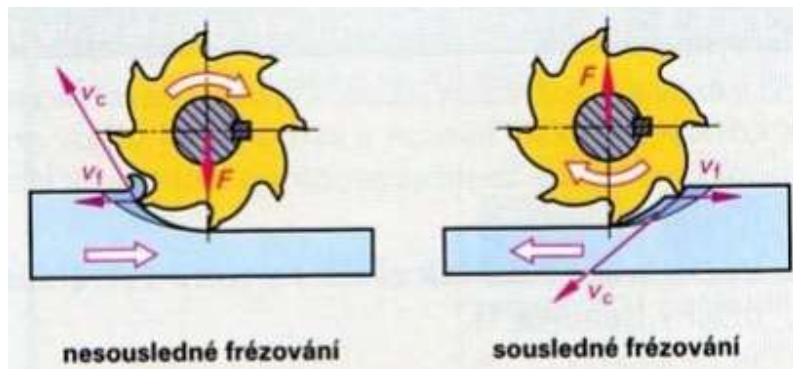
Při sousledném frézování se břit rotujícího nástroje pohybuje v oblasti záběru ve směru posuvu obrobku. Potřebný výkon je největší v bodu záběru břitu do obrobku, poté ale rovnoměrně klesá. Tříška se v průběhu průchodu břitu ztenčuje a nakonec je odříznuta,

což má za následek hladší povrch ve srovnání s nesousledným frézováním. Tendence frézy trhat obrobkem ve směru posuvu vlivem směru obrábění může způsobit nežádoucí změny v posuvu či poloze obrobku. Z toho důvodu je třeba zamezit jakémoliv vůli v posuvu stolu, čehož lze dosáhnout kuličkovými šrouby. Kvůli nižší tendenci k chvění je kvalita povrchu, kterou lze dosáhnout sousledným frézováním, lepší než při frézování nesousledném za jinak stejných řezných podmínek. Díky nižšímu opotřebení břitů a boků lze rychlost posuvu zvýšit o 50 % ve srovnání s nesousledným frézováním se stejnou životností nástroje. Problém ale nastává při nedostatečné houževnatosti nástroje, kdy může dojít ke křehkému porušení břitu. [2]

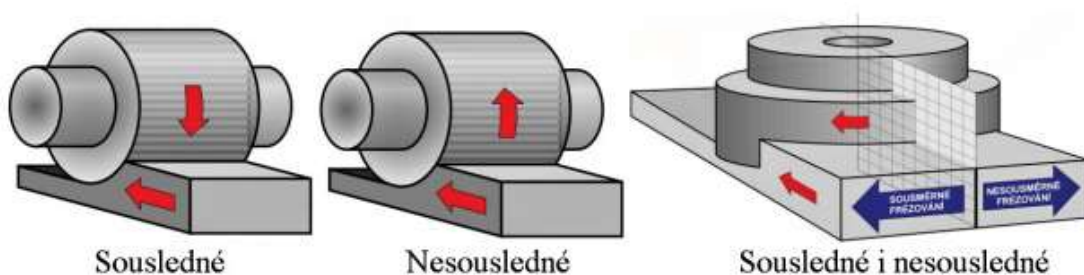
2.2.4 Nesousledné frézování

Při nesousledném frézování se řezná hrana rotujícího nástroje pohybuje v oblasti záběru proti směru posuvu obrobku a vytváří třísku, která zesiluje v průběhu průchodu řezného břitu. Než se břit zařízne do materiálu, sklouzne po ploše obrobku a zpevní jeho povrch vlivem plastické deformace. Břit poté musí proniknout do vytvrzeného materiálu. V důsledku zvyšující se tloušťky třísky je stroj zatížen proměnlivě a má tendenci ke chvění. To také způsobí, že se potřebný výkon pomalu zvyšuje. Vstup do obrobku není náročný, protože je třeba odstranit málo materiálu. Během záběru se tloušťka třísky zvyšuje a dosahuje své maximální hodnoty krátce před výstupem břitu z obrobku, kdy je odříznuta. Vysoký tlak a teplota vlivem otěru při záběru do obrobku způsobuje silné opotřebení hřbetu břitů, což snižuje životnost. Kvůli této nevýhodě dává nesousledné frézování ekonomicky smysl pouze tehdy, pokud mají obrobky tvrdý a odolný povrch nebo pokud má pohon stolu vůli. Povrchy frézované nesousledně mají hladkou ale zvlněnou strukturu v důsledku otěru břitu o již obrobený povrch. U pohonu stolu s vůlí, ke kterému obvykle dochází pouze u starších, vadných nebo vyvrtávacích fréz, se doporučuje frézování nesousledné, jelikož tímto způsobem fréza tlačí poháněný stůl skrz obrobek na vřeteno hnacího šroubu. Tím pádem nedochází k vůli v posuvu a jsou vyloučeny nežádoucí pohyby skluzu.

V dnešní éře počítačově řízených CNC („Computer numerical control“) obráběcích strojů o třech a více osách se převážně obrábí způsobem čelního frézování s kombinací sousledného a nesousledného směru.



Obrázek 7 - Tvorba třísky při frézování



Obrázek 8 - Sousledné a nesousledné frézování

Tabulka 2 - Přesnosti a drsnosti dosažitelné při frézování [2]

Typ frézování	Přesnost IT	Drsnost povrchu Ra [μm]
Těžké – hrubování	10 až 13	6,3 až 25
Střední frézování, načisto	9 až 11	1,6 až 6,3
Střední frézování, načisto – čelní	7 až 11	1,6 až 6,3
Lehké – jemné frézování	7 až 8	0,8 až 1,6

2.3 Broušení

Broušení je výrobní metoda obrábění která je známá již od starověku. Používá se k obrábění materiálů jako jsou kovy, keramika, sklo nebo dřevo. Může být konána ručně nebo strojem (bruskou). Stejně jako u předešlých obráběcích procesů se přebytečný materiál odděluje ve formě třísky. Tříska vznikající během broušení se označuje jako brusný prach. Brusné nástroje se obvykle vyrábějí jako kotouče, kameny či pásy, spojováním minerálních sypkých materiálů, nejčastěji korund nebo karbidy, s pojivem. Okraje tvrdých zrn v brusném nástroji fungují jako ostří. Vzhledem k tomu že počet zrn v záběru, jejich velikost, tvar či polohu ve vztahu k obrobku nelze přesně definovat, patří broušení spolu s honováním a lapováním k obrábění s geometricky nedefinovanou řeznou hranou. Je však známo, že většina zrn má záporný úhel čela (-15° i více).

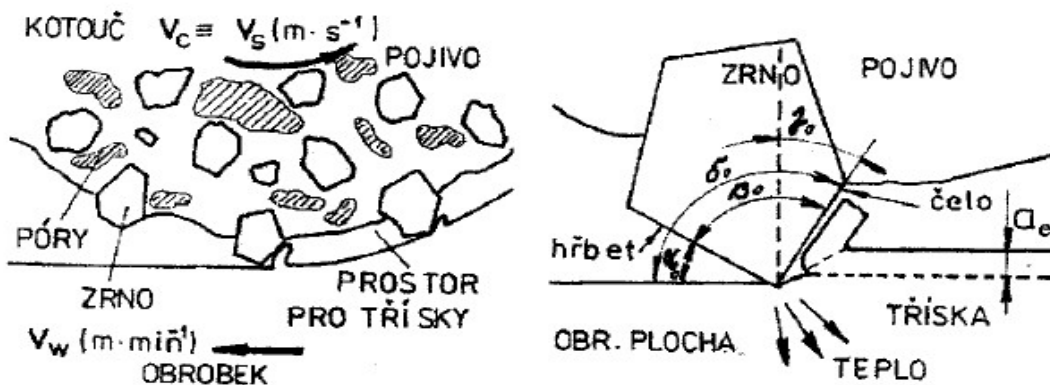


Obrázek 9 - Hrotová bruska Optimum OCD 2040

Poměrně vysoký počet ostří v záběru v porovnání s ostatními výrobními metodami spolu s charakteristicky vysokou řeznou rychlostí (20 až 200 ms^{-1}) a velkým úhlem řezu způsobují plastickou deformaci obrobku vlivem vysokých hodnot měrného řezného odporu

(30000 až 60000 MPa) a značný nárůst teploty (300 až 1000°C), který často lze kompenzovat přídavným chlazením. Tyto okolnosti je třeba brát v potaz při návrhu technologického postupu z důvodu možných nežádoucích změn mechanických vlastností povrchu obrobku. [4]

Broušení je obvykle užíváno spíše jako dokončovací metoda po jiné technologii obrábění, nejčastěji frézování či soustružení. Požadovaný tvar obrobků je obvykle nejprve nahrubo zpracován. Až poté se broušením dosahuje konečného přesného rozměru, tvaru a kvality povrchu.



Obrázek 10 - Záběrové podmínky bříty brousícího kotouče

Tabulka 3 - Přesnosti a drsnosti dosažitelné při broušení [2] [5]

Typ broušení	Přesnost IT	Drsnost povrchu Ra [μm]
Hrubování	9 až 11	0,8 až 6,3
Broušení načisto	5 až 7	0,2 až 1,6
Jemné obrábění	3 až 4	0,025 až 0,4

3. Systém uložení předního kola

Vznik tohoto systému uchycení předního kola byl součástí vývoje nového závodního motocyklu na elektrický pohon týmu CTU Lions pro mezinárodní studentskou soutěž MotoStudent (motocyklová obdoba soutěže Formula Student), jejíž hlavní akce probíhá jednou za dva roky ve španělském Aragonu. Cílem soutěže je navrhnout, zkonstruovat a vyrobit motocykl se kterým se tým účastní dovednostních zkoušek různého charakteru, při kterých záleží na schopnostech jezdce a jeho motocyklu. Smyslem tohoto systému je zvýšit komfort jezdci zlepšením ovladatelnosti možností změny rozvoru a úhlu řízení, ale také snížení celkové váhy stroje v závislosti na použitém materiálu.

3.1 Vývoj

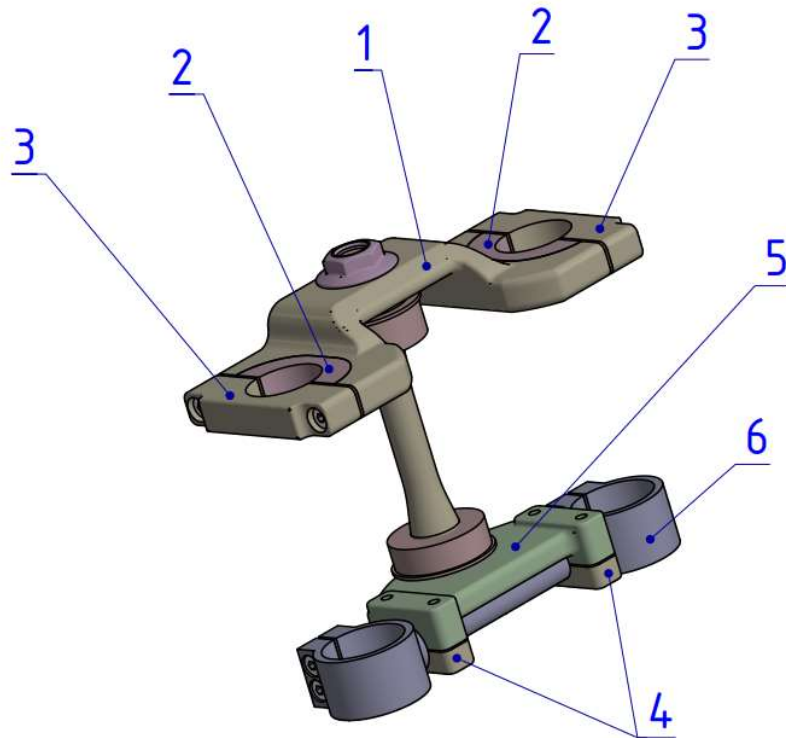
Uložení přenáší pokyny jezdce z řídítek do tlumičů, které otáčí předním kolem a tím určují směr jízdy motocyklu. Opačným směrem dostává jezdec odezvu předního kola na jízdní povrch a jeho celkové chování. Jejich hlavním úkolem je tedy držet přední tlumiče na povrchu a pod určitým úhlem, čímž je zaručen daný rozvor kol a rozmezí úhlu řízení předního kola.

