

Technická příprava a výroba malé součástky pro firmu Sfinx Holešov

Štěpán Šimek

Bakalářská práce
2025



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2024/2025

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Štěpán Šimek
Osobní číslo:	T22562
Studijní program:	B0788A270001 Procesní inženýrství
Forma studia:	Prezenční
Téma práce:	Technická příprava a výroba malé součástky pro firmu Sfinx Holešov

Zásady pro vypracování

- Teoretická studie do oblasti tématu práce
- Vytvoření návrhu a digitálního modelu součástky
- Tvorba technicko-výrobní dokumentace
- Výroba součástí, kontrola kvality a ověření funkčnosti

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

SVOBODA, Pavel a BRANDEJS, Jan. Základy konstruování. Vydání desáté, přepracované a doplněné. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2023. ISBN 978-80-7623-111-5.

BÍLEK, Ondřej a LUKOVICS, Imrich. Výrobní inženýrství a technologie. Ve Zlíně: Univerzita Tomáše Bati, 2014. ISBN 9788074544712.

GROOVER, Mikell P. Fundamentals of modern manufacturing: materials, processes, and systems. SI version. International adaptation. Singapore: John Wiley & Sons Singapore Pte., 2019. ISBN 978-1-119-70642-7.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Ondřej Bílek, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: **2. ledna 2025**
Termín odevzdání bakalářské práce: **16. května 2025**

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D. v.r.
děkan

L.S.

doc. Ing. Martin Bednařík, Ph.D. v.r.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 10. února 2025

PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že

- odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění bez ohledu na výsledek obhajoby;
- bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a bude dostupná k nahlédnutí;
- jedno vyhotovení bakalářské práce v listinné podobě bude ponecháno Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně k uložení;
- na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – bakalářskou práci – nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá; neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji, že

- jsem na bakalářské práci pracoval(a) samostatně a použitou literaturu jsem řádně citoval(a); v případě publikace výsledků budu uveden(a) jako spoluautor;
- odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně, dne

.....

podpis autora

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá technickou přípravou a samotnou výrobou malé součástky určené pro firmu Sfinx Holešov. V teoretické části je popsán technologický proces frézování, typy frézovacích nástrojů a jejich rozdělení, kategorizace frézovacích strojů a rovněž metody kontroly a měření vyráběných součástí. Cílem práce bylo navrhnout a realizovat výrobu dílu tak, aby odpovídal požadavkům výrobního provozu a mohl být následně prakticky využit. V praktické části je zpracován 3D model součástky, výrobní dokumentace a celý proces její výroby včetně měření a kontroly rozměrů. Součástka byla následně ověřena přímo v podmínkách firmy, čímž byla potvrzena její funkčnost i správnost zvoleného technologického postupu.

Klíčová slova: Technologie frézování, frézky, frézy, výroba 3D modelu, výrobní dokumentace, měření

ABSTRACT

This work focuses on the technical preparation and actual production of a small component intended for the company Sfinx Holešov. The theoretical part describes the milling process, types of milling tools and their classification, categories of milling machines, as well as methods for inspecting and measuring manufactured components. The aim of the thesis was to design and implement the production of a part that meets the requirements of the manufacturing process and can be practically applied. The practical part includes the creation of a 3D model of the component, production documentation, and the complete manufacturing process, including dimensional measurement and inspection. The component was subsequently tested under real conditions in the company, which confirmed both its functionality and the correctness of the chosen technological procedure.

Keywords: Milling technology, milling machines, milling cutters, 3D model creation, production documentation, measurement

Rád bych poděkoval panu docentu Ondřeji Bílkovi za velmi aktivní a vstřícnou pomoc při vedení mé bakalářské práce, za jeho cenné rady a trpělivost během celého procesu.

Dále děkuji společnosti Sfinx Holešov za umožnění realizace mé bakalářské práce, za spolupráci a za to, že mi bylo dovoleno pořídit fotografie výsledného výrobku.

V neposlední řadě bych chtěl poděkovat své rodině za podporu, trpělivost a motivaci, kterou mi poskytovali po celou dobu studia.

OBSAH

ÚVOD.....	11
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 FRÉZOVÁNÍ.....	13
1.1 SOUSLEDNÉ FRÉZOVÁNÍ	14
1.2 NESOUSLEDNÉ FRÉZOVÁNÍ	15
1.3 ŘEZNÉ SÍLY A ŘEZNÉ PODMÍNKY	16
1.4 TVORBA TRÍSKY A VLIV OBRÁBĚNÉHO MATERIÁLU NA TVAR TRÍSKY	17
1.5 POPIS FRÉZOVACÍHO STROJE.....	19
1.6 ROZDĚLENÍ FRÉZOVACÍCH STROJŮ	20
1.7 CNC STROJE.....	22
2 FRÉZOVACÍ NÁSTROJE.....	23
2.1 DRUHY NÁSTROJŮ	23
2.1.1 Podle materiálu břitu	23
2.1.2 Podle ploch, na nichž leží břity	26
2.1.3 Podle počtu zubů	28
2.1.4 Podle směru břitu	29
2.2 ZPŮSOBY UPÍNÁNÍ NÁSTROJŮ	30
2.3 CHLAZENÍ A MAZÁNÍ	33
3 KONTROLNÍ A MĚŘICÍ METODY.....	35
3.1 MĚŘENÍ TVARU A ROZMĚRŮ VÝROBKU.....	35
3.2 MĚŘENÍ DRSNOSTI POVRCHU	37
3.2.1 Dotykové	37
3.2.2 Optické	38
4 SHRUTÍ TEORETICKÉ ČÁSTI.....	39
II PRAKTICKÁ ČÁST	40
5 CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI PRÁCE	41
5.1 NÁVRH MODELU SOUČÁSTI	41
5.1.1 Součást podélného kluzného vedení ve tvaru I	41
5.1.2 Součást podélného kluzného vedení ve tvaru L	42
5.1.3 Součást podélného kluzného vedení tvaru M.....	43
5.1.4 Součást příčného kluzného vedení	44
5.2 STROJNÍ ZAŘÍZENÍ	44
5.3 NÁSTROJE	45
5.4 TVORBA VÝROBNÍ DOKUMENTACE	46
5.4.1 Součást podélného kluzného vedení tvaru I.....	46
5.4.2 Součást podélného kluzného vedení tvaru L.....	47

5.4.3	Součást podélného kluzného vedení tvaru T	48
5.4.4	Součást příčného kluzného vedení	49
5.5	VÝROBA SOUČÁSTÍ	50
5.5.1	Součást podélného kluzného vedení tvaru I	51
5.5.2	Součást podélného kluzného vedení tvaru L	56
5.5.3	Součást podélného kluzného vedení tvaru T	60
5.5.4	Součást příčného vedení	64
5.6	KONTROLA ROZMĚRŮ SOUČÁSTKY	69
5.7	OVĚŘENÍ FUNKČNOSTI V PRAXI	75
ZÁVĚR.....		78
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY		79
SEZNAM OBRÁZKŮ		81
SEZNAM TABULEK.....		84
SEZNAM PŘÍLOH.....		85

ÚVOD

Strojírenská výroba je dlouhodobě jedním z nejdůležitějších průmyslových odvětví, které významně ovlivňuje technologický rozvoj a ekonomiku každé vyspělé společnosti. Nedílnou součástí této výroby je přesné obrábění kovových i nekovových materiálů, které slouží k výrobě funkčních dílů a součástí pro různé aplikace od automobilového a leteckého průmyslu, až po výrobu spotřební elektroniky nebo zařízení pro domácnosti. Mezi základní technologie třískového obrábění patří frézování, které umožňuje efektivní úběr materiálu a tvarování obrobků s vysokou přesností. Klíčovým faktorem úspěšné výroby je kvalitní technická příprava, správný výběr nástrojů, strojů a měřicích metod.

Tato bakalářská práce se zaměřuje na technickou přípravu a výrobu konkrétní malé součástky pro firmu Sfinx Holešov, která se specializuje na precizní strojírenskou výrobu. V teoretické části práce je podrobně popsána technologie frézování, typy frézovacích nástrojů a jejich klasifikace, rozdělení frézovacích strojů a dále metody měření a kontroly vyrobených dílů. Cílem této části je vytvořit ucelený přehled o základních principech frézování a technologických možnostech, které jsou v současnosti v praxi využívány.

Praktická část práce se zaměřuje na konkrétní aplikaci teoretických poznatků. Součástí je vytvoření 3D modelu navrhovaného dílu, vyhotovení výrobní dokumentace, samotná realizace výroby součástky a následná kontrola jejích rozměrů. Výsledný díl byl otestován přímo v provozních podmínkách firmy, čímž byla ověřena správnost zvoleného technologického postupu a vhodnost použitých nástrojů a zařízení. Práce tak spojuje teoretické poznatky s praktickým využitím.

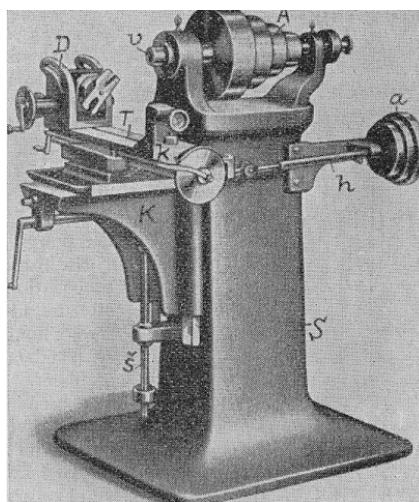
I. TEORETICKÁ ČÁST

1 FRÉZOVÁNÍ

Frézování je výrobní proces, při kterém se k odstranění materiálu z obrobku používá rotační nástroj, známý jako fréza. Tato metoda umožňuje opracovávat různé materiály, včetně kovů, plastů a dřeva. Je nezbytná pro výrobu komponentů s přesně definovanými geometrickými tvary, drážkami a otvory. Frézování je základním procesem v moderním strojírenství a nachází uplatnění v mnoha průmyslových odvětvích, jako je výroba strojů, automobilů, letadel a elektronických zařízení.