Tato varianta uložení je inspirována závody na ploché dráze, kde je třeba měnit rozvor vzhledem k povaze okruhu na kterém se závodí, čímž se mění jízdní vlastnosti motocyklu: čím kratší rozvor, tím ostřeji a přesněji může jezdec zatáčet, což je výhodné na okruhu s ostřejšími, pomalejšími zatáčkami. Nevýhodou kratšího rozvoru je horší ovladatelnost a celková stabilita motocyklu ve vyšších rychlostech, což je pro jezdce nebezpečné a může vést k nehodě. Pro rychlejší okruhy s delšími zatáčkami se tedy z pravidla volí delší rozvor kvůli zaručení stability ve vyšších rychlostech, tentokrát na úkor poloměru otáčení.

Z tohoto důvodu má tato varianta uložení v horní části vyměnitelné vložky a ve spodní části natáčecí kost s objímkami, které drží tlumiče pod různými úhly bez nutnosti výměny kompletního uložení. U konvenčního řešení je třeba celý systém rozmontovat a uložení zaměnit za jiné. V našem případě postačí vysunout tlumiče pod úroveň horního uložení a vyměnit vložky dle požadovaného úhlu, ve spodním uložení pak natočit kost dle potřeby. Celá výměna vložek je proveditelná ve třech lidech a vyžaduje pouze demontáž dvanácti šroubů. Zásadní výhodou je tedy možnost změny úhlu přední geometrie o $\pm 2^\circ$, což znamená rozdíl v rozvoru cca 20 mm delší či kratší, v rámci minut. Pro naše potřeby bude celkem vyrobeno pět sad vložek a objímk s rozdílem jednoho stupně (-2° , -1° , 0° , $+1^\circ$, $+2^\circ$).

3.2 Konstrukce

Základní konstrukce mechanismu je stejná jako u klasického pevného uložení. To ale změnu geometrie předního kola neumožňuje. Z toho důvodu byla konstrukce pozměněna aby nastavení geometrie umožnila. Systém změny geometrie předního uložení se realizuje pomocí výměny tvarových vložek a objímk v horním uložení předního kola, čímž je zajištěna souosost s následně pootočenou kostí ve spodním uložení.



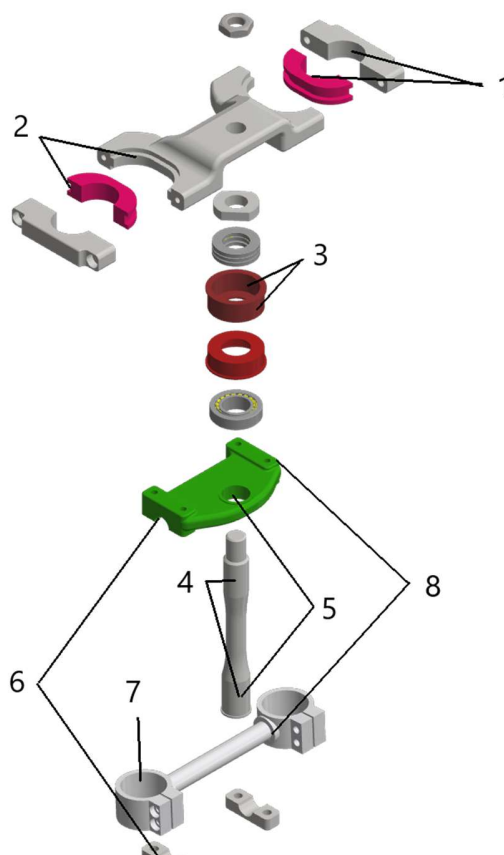
Obrázek 11 - Uložení předního kola s měnitelnou geometrií

Hlavní část horního uložení (1) je podobná klasickému uložení. První modifikací která nám umožňuje změnu geometrie je vnitřní tvarová vložka (2), která s vnější tvarovou objímkou (3) svírá teleskopickou vidlici. Aby bylo možno změnu geometrie realizovat, musí dojít ke změně úhlu i na spodním uložení. Z klasického uložení je zde v neúplné formě zachováno spodní uložení (5) ve kterém je nově vložena otočná kost (6), která je k dolnímu uložení připevněna ze spodu objímkami (4) – viz obrázek 11.

4. Funkční plochy a přesnost výroby

4.1 Identifikace funkčních ploch

Funkční plochy jsou části součásti, které pomáhají s plněním účelu mechanismu, např. kontaktní plochy, plochy pod ložisky či plochy které jsou součástí svěrných spojů. Z toho důvodu na ně často bývají kladeny specifické požadavky na vlastnosti povrchu. Pro identifikaci těchto ploch je zapotřebí pochopit funkci celého mechanismu. Speciální požadavky tedy jsou kladeny na následující plochy součástí: horní svěrné spoje držící teleskopickou vidlici (1), drážky k usazení horních vložek (2), misky na ložiska připravené pro lisování do krku (3), čep krku připraven pro montáž ložisek (4), spodní uložení připravené pro lisování na čep krku (5), objímky držící kost na spodním uložení (6), kost svírající teleskopickou vidlici (7) a plochy mezi kostí a spodním uložením (8).



Obrázek 12 - Funkční plochy mechanismu

4.2 Požadavky na přesnost výroby

Požadavky na přesnost a tolerance určuje konstruktér dle výpočtů u lisovaných, svěrných a šroubových spojů, nebo dle doporučení výrobce u kupovaných součástí, např. ložisek. Z výrobních výkresů vyplívají následující požadavky:

Tabulka 4 - Požadované tolerance

Prvek	1	2	3	4	5	6	7	8
Požadavek	Souosost s 7	$\pm 0,2$ mm	H7/f7	H7/k6	H7/k6	-	Souosost	$\pm 0,2$ mm

U prvků 1 a 7 je kvůli procházející teleskopické vidlici požadována souosost. Drážky na místě 2 je třeba uzpůsobit častější ruční montáži a demontáži, proto je zde zvoleno uložení s maximální vůlí 0,2 mm na obou stranách. U misek na ložiska (3) je třeba dodržet jednak toleranci zvenčí pro zasunutí do krku, jednak pro vložení ložiska dovnitř. Jelikož se jedná o relativně malý rozsah otočení a nikoliv o kontinuální rychlý rotační pohyb, není třeba misky lisovat napevno. Vnitřní kroužky ložisek budou usazeny na čepu (4), kde zároveň bude nalisováno spodní uložení (5). Plocha 6 je jsou ponechána bez specifických požadavků protože pro její funkčnost postačuje předpis přesnosti ISO 2768 – mK. Mezi spodním uložení a otočnou kostí (8) musí být podobná vůle jako na místě 2 aby se součásti za provozu příliš neotlačovaly. Zároveň je na všech součástech předepsána drsnost Ra 3,2, na povrchu čepu pod ložisky pak Ra 0,8.

Dalšími částmi, na které je třeba brát ohled jsou díry pro šrouby a závity. V případě šroubů je třeba se držet normovaných řad děr pro šrouby a jejich hlavy z důvodu montáže. U závitů je třeba rozměr a toleranční pole volit s ohledem na materiál kvůli požadované pevnosti spojů.

5. Výběr materiálu

5.1 Požadavky na materiál

Přední stavba je za provozu namáhána především silami a vibracemi způsobenými kontaktem kola s povrchem. Tyto vlivy jsou do stavby přenášeny teleskopickou vidlicí, která má za úkol je tlumit a držet kolo v kontaktu s povrchem, čímž se udržuje přilnavost pneumatiky a je zajištěn hladký průběh jízdy v případě nerovnoměrného povrchu, což zvyšuje komfort jezdce. Opačným směrem působí na mechanismus síly přenášené krkem od rámu. Tyto síly vznikají především vahou stroje a jezdce, případně nákladu, která může být rozkmitána při nesprávném fungování tlumičů vidlice.

Celé přední uložení musí tedy být odolné vůči rázům a vibracím, jelikož si musí zachovat jak formu, tak i pevnost svěrných spojů, které by při selhání mohly vést k nehodě a ohrožení zdraví jezdce. Zároveň je žádoucí, vzhledem k tomu že se jedná o závodní speciál, aby váha, tak jako u každé součásti, byla co nejnižší, a to i na úkor ceny.

5.2 Varianty volby materiálu

5.2.1 Ocel

Slitiny železa a uhlíku jsou jedním z nejuniverzálnějších a nejčastěji užívaných konstrukčních materiálů z důvodu nízké ceny a vysoké pevnosti oproti jiným materiálům. Ocel se nazývá slitina s maximálním obsahem uhlíku kolem 2,14 %. Ocel může obsahovat i další legující prvky či nečistoty, které mohou výrazně měnit její vlastnosti, jejich obsah je však definován normami pro jednotlivé typy oceli.

Ocel lze zpracovat litím, válcováním, kování, svařováním a třískovým obráběním, má vysokou pevnost (jednoduchá konstrukční ocel 180 až 350 N/mm², vysokopevnostní ocel i přes 1200 N/mm²), dobrou prokalitelnost, vysokou tuhost (modul pružnosti) a elasticitu. [5]

5.2.2 Litina

Litina je slitina železa a uhlíku, kde obsah uhlíku přesahuje hodnotu 2,14 %. Při porovnání s ocelí má litina nižší pevnost a je křehčí, umí ale lépe tlumit rázy, vibrace a hluk. Zároveň je levnější než ocel a má nižší teplotu tání (kolem 1150 °C oproti 1540 °C). Některé litiny také obsahují křemík, který zlepšuje slévatelnost a další legující prvky, jako je mangan, chrom nebo nikl. Rozlišuje se mezi šedou litinou, ve které se uhlík vyskytuje ve formě grafitu a bílou litinou, ve které uhlík vzniká jako karbid ve formě cementitu. Díky vysokému obsahu uhlíku lze litiny obtížně kovat, vede k vysoké tvrdosti a křehkosti a nízké plasticitě. Litinu ve formě taveniny lze snáze odlévat než ocel. Litinové díly jsou odolnější vůči korozi než ty ocelové, zejména pokud je povrch nepoškozen. Odolnost vůči korozi lze zvýšit přidáním křemíku, chrómu a niklu do slitiny. [6]

V současnosti je velká část dílů v automobilovém průmyslu vyráběna z tvárné litiny, zejména součásti zavěšení či motoru, kde odlitky nahrazují ekonomicky méně výhodné kované či lisované součásti.