Frézování probíhá na obráběcích strojích, které se nazývají frézky. Tyto frézky jsou vybaveny rotujícím nástrojem, jenž odebírá materiál z obrobku a tím vznikají tzv. třísky. Frézy mohou mít různé tvary a velikosti, přičemž každý typ frézy je vhodný pro specifické operace a materiály. Frézovací stroj může být horizontální, vertikální a nebo speciálně upravený, přičemž u moderních frézek je častým vybavením CNC řízení, které umožňuje vysokou přesnost a automatizaci výrobního procesu.

První obráběcí stroje vznikly ve 14. století, kdy objevení střelného prachu vedlo k výrobě dělových hlavni. Slévači zvonů, kteří se specializovali na tuto výrobu, brzy zjistili, že jejich nástroje nestačí, a začali vyvíjet nové stroje, podobné vrtačkám a soustruhům. V průběhu času se k těmto strojům přidaly frézky, které se staly nezbytné pro přesné opracování materiálů. První frézy byly vyrobeny na konci 18. století a používaly se hlavně na pilování v zámečnických dílnách.[1][8]

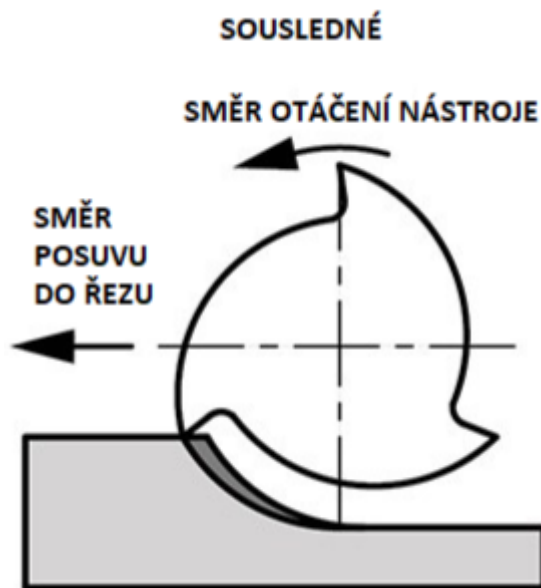


Obrázek 1 Obráběcí stroj z 19. století

(tumlikovo.cz, 2010)

1.1 Sousedné frézování

Sousedné frézování nastává, když směr rotace frézy je stejný jako směr posuvu. Největší tloušťka třísky se objevuje, když zub frézy poprvé narazí na materiál, přičemž její průřez se postupně zužuje. Tímto způsobem se dosahuje hladší obrobené plochy a prodlužuje se životnost nástroje. Řezná síla působí směrem na pracovní stůl, což usnadňuje upnutí obrobku a umožňuje použití vyšších řezných podmínek. Dnes je sousledné frézování preferováno vždy, pokud to podmínky stroje, obrobku a upnutí umožňují. Pro správné fungování tohoto způsobu obrábění je nezbytné, aby mezi maticí a pohybovým šroubem nebyla žádná vůle. V opačném případě by mohlo dojít k nežádoucímu pohybu obrobku směrem k nástroji v důsledku vůle ve vedení, což by vedlo k odběru příliš silné třísky a mohlo by způsobit poškození frézy. Tento postup zároveň není vhodný pro materiály s nečistým nebo tvrdým povrchem, ani pro polotovary s výrazně proměnlivými přídatky na obrábění – typicky například u odlitků nebo výkovků.[2][1]



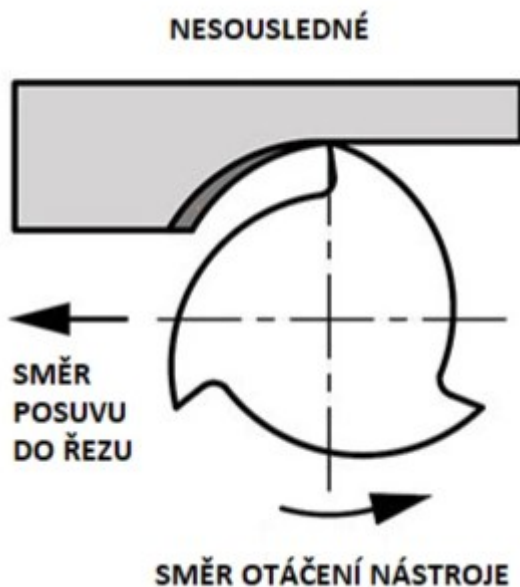
Obrázek 2 Sousedné frézování

(Profitek.cz, 2017)

1.2 Nesousledné frézování

Při nesousledném frézování je směr posuvu nástroje opačný než směr jeho otáčení. Tržská se začíná tvořit s nulovou tloušťkou a její tloušťka postupně narůstá, jak nástroj proniká dále do materiálu. Na začátku záběru působí na řezný břit vysoké síly, které přispívají k jeho opotřebení a oděru v důsledku tření. To způsobuje výrazné zvýšení teploty a často i kontakt s mechanicky zpevněnou vrstvou, kterou vytvořil předchozí břit nástroje. Tyto faktory zkracují životnost nástroje. Velká tloušťka třísky a vysoké teploty na výstupu ze záběru mohou vést k vytvoření vysokých tahových pnutí, což rovněž přispívá k rychlému opotřebení nebo poškození břitu. Dalším problémem může být přilnavost třísek na břit, které se mohou přenášet až do začátku dalšího řezu nebo dokonce způsobit okamžité vylomení ostří. Při tomto způsobu frézování působí řezné síly tak, že dochází k oddalování frézy od obrobku, zatímco radiální složky sil mají tendenci nadzvedávat obrobek ze stolu.

Tímto způsobem nejčastěji odebíráme co největší třísku, také se tento způsob využívá při obrábění materiálů s velkými přídavky na obrábění, jako jsou odlitky nebo výkovky, protože umožňuje efektivní odstranění většího množství materiálu. Mezi další výhody patří například i to, že můžeme použít stroj, který má menší vůle a nemusíme klást příliš velký důraz na upínání obrobku, jako je to u sousledného frézování. [1][2]



Obrázek 3 Nesousledné frézování

(Profítek.cz, 2017)

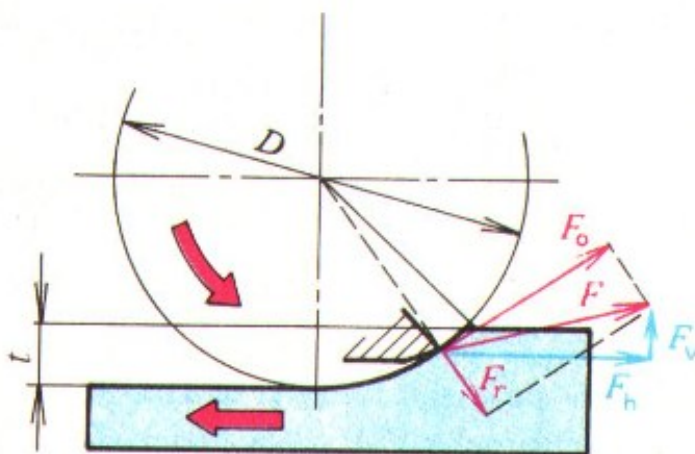
1.3 Řezné síly a řezné podmínky

Řezné síly jsou síly, které vznikají během obrábění materiálu, tudíž při kontaktu obráběcího nástroje s obrobkem. Tyto síly působí na nástroj, obrobek a strojní zařízení. Jsou důsledkem odporu materiálu vůči řeznému pohybu nástroje, který odstraňuje materiál ve formě třísek. Řezné síly se dělí na tři základní složky a to jsou:

F_o – Obvodová síla [N]

F_r – Radiální síla [N]

F – Výsledná síla [N]



Obrázek 4 Řezné síly

(Eluc.ikap.cz, 2014)

Řezné podmínky při obrábění zahrnují tři hlavní parametry, a to řeznou rychlost, posuv a hloubku řezu. Tyto faktory ovlivňují výkon obrábění, jako je množství materiálu odstraněného za jednotku času, velikost řezných sil, životnost nástroje, a kvalita obrobeného povrchu. Optimální výběr řezných podmínek vede k nejnižším výrobním nákladům při co nejkratší výrobní době. Výběr správných řezných podmínek závisí na materiálu obrobku, materiálu nástroje, geometrie břitů, požadavcích na přesnost a drsnost obráběného materiálu. Při výběru podmínek je důležité najít rovnováhu mezi požadovanou přesností a náklady.

Pro stanovení řezných podmínek se používají různé metody. Možnými způsoby jsou například zkušební metody, tabulky a výpočty. Je možné se i řídit katalogy výrobců nástrojů, které nám přesně definují, jaké podmínky zvolit.[2][3][8]

Mezi základní výpočty řezných podmínek patří například:

Výpočet řezné rychlosti

$$v_c = \frac{D_c \cdot \pi \cdot n}{1000} \text{ [m/min]} \quad (1)$$

Výpočet posuvu na zub

$$f_z = \frac{v_f}{z \cdot n} [-] \quad (2)$$

Výpočet rychlosti posuvu

$$v_f = n \cdot f \text{ [mm/min]} \quad (3)$$

1.4 Tvorba třísky a vliv obráběného materiálu na tvar třísky

Tříska vzniká při odebírání materiálu obrobku nástrojem. Proces odebírání třísek obvykle probíhá ve více fázích. Nejprve se materiál na čelní ploše břitu nástroje stlačuje tlakem. Působením řezné síly vzniká v materiálu napětí, která překonávají jeho vnitřní soudržnost a odpor, což vede ke vzniku trhliny směřující ve směru působení síly před řezným břitem. Během pohybu nástroje se stlačený materiál třísky nadzvedne na čelní ploše, sklouzne po břitu a je odtržen čelem nástroje, čímž vznikají třísky, které jsou následně odváděny.