5.2.3 Dural

Dural je obchodní označení pro slitinu hliníku, která má ve srovnání s čistým hliníkem mnohem vyšší pevnost a tvrdost. Obvykle tyto slitiny obsahují kolem 90–96 % hliníku a 4–6 % mědi, dále jako přísady hořčík, mangan či křemík dle požadovaných vlastností. Vzhledem k vyšší pevnosti a tvrdosti jsou oproti hliníku i lépe obrobitelné. Jejich pevnost i tvrdost lze, tak jako u oceli, dále zvyšovat tepelným zpracováním a zušlechťováním. Nedostatkem těchto slitin je špatná schopnost tlumit otřesy a pohlcovat rázy. [7]

5.3 Volba materiálu

Mechanismy uložení kol se v případě masové výroby převážně vyrábí z oceli vzhledem k její vysoké pevnosti, odolnosti vůči rázu a nízké ceně, na úkor hmotnosti. Výjimkou mohou být aplikace v malosériové výrobě kde může být zvolen dural, např. u sportovních či závodních vozidel, u kterých je při konstrukci kladen větší zřetel na snížení hmotnosti za účelem zlepšení jízdních vlastností. Vzhledem k povaze naší aplikace je z konstruktérského hlediska výhodnější použít dural, konkrétně EN-AW 7075-T6, též nazývaný „letecký hliník“. Pro čep a misky ložisek bude použita ocel 12 050.

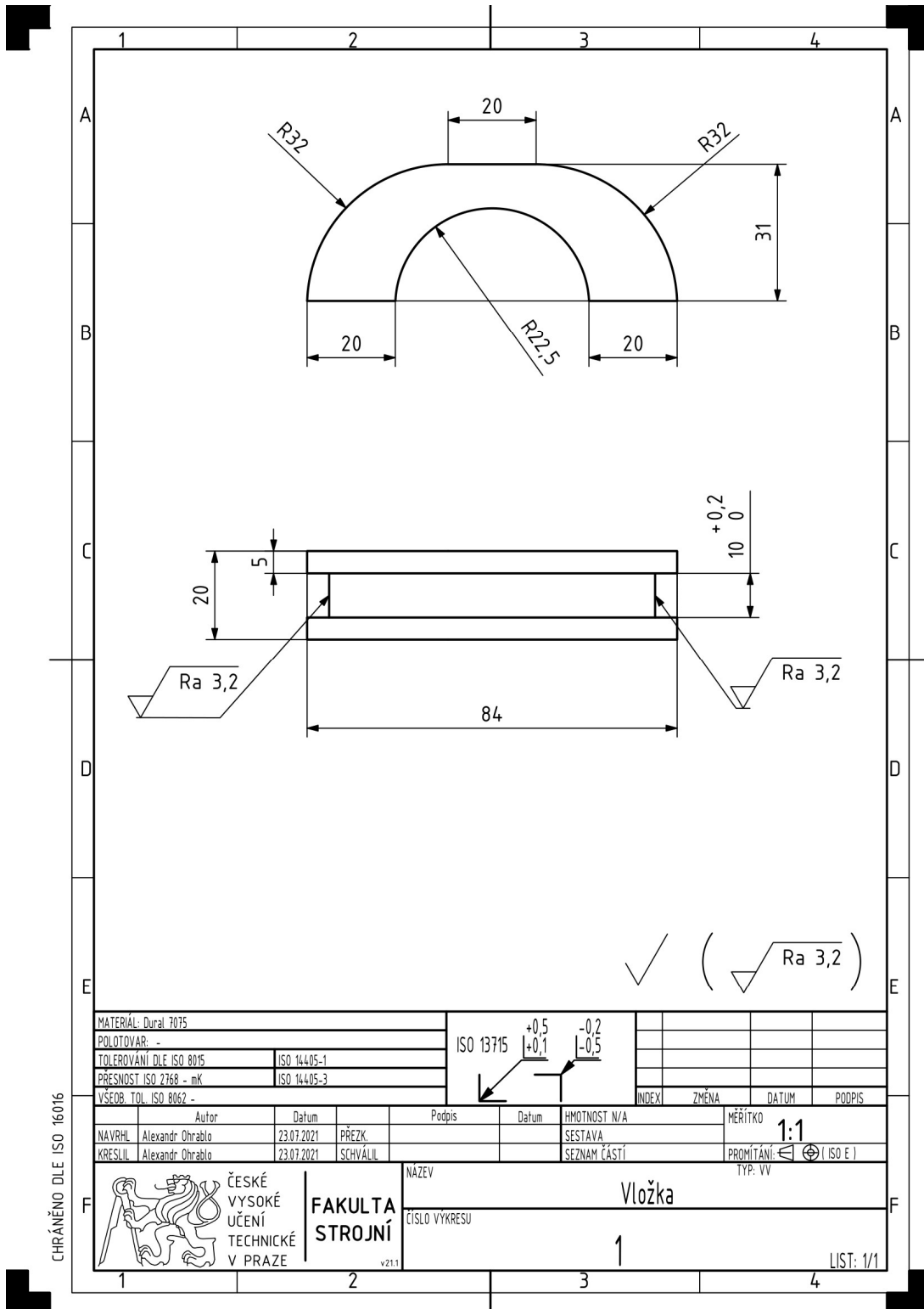
Tabulka 5 - Mechanické vlastnosti vybraných použitelných materiálů [5] [8] [9]

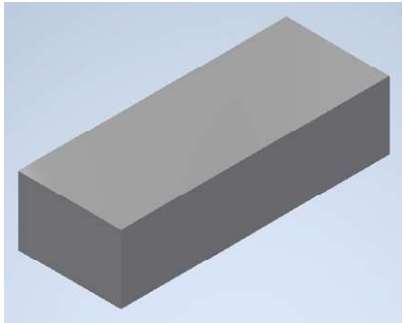
Materiál	Označení	Mez pevnosti min. [N/mm ²]	Mez kluzu min. [N/mm ²]	Tvrdost dle Brinella HBS	Modul pružnosti v tahu [kN/mm ²]	Hustota [kg/m ³]
Uhlíková konstr. ocel	12 050.1	540	325	Max. 225	211	7850
Tvárná litina	EN-GJS-400-15	400	250	135-180	169	7300
Dural	EN-AW 7075-T6	540	485	150	72	2810

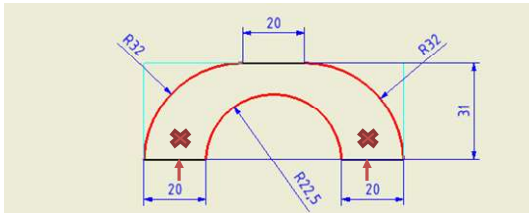
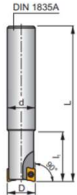
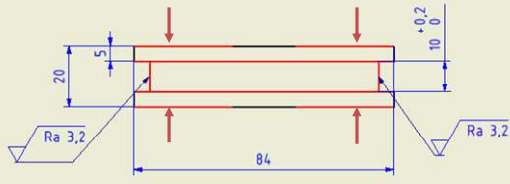

6. Výrobní postup

V následující kapitole je popsán výrobní postup všech součástí mechanismu. Jeho součástí jsou výrobní výkresy, popisy použitých polotovarů, strojů, nástrojů a jednotlivé operace. Součásti budou vyráběny z polotovarů ve formě ocelové kruhové tyče či duralového kvádrů. V případě kvádrů budou předem nařezány z desky vodním paprskem na stroji Flow Waterjet.

6.1 Horní vložky

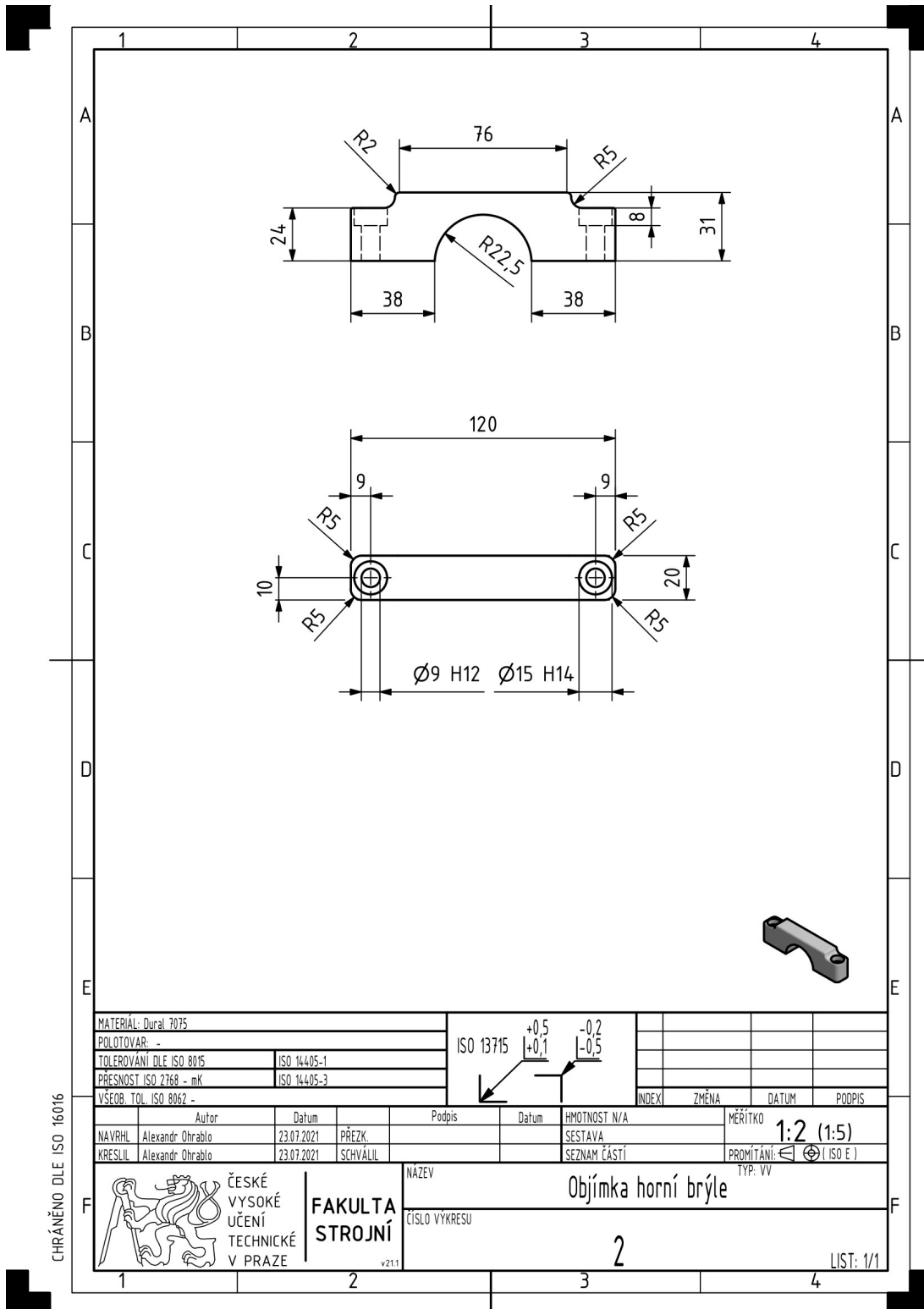


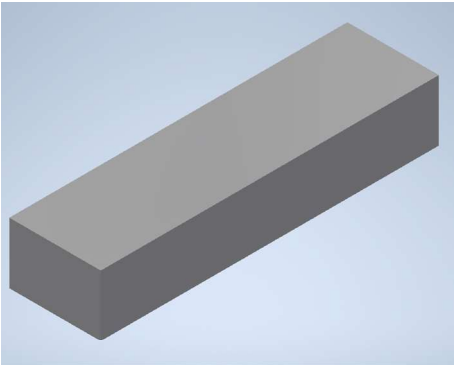
Polotovary	
<p>•Kvadr EN-AW 7075-T6 (84x31x20)</p>	