Vniknutí klínovitého břitu do materiálu a samotné vytvoření třísky vyžaduje určitou řeznou sílu, jejíž velikost závisí na obrobitelnosti materiálu, tedy jeho pevnosti a tvrdosti, velikosti průřezu třísky, geometrii břitu a jeho nastavení vůči obrobku. Tvar vznikající třísky je výrazně ovlivněn vlastnostmi obráběného materiálu.

U krystalických materiálů, jako jsou kovy a jejich slitiny, lze při procesu odebírání třísek pozorovat tři hlavní fáze, které se nazývají:

Oblast 1 – oblast primární plastické deformace

První oblast vzniká, když břit nástroje postupně proniká do materiálu. Nejprve dochází k pružným deformacím, ale později dojde k trvalým změnám v jeho struktuře. Tato oblast má vliv přímo na velikost přechování třísky

Oblast 2 – oblast sekundární plastické deformace

Druhá oblast se nachází v povrchových vrstvách v místě kontaktu třísky s čelní plochou nástroje. Tato oblast má vliv na stav povrchových vrstev obrobku.

Oblast 3 – oblast terciální plastické deformace

Poslední oblast se vytváří v místě kontaktu roviny hřbetu nástroje s obrobenou plochou. Tato oblast má vliv na povrchové vrstvy obrobku.

Vliv obráběného materiálu na tvar třísky

Obrobený materiál má výrazný vliv na tvar třísky. Různé materiály mají odlišné vlastnosti, které ovlivňují, jakým způsobem se třísky oddělují, mezi tyto vlastnosti patří například tvrdost, pevnost, krystalická struktura anebo tepelné vlastnosti.

Existují tři druhy třísek, které jsou odlišné právě kvůli těmto vlastnostem. Dělí se na:

Třísku plynulou – Tato tříska se vytváří při obrábění měkkých a houževnatých materiálů, kdy je použita vysoká řezná rychlost a větší kladné úhly čela nástroje. Nutno říci, že tyto třísky nejsou úplně vhodné a bezpečné, protože se můžou namotat na používaný nástroj a tím poškodit jak nástroj, tak i obrobenou plochu. Také může dojít ke styku obsluhy s touto třískou.



šroubovitá dlouhá

Obrázek 5 Plynulá tříska

(Eluc.ikap.cz, 2014)

Třísku článkovitou – Ta naopak vzniká při obrábění tvrdých a tvárných materiálu. Tato tříska je mnohem příjemnější pro obsluhu, protože prakticky nedochází k namotávání třísek na nástroj, a to z toho důvodu, že se tato tříska láme na menší pásy, které postupně odpadávají.

tvářená článkovitá



Obrázek 6 Článkovitá tříška

(Eluc.ikap.cz, 2014)

Třísku drobivou – Tříška vzniká při obrábění tvrdých a křehkých materiálu. Podle názvu si lze všimnout, že při kontaktu nástroje s obrobkem vznikají třísky, které nejsou ve tvaru zkroucené pásky, ale spíše drobivé. Tato tříška nevzniká pouze vlivem vlastností obráběného materiálu, ale dá se i dosáhnout úpravou nástroje například lamačem za břitem.[8][7][5][4]



Obrázek 7 Drobová tříška

(Eluc.ikap.cz, 2014)

1.5 Popis frézovacího stroje

Stroj, na kterém se obrábí frézováním se nazývá frézka. Jako vhodný příklad uvedu základní části klasické konzolové frézky. Tento pracovní stroj se skládá z několika základních prvků a těmi jsou stojan, příčné sáně, konzole, podélný stůl, vřeteník, vřeteno,

Stojan-Jedná se o odlitek nejčastěji ze šedé litiny, ve kterém se nachází vřeteník.

Příčné sáně-Umožňují příčné nastavení obrobku a dále je v jejich horní části podélné vedení stolu

Podélný stůl-Umožňuje podélné nastavení obrobku, v této části stroje se nachází drážky typu T, které nám dovolují upínat obrobky přímo na pracovní stůl bez použití různých upínacích prostředků jako jsou například svěráky. Případně tyto drážky můžeme použít pro upnutí různých přídavných zařízení.

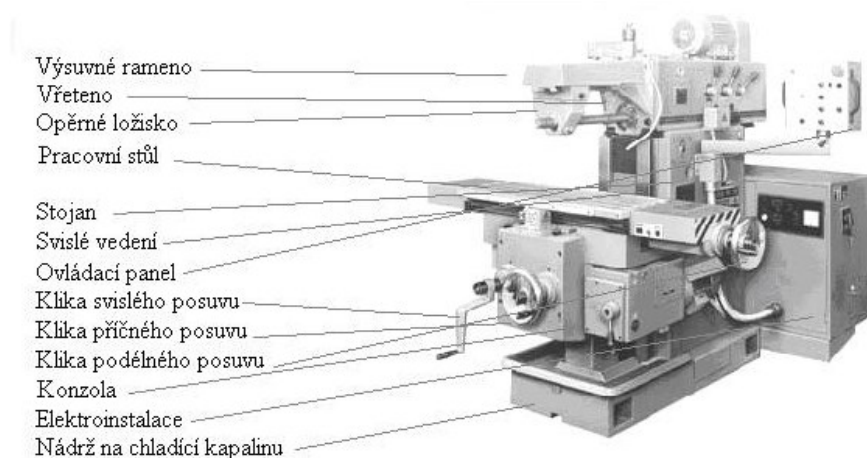
Konzole-Je vyrobena z odlitku šedé litiny, umožňuje svislé přenastavení a v horní části konzoly se nachází vedení příčných saní.