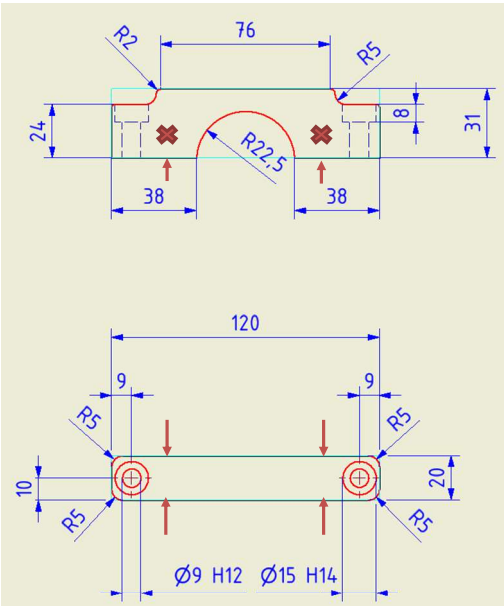




Operace č. 5	Frézování (načisto)
	<p>a) Upnout pomocí upínek b) Vyfrézovat otvor R22,5 c) Frézovat rádiusy R32</p> 
	<p>a) Vyfrézovat drážku 10</p> 



6.2 Horní objímky

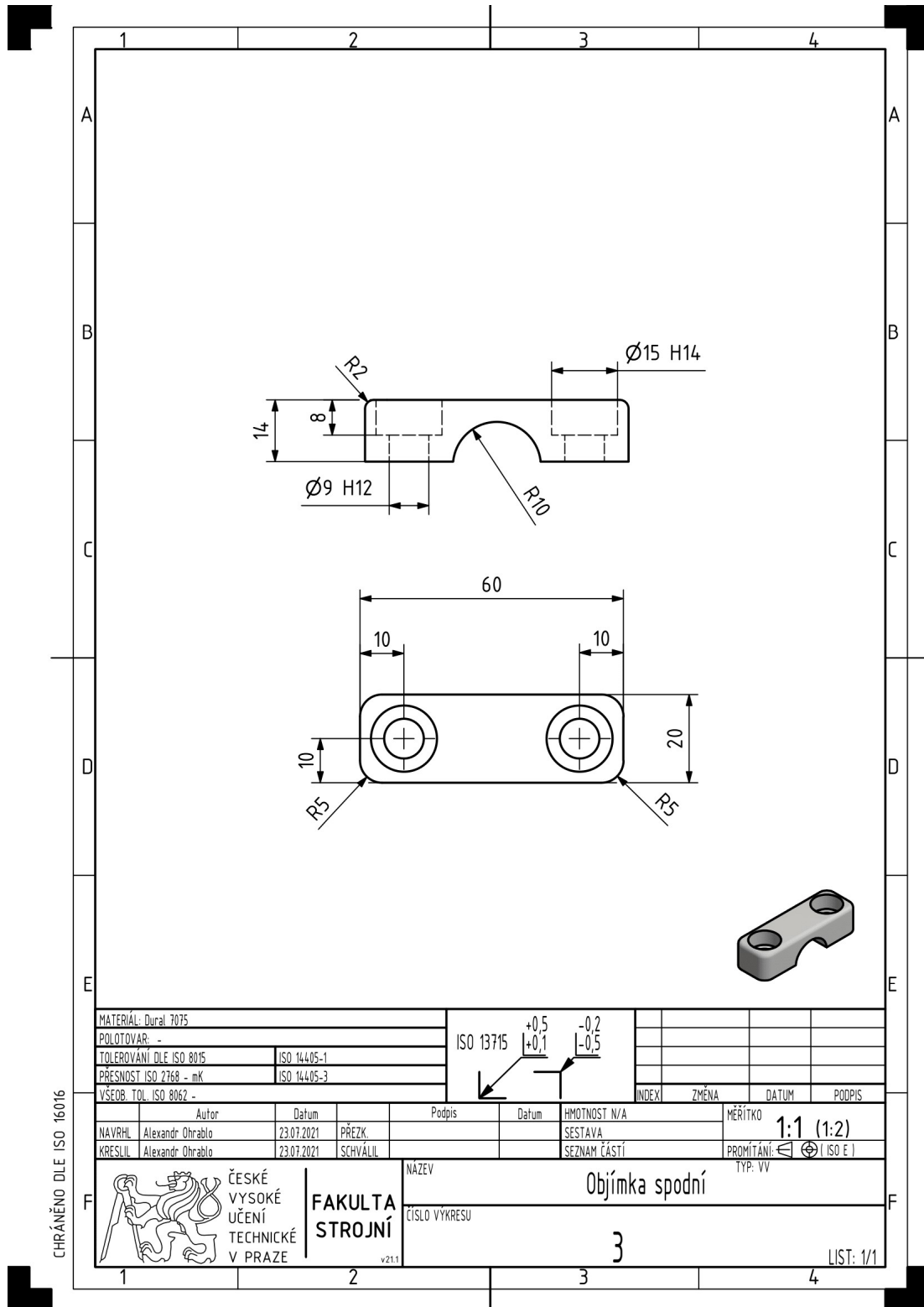


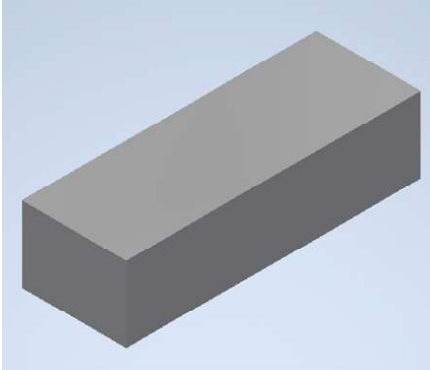
Polotovary	
<p>•Kvadr EN-AW 7075-T6 (120x31x20)</p>	

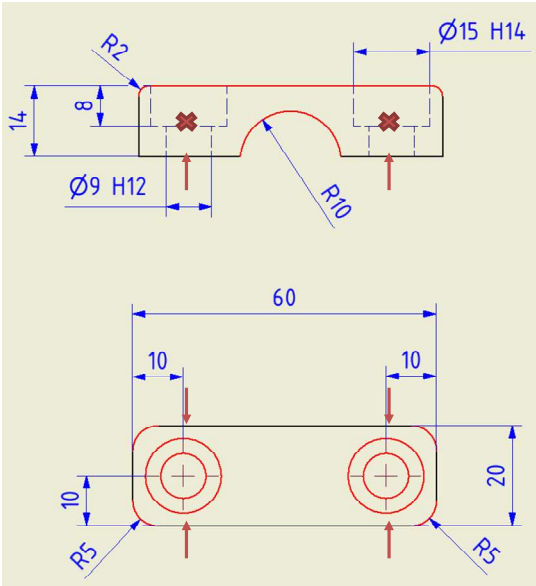
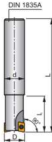


Operace č. 5	Frézování (načisto)
	<p>a) Upnout pomocí upínek</p> <p>b) Vyfrézovat otvor R22,5</p> <p>c) Zaoblit hrany R2, R5</p> 
	<p>a) Vyfrézovat vnitřní radiusy R5</p> 
	<p>a) Vyvrtat díry Ø9 H12 skrz</p> 
	<p>a) Vyfrézovat díry Ø15 H14, hloubka 8</p> 



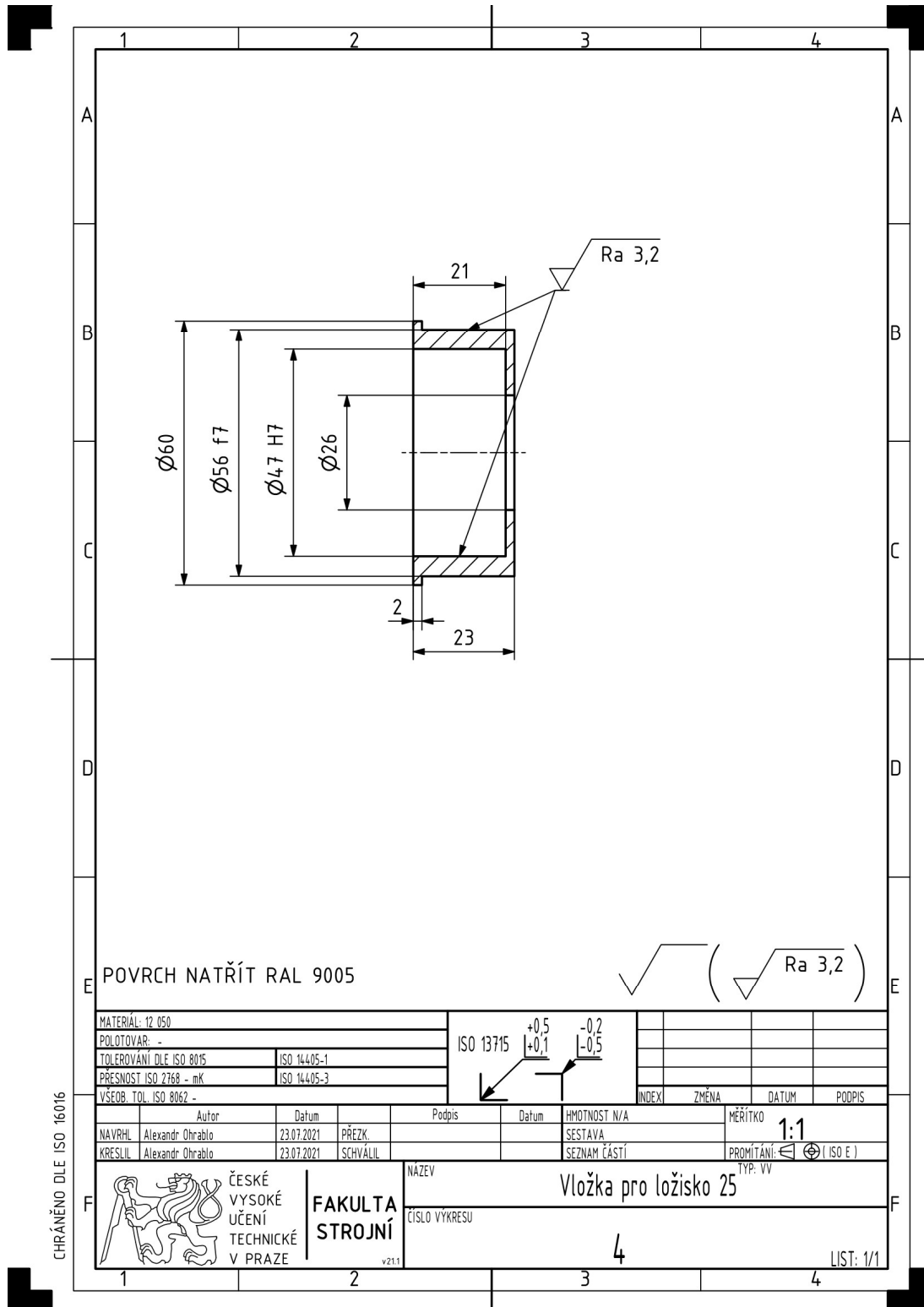
6.3 Spodní objímky

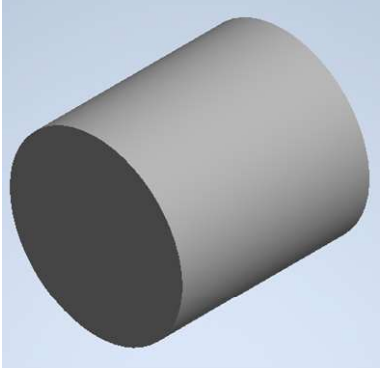


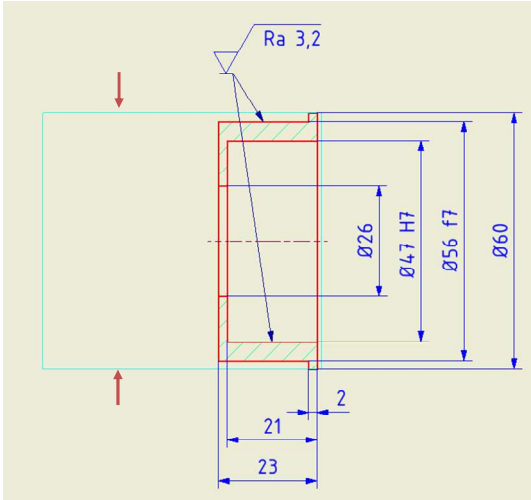



Polotovar	
<p>•Kvádř EN-AW 7075-T6 (60x14x20)</p>	

Operace č. 5	Frézování (načisto)
	<p>a) Upnout pomocí upínek</p> <p>b) Vyfrézovat otvor R10</p> <p>c) Zaoblit hrany R2, R5</p> 
	<p>a) Vyvrtat díry Ø9 H12 skrz</p> 
	<p>a) Vyfrézovat díry Ø15 H14, hloubka 8</p> 

6.4 Miska Ø25

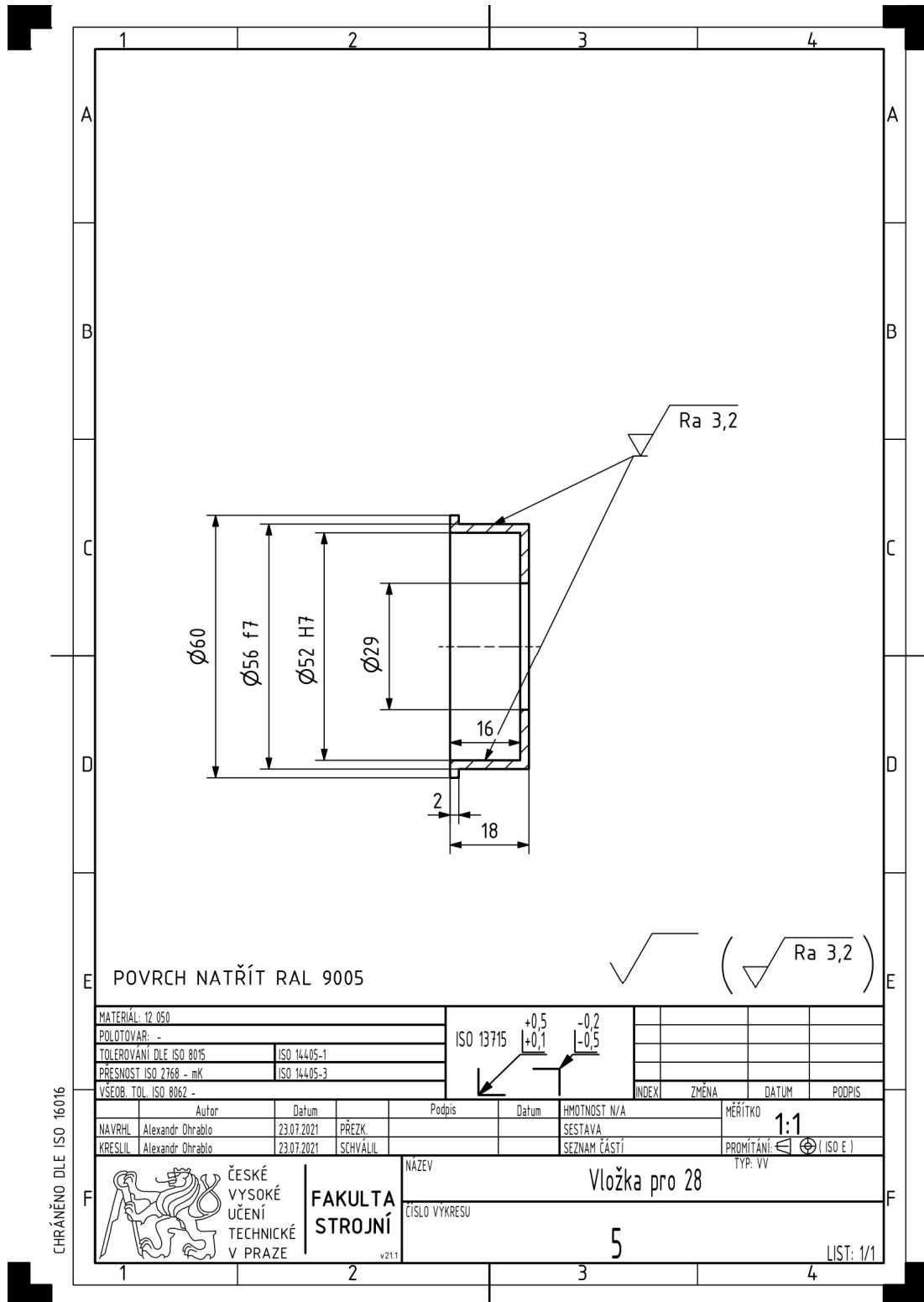


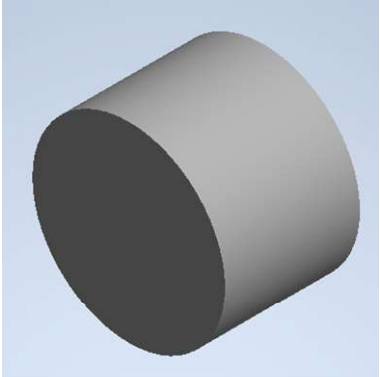
Polotovary	
<ul style="list-style-type: none"> • Tyč kruhová tažená za studena, EN 10278, $\varnothing 60$ • Délka 65 mm 	

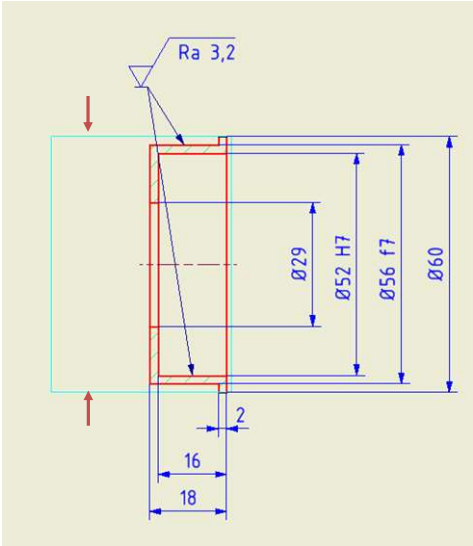



Operace č. 5	Soustružení
	a) Upnout do sklíčidla b) Srazit čelo c) Jemné soustružení vnější $\varnothing 56$ f7 délka 21 
	a) Jemné soustružení vnitřní $\varnothing 47$ H7 b) Otvor $\varnothing 26$ 
	a) Oddělení obrobku ve vzdálenosti 23 



6.5 Miska Ø28

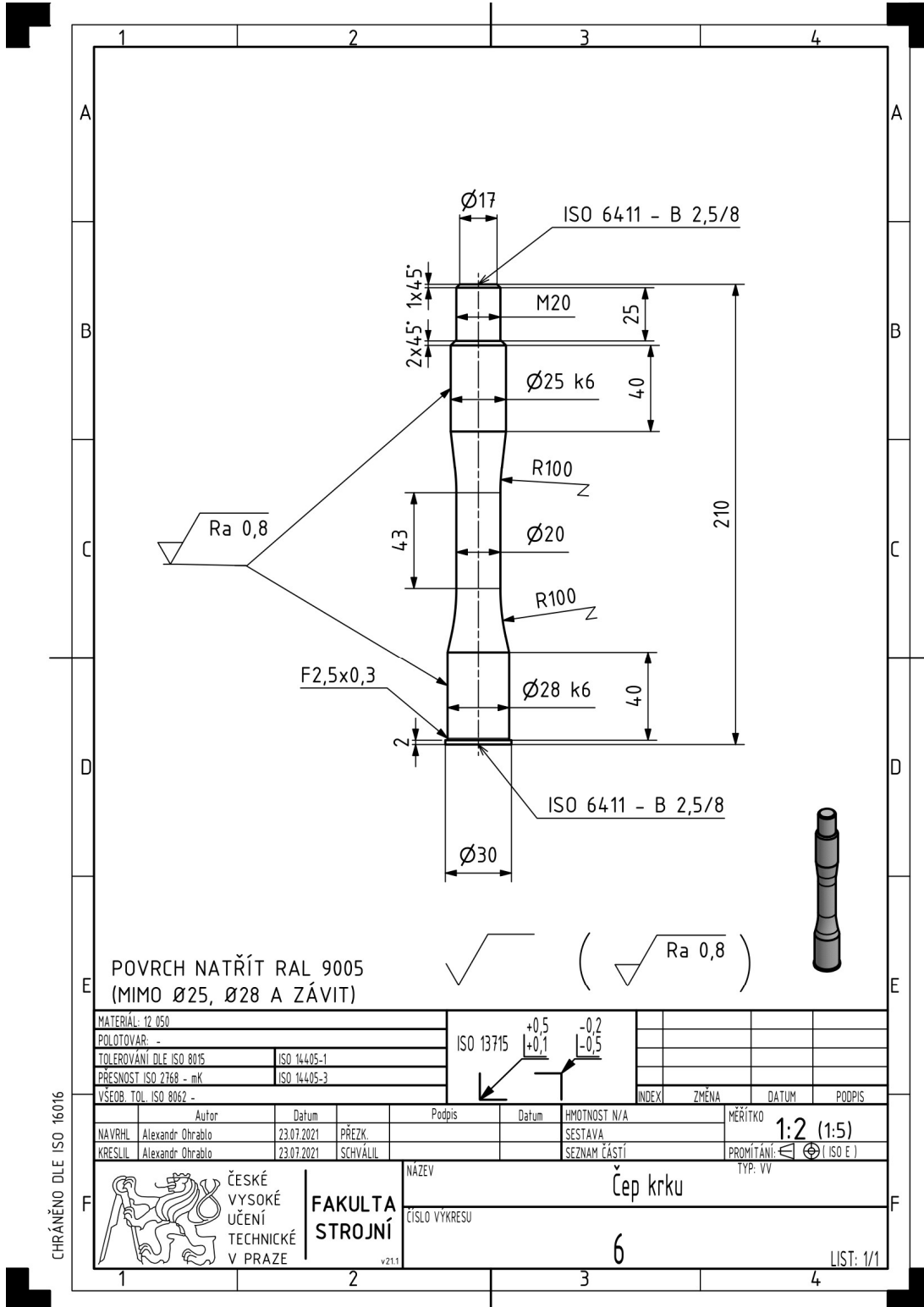


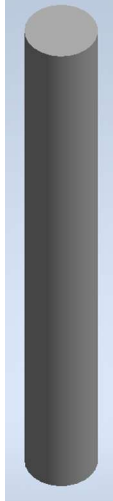
Polotovar	
<ul style="list-style-type: none"> • Tyč kruhová tažená za studena, EN 10278, $\varnothing 60$ • Délka 42 mm 	