Vřeteník-Je to rychlostní převodovka, pomocí které se nastavují optimální otáčky vřetena, ve kterém je upnut pracovní nástroj. Je poháněn hlavním elektromotorem.

Vřeteno-Jedná se o část stroje, do které se upíná pracovní nástroj. Vřeteno zajišťuje přenášení pohybu, pevné upevnění nástroje a přesnost obrábění.

Frézka se samozřejmě skládá z dalších podpůrných částí jako například nádrže na chladicí kapalinu, vany na třísky, výsuvného ramene a podpěrného ložiska.

Mezi nezbytnou součástí frézky se samozřejmě počítá i různé svěráky, otočné stoly, nebo dělicí přístroje.



Obrázek 8 Frézovací stroj/ Fréza

(eluc.ikap.cz, 2012)

1.6 Rozdělení frézovacích strojů

Frézovací stroje neboli frézky, se dělí na několik druhů, a to podle toho jakou mají konstrukci, podle polohy vřetene a podle způsobu řízení

Podle konstrukce a druhu práce

Konzolové frézky-Jedná se o vůbec nepoužívanější druh frézovacích strojů. Využívají se především na frézování rovinných a tvarových ploch. Nejvhodnější využití těchto strojů je v spíše malosériové výrobě.

Stolové frézky-Tyto stroje se využívají pro hrubovací práce, a to kvůli tomu, že disponují tuhým stojanem, který umožňuje obrábět při větších výkonech. Tyto stroje se využívají spíše pro rozměrnější obrobky a díky jejich výkonům se používají spíše ve větších výroбах. Opět se dají rozdělit na stolové frézky se svislým, nebo naopak s vodorovným vřetenem.

Rovinné frézky-Používají se především pro frézování velmi rozměrných obrobku, bohužel tyto stroje jsou podstatně limitovány a to tím, že obrábí pouze v jednom směru a to podélném. Jsou velmi konstrukčně podobné konzolovým frézám. Mezi rovinné frézky se řadí například i portálová frézka, jedná se o jeden z nejrozměrnějších druhů frézek, rozměry těchto frézek přesahují 10 metrů a můžou vážit i 150 000 kg.

Speciální frézky-Dělí se podle frézovacích operací, pro které jsou navrženy a vyrobeny. Obvykle se liší konstrukcí a schopností kombinovat posuvy a otáčení obrobku během obrábění. Mezi základní druhy speciálních frézek patří frézky na drážky, frézky na závity, frézky na ozubené kola, nebo frézky na vačky.

Podle polohy vřetene – Frézky se podle polohy vřetene dělí na vodorovné, svislé a univerzální.

Podle způsobu řízení

Řízené ručně-Kvalita obrábění závisí především na zručnosti obsluhy. Nevyužívá počítačově řízené jednotky

Řízené programem-Tyto stroje nazýváme CNC (Computer Numerical Control) frézky. Tyto stroje jsou řízeny počítačovým programem, který určuje pohyb nástroje, obrobku a jejich vzájemnou trajektorii pohybu.[10][6][3][2][16]

1.7 CNC stroje

CNC stroje prakticky úplně nahradili tradiční obráběcí stroje. Počítačové numerické řízení se v současnosti stalo klíčovou technologií v mnoha oblastech průmyslu. CNC stroje fungují na principu řízení pohybů obráběcího nástroje nebo obrobku pomocí počítačových programů, které určují všechny parametry obrábění, včetně polohy, rychlosti a trajektorie pohybu. Tyto zařízení jsou zásadní pro zvyšování efektivity, přesnosti a opakovatelnosti výrobních procesů, stejně jako pro automatizaci výroby. Jedním z hlavních přínosů CNC technologií je jejich schopnost dosahovat velmi vysoké přesnosti, což umožňuje dosahování těsných tolerancí a opakovatelných výsledků. [19][9][6][20]



Obrázek 9 CNC frézka

(Holzmann.cz,2020)

2 FRÉZOVACÍ NÁSTROJE

Frézy, které jsou frézovacími nástroji, se charakterizují větším počtem zubů a někdy i složitější geometrií. Ve strojírenství představují nezbytný a velmi univerzální nástroj.

2.1 Druhy nástrojů

Frézovací nástroje lze rozdělit do jednotlivých skupin podle různých faktorů.

2.1.1 Podle materiálu břitu

Druhů materiálu, ze kterých se frézy vyrábí je poměrně dost, nicméně mezi ty nejpoužívanější se řadí tyto:

Z rychlořezné oceli-Jedná se o jedny z nejběžnějších typů fréz (viz. přiložený obrázek) používaných k obrábění. Rychlořezná ocel je podstatně tvrdá, odolná vůči opotřebení, teplotně odolná a cenově dostupná.