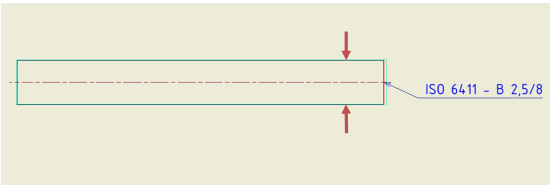

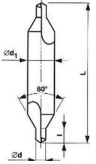
Operace č. 5	Soustružení
	a) Upnout do sklíčidla b) Srazit čelo c) Jemné soustružení vnější $\varnothing 56$ f7 délka 16 
	a) Jemné soustružení vnitřní $\varnothing 52$ H7 b) Otvor $\varnothing 29$ 
	a) Oddělení obrobku ve vzdálenosti 18 

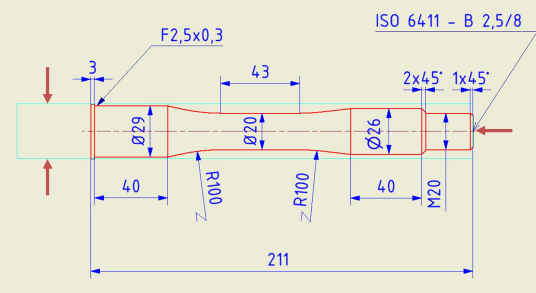





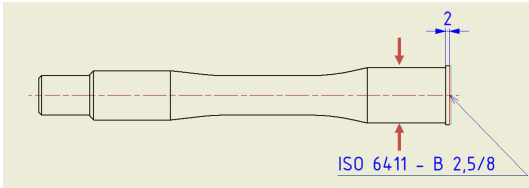

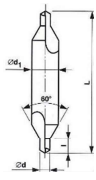
6.6 Čep krku

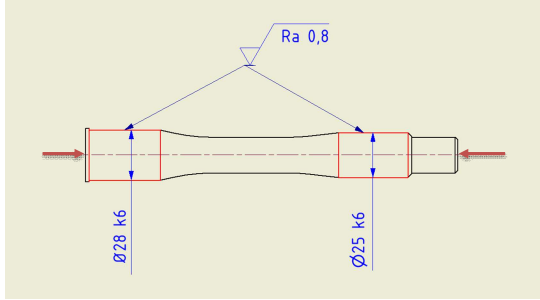



Polotovary	
<ul style="list-style-type: none"> • Tyč kruhová tažená za studena, EN 10278, $\varnothing 30$ • Délka 250 	

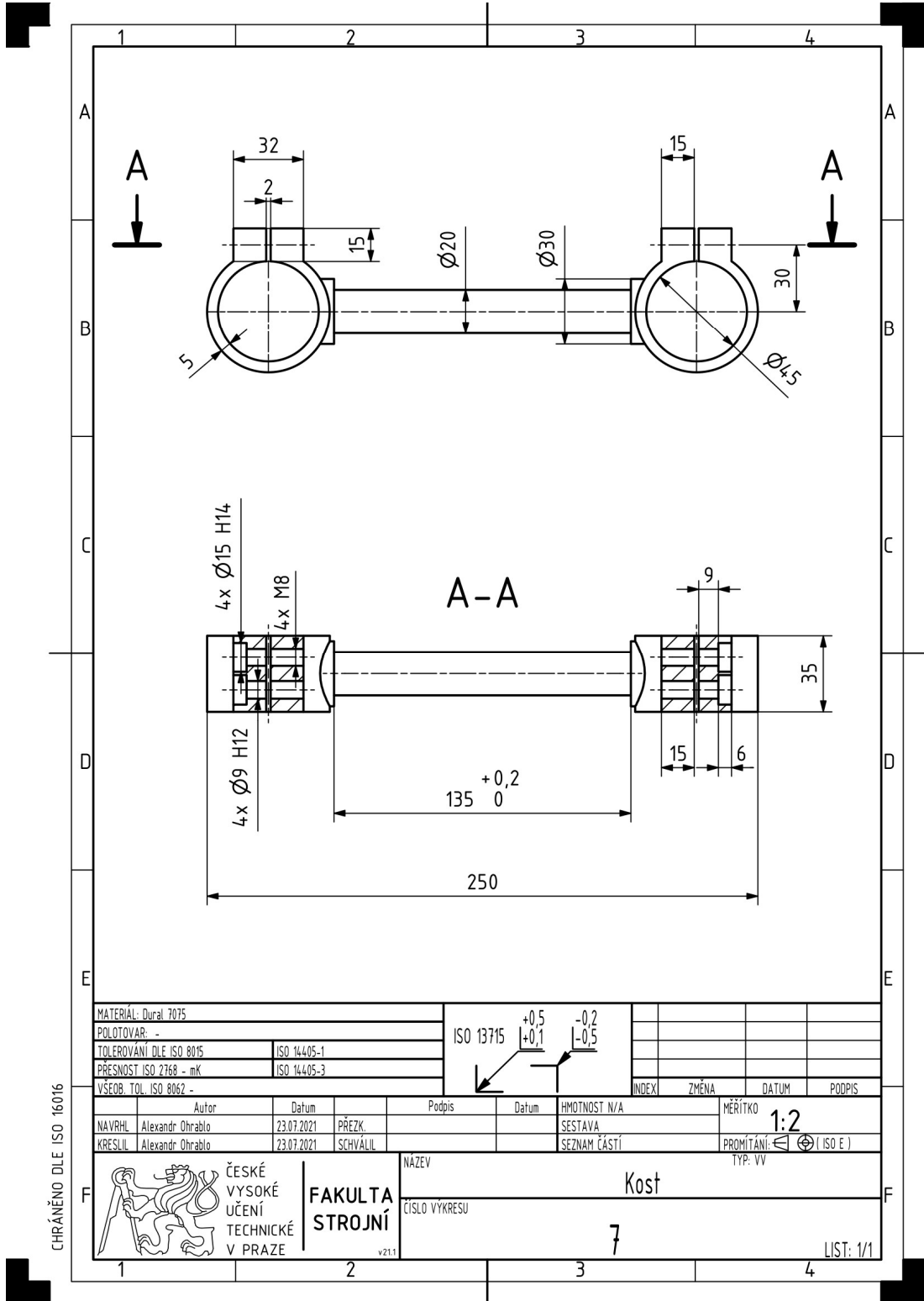
Operace č. 5	Soustružení
	<ul style="list-style-type: none"> a) Upnout do sklíčidla b) Srazit čelo 
	<ul style="list-style-type: none"> a) Vyvrtat středící důlek 

Operace č. 10	Soustružení
	<p>a) Upnout do sklíčidla b) Podepřít upínacím hrotem c) Soustružit konturu načisto, na $\varnothing 25$ a $\varnothing 28$ ponechat přídavek 0,5 mm</p> 
	<p>a) Soustružit závit M20</p> 
	<p>a) Oddělit čep na délce 211</p> 

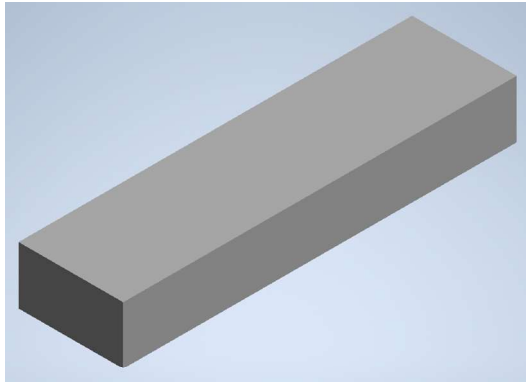
Operace č. 15	Soustružení
	<p>a) Upnout do sklíčidla b) Srazit čelo o 1 mm</p> 
	<p>a) Vyvrtat středící důlek</p> 

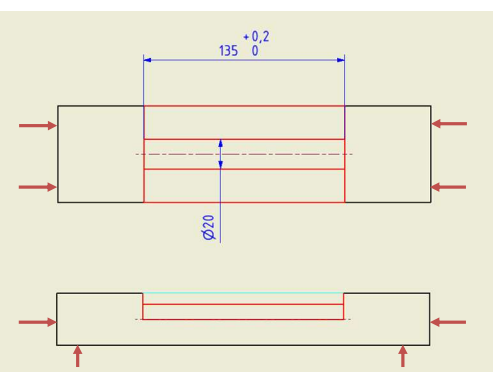
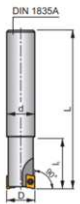
Operace č. 20	Broušení
 <p>Technical drawing of a tapered shaft. The drawing shows a shaft with a diameter of $\varnothing 28$ k6 on the left and $\varnothing 25$ k6 on the right. A surface finish requirement of $Ra 0,8$ is indicated for the tapered section.</p>	<p>a) Upnout mezi hroty</p> <p>b) Brousit načisto $\varnothing 25$ a $\varnothing 28$ na k6, $Ra 0,8$</p> 

6.7 Kost

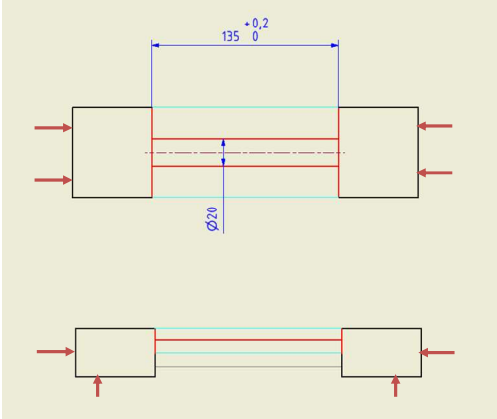



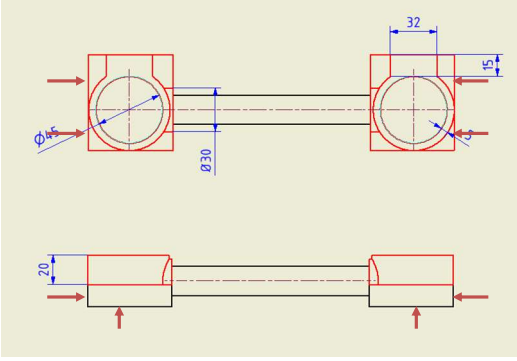

Návrh geometrie a technologie výroby uložení předního kola motocyklu






Polotovary	
<p>•Kvadr EN-AW 7075-T6 (250x65x35)</p>	


Operace č. 5	Frézování
	<p>a) Upevnit do svěráku b) Frézovat $\varnothing 20$, délka 135,</p> <div style="text-align: right;">  </div>

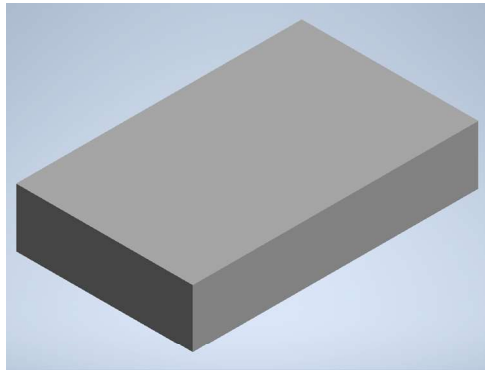
..

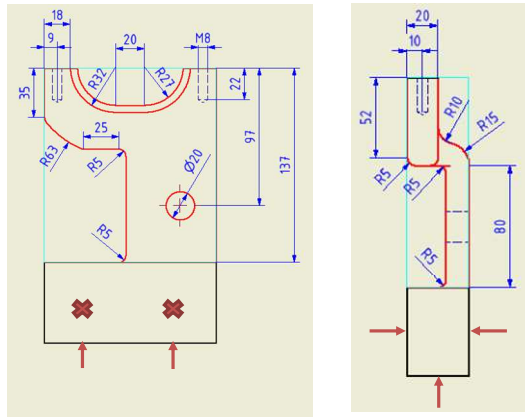





Operace č.10	Frézování
	<p>a) Obrátit součást o 180°, upevnit zpět do svěráku</p> <p>a) Frézovat $\varnothing 20$, délka 135</p> 

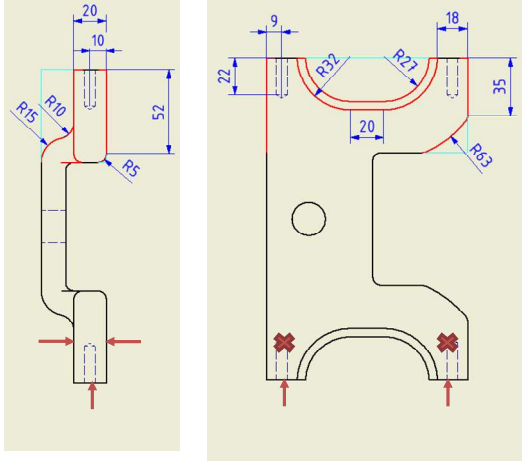



Operace č.15	Frézování
	<p>a) Upevnit do svěráku</p> <p>b) Vyfrézovat díry $\varnothing 45$ a vnější konturu objímek do hloubky 20</p> 

Operace č. 20	Frézování
	<p>a) Obrátit součást o 180°, upevnit do svěráku b) Vyfrézovat díry Ø45 a vnější konturu objímky do hloubky 15</p> 
	<p>a) Vyvrtat díry Ø6 skrz objímky</p> 
	<p>a) Vyvrtat díry Ø9 H12, hloubka 15</p> 
	<p>a) Vyfrézovat díry Ø15 H14, hloubka 6</p> 
	<p>a) Vyříznout závity M8, hloubka 15</p> 

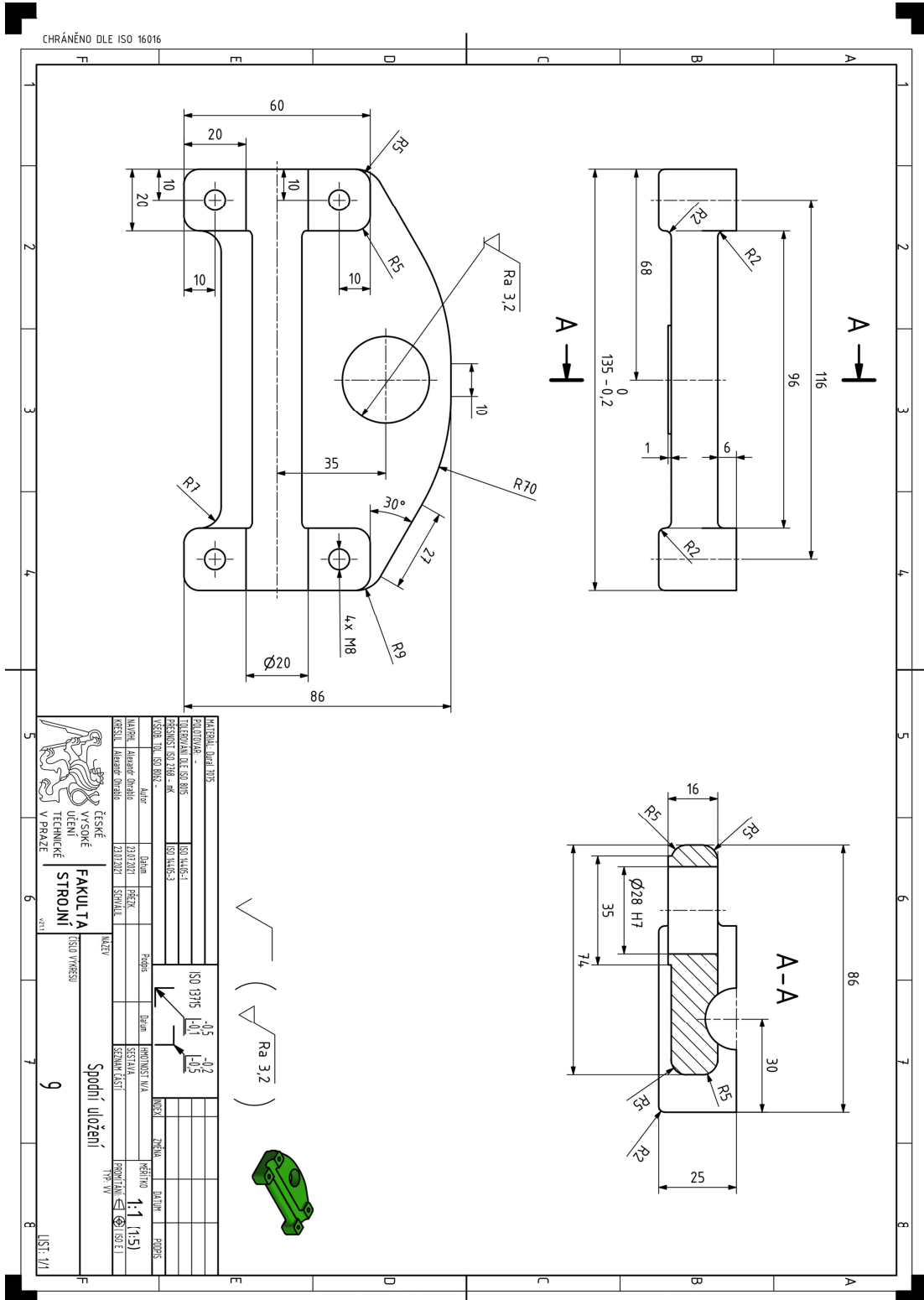
Operace č. 25	Dělení (kotoučová pila na kov)
	<p>a) Upnout do prizmatického svěráku b) Rozdělit objímky ve vzdálenosti 15, šířka mezery 2</p> 

Polotovary	
<p>•Kvadr EN-AW 7075-T6 (194x120x40)</p>	

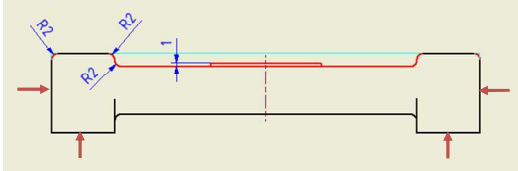

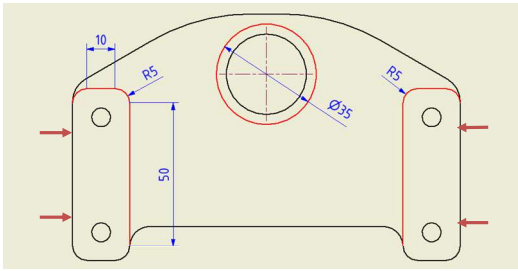

Operace č. 5	Frézování
	<p>a) Upnout do svěráku</p> <p>b) Vyfrézovat tloušťku 20</p> <p>c) Vyfrézovat drážku (R27, R32)</p> <p>d) Vyfrézovat vnější rádiusy R5, R15, R63</p> <p>e) Vyfrézovat vnitřní rádius R10</p> 
	<p>a) Vyfrézovat vnitřní rádiusy R5</p> 
	<p>a) Vyfrézovat otvor $\varnothing 20$ H7</p> 
	<p>a) Vyvrtnat díru $\varnothing 6$, hloubka 22</p> 
	<p>a) Vyříznout závity M8, hloubka 22</p> 

Operace č. 10	Frézování	
	<p>a) Upnout do svěráku</p> <p>b) Vyfrézovat tloušťku 20</p> <p>c) Vyfrézovat drážku (R27, R32)</p> <p>d) Vyfrézovat vnější rádiusy R5, R15, R63</p> <p>e) Vyfrézovat vnitřní rádius R10</p>	
	<p>a) Vyvrtat díru $\varnothing 6$, hloubka 22</p>	
	<p>a) Vyříznout závity M8</p>	

6.9 Spodní uložení





Návrh geometrie a technologie výroby uložení předního kola motocyklu



Operace č.10	Frézování	
	<p>a) Upevnit do svěráku b) Profil do hloubky 4 c) Zaoblit hrany R2, R5</p> 	
	<p>a) Vyfrézovat vnitřní rádius R2</p> 	

6.10 Použité stroje

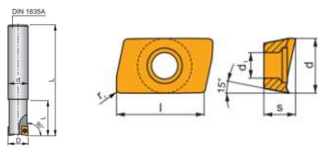
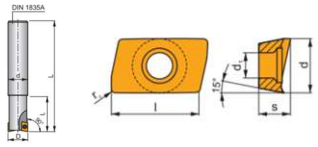

5-ti osá frézka Okuma Genos M460V-5AX [9]	
	<ul style="list-style-type: none"> • Výkon 22 kW • Otáčky vřetena: 15000 min⁻¹ • Rozměr stolu: Ø400 • Rozsah osy: X: 762 / Y: 460 / Z: 460 • Zásobník na 48 nástrojů
<div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px; margin-left: auto;"></div>	




Soustruh HAAS TL-1 [10]	
	<ul style="list-style-type: none"> • Výkon 7,5 kW • Otáčky vřetena 1800 min⁻¹ • Maximální rozměry obrobku: • Délka 762 mm • Průměr 406 mm
<div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px; margin-left: auto;"></div>	




Bruska Optimum OCD 2040 [11]	
	<ul style="list-style-type: none"> • Výkon brousící: 2,3 kW • Výkon unášecí: 0,75 kW • Otáčky brusného kotouče: 2085 min⁻¹ • Otáčky unášecího vřeteníku: 10 - 500 min⁻¹ • Maximální rozměry obrobku • Délka 400 mm • Průměr 180 mm




Řezání vodním paprskem Flow Waterjet Mach 100 1313 [12]	
	<ul style="list-style-type: none"> • Rozsah trysky: 1300x1300x178
Kotoučová pila na kov MTS 356 [13]	
	<ul style="list-style-type: none"> • Příkon 2,2 kW • Průměr kotouče 355 mm • Prizmatická čelist