Obrázek 10 Fréza z rychlořezné oceli

(Bo-import.cz, 2025)

S břitzy ze slinutých karbidů – Nejčastěji se používají plátky ze slinutých karbidů. Už podle názvu se dá vyčíst, že se jedná o nástroj, který se vyrábí ze slinutých karbidů. Slinuté karbidy se vyrábí pomocí technologie prášková metalurgie. Tento materiál je kompozit tvořený karbidem wolframu jako hlavní složkou, který je spojován kobaltem nebo jinými metalickými pojivy. Slinutý karbid je vysoce tvrdý a odolný materiál, tudíž se hodí na

obrábění tvrdých materiálů. Jedna z mála nevýhod je jeho cena, která je vyšší než například u rychlořezné oceli.



Obrázek 11 Fréza s břity ze slinutých karbidů

(Bo-import.cz, 2025)

Z polykrystalického diamantu-Polykrystalický diamant je kompozitní materiál tvořený drobnými diamantovými krystaly, které jsou slinovány pod vysokým tlakem a teplotou. Jelikož se jedná o diamant, tak se tento nástroj vyznačuje extrémní tvrdostí s vyšší odolností proti nárazům. Má vysokou životnost a vyznačuje se vysokým možným přestřením.



Obrázek 12 Fréza z polykrystalického diamantu

(stopkovofrezy.cz, 2025)

Keramické řezné nástroje-Keramické frézy si zachovávají vysokou tvrdost i při vyšších teplotách (1000 až 1200 °C). Vyrábí se pomocí práškové metalurgie a slinováním z oxidu hlinitého. Mezi jejich základní vlastnosti patří malá pevnost v ohybu, křehkost, nízké

opotřebení, tudíž vysoká životnost a nízká tepelná vodivost. Rozdělují se do tří skupin: Čisté oxidy, cermety a karbidové oxidy.



Obrázek 13 Fréza z keramického řezného materiálu

(technickytydeniky.cz, 2018)

Frézy z KBN-Frézy z KBN jsou ideální pro obrábění těžce opracovatelných materiálů, zejména při vysokorychlostním obrábění, a jsou široce používány v automobilovém, leteckém, nástrojářském a kovozpracujícím průmyslu. Vlastnostmi se lehce podobají polykrystalickému diamantu. Jedná se o poměrně drahé nástroje, s porovnáním předešlých uvedených materiálů.



Obrázek 14 Fréza z KBN

(wuerth.cz, 2025)

Povlakování nástrojů – Jedná se o proces, při kterém se na povrch řezných nástrojů, jako jsou frézy, nanáší tenká vrstva materiálu, aby se zlepšily jejich vlastnosti, jako jsou

například tvrdost, odolnost proti opotřebení, odolnost proti korozi a zlepšení tepelné vodivosti. Při povlakování se využívá několik materiálu, mezi ty nejzákladnější patří:

Nitridace titanu a hliníku – Tento povlak se vyznačuje vysokou tvrdostí i při vyšších teplotách, vynikající odolností proti oxidaci a nízkou tepelnou vodivostí. Je ideální pro obrábění při vysokých rychlostech bez použití chlazení. Vhodný je pro frézování, vrtání a závitování tvrdých materiálů.

Nitridace hliníku a chromu – Povlak, který se vyznačuje vysokou odolností vůči oxidaci a tvrdostí za tepla, ideální pro nástroje vystavené vysokému tepelnému a mechanickému namáhání, kde zajišťuje výbornou odolnost vůči opotřebení.

Nitridace titanu – Univerzální standardní vrstva, která zajišťuje 300-400% delší životnost ostří než nástroje bez povlakování. Jedná se o jedno z nejčastějších povlakování.

Nitridace chromu – Povlak s vysokou tvrdostí a nízkým povrchovým pnutím, charakterizovaný vysokou stabilitou na vzduchu a dobrou adhezí. Používá se především u slitin neželezných kovů.[4][2][6]

2.1.2 Podle ploch, na nichž leží břity

Frézy se dělí mimo jiné na to, na jakých plochách leží břity při daném nástroji. Ovšem nejčastěji se jedná o frézy válcové nebo kuželové. Mezi základní druhy podle toho hlediska řadíme:

Frézy válcové – Jak již bylo zmíněno, jedná se o jeden z nejběžnějších druhů fréz. Používají se především na obrábění bočních stran obrobku, čela obrobku, frézování drážek nebo složitějších tvarů.



Obrázek 15 Válcová fréza

(Boukal.cz, 2024)

Frézy kotoučové – Jedná se o frézu, která se využívá nejčastěji pro dvě operace, a těmi jsou řezání drážek a čelní frézování bočních rovin. V krajních případech se tato fréza dá využít i na řezání materiálů.



Obrázek 16 Kotoučová fréza [25]

(Hoffmann-group.com, 2025)

Frézy kuželové – Už podle názvu si lze všimnout, že pracovní tvar u této frézky bude mít tvar kužele, což znamená, že se fréza postupně zužuje nebo rozšiřuje. Využívá se na odstraňování otřepů, obrábění obrysů a plošné obrábění.