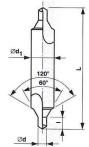


6.11 Použité nástroje

Fréza PRAMET 4- břitá 20A4R020A18-SAD07D-C [14]	
	<ul style="list-style-type: none"> • Průměr 20 mm • Délka 200 mm • VBD: ADEX 070204FR-FA (špička R0,4)
Fréza PRAMET 3-břitá 14A3R018A12-SAD07D-C [14]	
	<ul style="list-style-type: none"> • Průměr 14 mm • Délka 140 mm • VBD: ADEX 070204FR-FA (špička R0,4)
Fréza tvrdokovová 3-břitá DIN6535-HA ALU Dxl 6x15x50 [15]	
	<ul style="list-style-type: none"> • Průměr 6 mm • Délka 50 mm

Kulová fréza tvrdokovová, 2-břitá [16]	
	<ul style="list-style-type: none"> • Délka 50 mm • Průměr 4 mm
Kulová fréza tvrdokovová, 2-břitá [17]	
	<ul style="list-style-type: none"> • Délka 75 mm • Průměr 10 mm
Závitník Itax Precision [18]	
	<ul style="list-style-type: none"> • Pro závitování do hliníku • Závit M8

Vnější soustružnický nůž MBC MTJNL 002 ISO 20x20 [19]	
	<ul style="list-style-type: none"> • Délka 125 mm • VBD: TNMG 160404/08
Vnitřní soustružnický nůž MBC MTQNR 001 ISO 20x200 [20]	
	<ul style="list-style-type: none"> • Délka 200 mm • VBD: TNMG 160404/08
Vnější soustružnický nůž upichovací DKT K 004 25x25 [21]	
	<ul style="list-style-type: none"> • Délka 150 mm • VBD: MGMN200 – 2 mm

Závitový soustružnický nůž MBC SER 004 ISO 12x12 [22]	
	<ul style="list-style-type: none"> • Délka 100 mm • VBD: 16ER
Brusný kotouč Tyrolit [23]	
	<ul style="list-style-type: none"> • Typ T1 • Rozměr 350x40x127 • Brusivo 454A46(2)H5V40
PILOVÝ KOTOUČ HSS, DM05 [24]	
	<ul style="list-style-type: none"> • $\varnothing 250 \times 2 / 32$ mm, T4

Středící vrták HSS [25]	
	<ul style="list-style-type: none"> • Typ B • Průměr 2,5 mm
Vrták Fischer [26]	
	<ul style="list-style-type: none"> • Průměr 6 mm • Pracovní délka 81 mm
Vrták Fischer [27]	
	<ul style="list-style-type: none"> • Průměr 9 mm • Pracovní délka 81 mm

7. Závěr

Úkolem této práce bylo navrhnout technologii výroby uložení předního kola motocyklu. V první části práce jsem popsal hlavní metody třískového obrábění potřebné pro výrobu systému uložení. Těmi jsou broušení, frézování a soustružení. V kapitole je popsán jejich teoretický princip, variace a dosažitelné přesnosti a drsnosti povrchu.

Ve druhé části jsem hlouběji popsal vývoj, konstrukci a funkci systému. Zabýval jsem se důvody pro jeho vznik, detaily jeho použití a popsal jsem inovace které přináší. Tou hlavní inovací je měnitelný úhel teleskopické vidlice.

Ve třetí části jsem na základě předešlých poznatků z rozboru funkce identifikoval funkční plochy, které jsou důležité pro plnění funkce mechanismu za provozu a požadavky na přesnost jejich výroby. Funkčnost uložení zajišťují svěrné spoje, které svírají teleskopickou odpruženou vidlici a natáčecí kost která určuje úhel vidlice a tím i rozvor motocyklu, dále lisované a šroubové spoje, které zajišťují integritu stavby a funkčnost ložisek v krku a kontaktní plochy mezi vyměnitelnými vložkami, které musí být za jízdy pevně na místě a zároveň být jednoduše vyměnitelné.

Ve čtvrté části práce jsem popsal nejčastěji používané materiály na výrobu obdobných součástí, mezi něž patří ocel, litina a dural. Z nich byl vybrán dural EN-AW 7075-T6, který zajistí pevnost stavby srovnatelnou s ocelovými díly a zároveň sníží hmotnost celého mechanismu, což má žádoucí účinek snížení hmotnosti celého motocyklu, čímž se prokazatelnělepší jeho jízdní vlastnosti.

V poslední části práce jsem navrhl řešení technologie výroby. Při návrhu bylo třeba brát zřetel na složitější tvary hlavních částí uložení a na fakt se obrábí primárně hliníková slitina, která si vyžaduje jiné nástroje než ocel. Většinu operací jsem navrhl provádět na pětiosé frézce Okuma Genos M460V-5AX pomocí vícebřitých fréz s vyměnitelnými břitovými destičkami.

Citovaná literatura

- [1] F. Klocke a W. König, *Fertigungsverfahren Band 1: Drehen, Fräsen, Bohren*, Springer, 2008, p. 23.
- [2] C. I. J. B. C. Prof. Ing. Jan Mádl, *Základy technologie II*, Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2008.
- [3] G. Frömmer a A. Steinmüller, *Zerspanntechnik Fachbildung*, Verlag Europa-Lehrmittel, 2000, p. 118.
- [4] Mádl, Vrabec, Kafka a Dvořák, *Technologie obrábění 3. Díl*, Praha: Nakladatelství ČVUT, 2007.
- [5] „Rozdělení konstrukčních ocelí a jejich charakteristiky,“ 30. prosinec 2010. [Online]. Available: <http://www.tumlikovo.cz/rubriky/materialy/konstrukcni-oceli/konstrukcni-oceli-obecne/>. [Přístup získán 29. června 2021].
- [6] „What's the odds?,“ [Online]. Available: <https://cs.radiopachone.org/ocel-a-litina-jaky-je-rozdil-mezi-kovy-1038>. [Přístup získán 29. června 2021].
- [7] I. P. Spáčil, „Praktický přehled hliníkových slitin dostupných v ČR,“ [Online]. Available: <http://www.kovo-spacil.cz/alloys/cz.htm>. [Přístup získán 29. června 2021].
- [8] „EN AW-7075 T6 (AlZnMgCu1,5),“ ALUNET, [Online]. Available: <http://www.alunet.cz/ENAW-7075>. [Přístup získán 29. června 2021].
- [9] „Tvárná litina,“ [Online]. Available: <https://www.kipp.cz/sk/cs/Slu%C5%BEby/P%C5%99ehled-materi%C3%A1l%C5%AF/Litina/Litina-s-kuli%C4%8Dkov%C3%BDm-grafitem-tv%C3%A1rn%C3%A1-litina.html>. [Přístup získán 29. června 2021].

- [10] „Okuma Genos M640V-5AX,“ [Online]. Available: <https://www.okuma.eu/products/by-technology/milling/genos-m460v-5ax/genos-m460v-5ax/>. [Přístup získán 23 Červenec 2021].
- [11] „HAAS TL-1,“ [Online]. Available: <https://www.haascnc.com/cs/machines/lathes/toolroom-lathe/models/tl-1.html>. [Přístup získán 23 Červenec 2021].
- [12] „Bruska Optimum OCD 2040,“ [Online]. Available: <http://www.taima.cz/hrotove-brusky/cnc-brusky/>. [Přístup získán 23 Červenec 2021].
- [13] „Flow Waterjet Mach 100,“ [Online]. Available: <https://www.flowwaterjet.cz/Stroje/Mach-100>. [Přístup získán 23 Červenec 2021].
- [14] „KOTOUČOVÁ PILA NA KOV MTS 356,“ [Online]. Available: <https://www.svarecky-obchod.cz/pily/pily-na-kov/kotoucove-pily-na-kov/2522-kotoucova-pila-na-kov-mts-356.htm>. [Přístup získán 28 Červenec 2021].
- [15] „PRAMET Katalog,“ [Online]. Available: <https://www.dormerpramet.com/downloads/general%20catalogue%20dormer%20019%20set4%20cz-ru-pl-sk.pdf>. [Přístup získán 28 Červenec 2021].
- [16] „MT nástroje,“ [Online]. Available: <https://www.mt-nastroje.cz/Freza-vysoce-vykonna-3brita-SK-ALU-D6x15x50-d90001.htm>. [Přístup získán 28 Červenec 2021].
- [17] „JK nástroje,“ [Online]. Available: <https://jk-nastroje.cz/shop/kulove-do-70-hrc/211-kulova-freza-tvrdokovova-o-4-mm-do-70-hrc.html>. [Přístup získán 28 Červenec 2021].
- [18] „JK nástroje,“ [Online]. Available: <https://jk-nastroje.cz/shop/kulove-do-70-hrc/215-kulova-freza-tvrdokovova-o-10-mm-do-70-hrc.html>. [Přístup získán 28 Červenec 2021].

- [19] „ITAX,“ [Online]. Available: <https://www.itax.cz/eshop/spiralove-zavitniky/zavitnik-m8-spiralovy-na-hlinik>. [Přístup získán 28 Červenec 2021].
- [20] „Almash Tools,“ [Online]. Available: <https://www.almash-tools.cz/MBC-Soustruznickynuz-MTJNL-002-ISO-20x20-d1170.htm>. [Přístup získán 28 Červenec 2021].
- [21] „Almash Tools,“ [Online]. Available: <https://www.almash-tools.cz/MBC-Soustruznickynuz-MTQNR-001-ISO-20x200mm-d1165.htm>. [Přístup získán 28 Červenec 2021].
- [22] „Almash Tools,“ [Online]. Available: <https://www.almash-tools.cz/MBC-Soustruznickynuz-upichovaci-DKT-K-004-25x25-2mm-d1194.htm>. [Přístup získán 28 Červenec 2021].
- [23] „Almash Tools,“ [Online]. Available: <https://www.almash-tools.cz/MBC-Soustruznickynuz-SER-004-ISO-12x12-d1068.htm>. [Přístup získán 28 Červenec 2021].
- [24] „TECH Centrum,“ [Online]. Available: <https://www.prodejbrusiva.cz/kotouc-t1-350x40x127-454a462h5v40-305279-tyrolit?q=305279>. [Přístup získán 28 Červenec 2021].
- [25] „Svářečky-obchod.cz,“ [Online]. Available: <https://www.svarecky-obchod.cz/pily/prislusenstvi/pilove-kotouce-na-ocel/2544-pilovy-kotouc-hss-dm05-o-250-2-32-mm-t4.htm>. [Přístup získán 28 Červenec 2021].
- [26] „Kovonástroje,“ [Online]. Available: <https://www.kovonastroje.cz/Nastroje-prokovoobrabeni/Soustruzeni/Stredici-vrtaky-navrtavaky/Vrtak-stredici-B-2-5-cerny-B-2-5-mm.html>. [Přístup získán 28 Červenec 2021].
- [27] „Šimek Proficentrum,“ [Online]. Available: <https://www.simek.eu/vrtak-kov-6-00mm-5-kobalt/>. [Přístup získán 23 Červenec 2021].
- [28] „Šimek Proficentrum,“ [Online]. Available: <https://www.simek.eu/vrtak-kov-9-00mm-5-kobalt/>. [Přístup získán 22 Červenec 2021].

Seznam příloh:

Příloha 1: Výkres sestavy.....	60
--------------------------------	----

Přílohy:

Příloha 1: Výkres sestavy