Obrázek 17 Kuželová fréza

(Abrasive.cz, 2025)

Frézy úhlové – Jedná se o specifické frézy, které mají břity pod určitým úhlem vůči ose frézy. Díky tomuto uspořádání břitu, se tato fréza využívá pro obrábění šikmých ploch, různých drážek pod úhlem nebo při obrábění obrobku se složitějším tvarem. [10][5][4]



Obrázek 18 Tvarová/úhlová fréza

(Pilanamarket.cz, 2025)

2.1.3 Podle počtu zubů

Při rozdělení fréz je důležité zohlednit i počet zubů a průměr nástroje. **Hrubozubé frézy** mají větší, pevné zuby a používají se především pro hrubování, kde je potřeba rychlé odstranění materiálu. **Jemnozubé frézy** mají menší zuby a jsou určeny výhradně pro dokončovací operace, kde je kladen důraz na precizní a jemné opracování povrchu.

Hrubozubé – Tyto frézy mají větší a pevnější zuby, což je činí ideálními pro hrubování, kdy se odstraňuje větší množství materiálu rychle. Používají se pro prvotní obrábění, kde není kladen důraz na vysokou přesnost, ale na efektivitu. Tento typ fréz umožňuje rychlé odstranění materiálu, zatímco povrch zůstává drsnější.



Obrázek 19 Fréza válcová hrubozubá

(i-nastroje.cz, 2025)

Jemnozubé – Kdežto frézy jemnozubé mají menší a jemnější zuby, což je činí ideálními pro dokončovací operace, kde je kladeno důraz na vysokou přesnost a hladký povrch. Používají se k jemnému opracování materiálu po hrubování, aby se dosáhlo kvalitního povrchového zakončení. Tento typ fréz se vyznačuje pomalým odstraňováním materiálu, ale zajišťuje vyšší kvalitu a jakost povrchu.



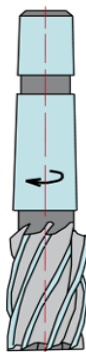
Obrázek 20 Fréza válcová jemnozubá

(landsmann.cz, 2025)

2.1.4 Podle směru bříty

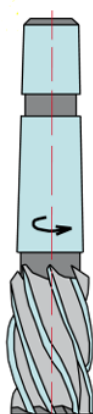
Frézy lze také rozdělit na **pravořezné** a **levořezné** podle směru, jakým odstraňují materiál během frézování. Toto rozdělení závisí na směru otáčení frézy a jejím účinku na obrobek.

Pravořezné – Frézy se otáčejí doprava, když se na ně díváme shora. Jsou nejběžnější a používají se pro většinu aplikací při obrábění kovů, plastů a dalších materiálů. Při práci s těmito frézami je materiál odstraňován efektivně a stabilně, což vede k lepšímu povrchovému zakončení.



Obrázek 21 Fréza pravořezná

Levořezné-Naopak levořezné se otáčejí doleva, když se na ně díváme shora. Používají se méně často, ale jsou vhodné pro specifické aplikace, kde je potřeba změnit směr odstraňování materiálu. Tento typ frézy může způsobovat větší vibrace a teplo, což může ovlivnit stabilitu a povrchovou úpravu.



Obrázek 22 Fréza levořezná

2.2 Způsoby upínání nástrojů

Frézy musí být vždy pevně a správně upevněny, aby bylo zajištěno kvalitní obrábění. Při nesprávném upnutí může nástroj způsobit vibrace, být jednostranně namáhán, špatně řezat a vést k nekvalitnímu povrchu obroběných ploch. Upínací systém nástrojů musí splňovat několik důležitých požadavků, jako je například souosost frézy a vřetena stroje,

opakovatelnost přesného upnutí při výměně nástrojů, odolnost proti axiálním silám a pootočení, a možnost obrábět i při vyšších otáčkách.

Mezi hlavní typy a způsoby upínání frézovacích nástrojů patří například. Upínání nástrčných fréz, upínání fréz se stopkou ve tvaru kužele anebo upínání fréz se stopkou ve tvaru válce

Nástrčné frézy – Jedná se o frézy například válcové tvarové nebo kotoučové. Malé frézovací hlavy a čelní válcové frézy nástrčné se upínají na krátké upínací trny. Přenos krouticího momentu z trnu na nástroj je obvykle zajišťován perem, zatímco proti axiálnímu posuvu je nástroj zabezpečen křížovým šroubem. Upínací trny jsou dlouhé a krátké.



Obrázek 23 Upínací trn pro válcové frézy

(svářečky-obchod.cz, 2025)

Frézy s kuželovou stopkou-Frézy s kuželovou upínací stopkou se upevňují přímo do kuželové dutiny vřetena frézky, pokud je kužel upínací stopky frézy shodný s kuželem dutiny vřetena. Pokud je kužel upínací stopky menší než kužel dutiny vřetena, je třeba použít redukční pouzdra pro správné upnutí.



Obrázek 24 Redukční pouzdra s Morse kuželem

(mojedilna.cz, 2025)

Frézy s válcovou stopkou – Tyto frézy se upevňují pomocí speciálních upínacích pouzder a kleštín, které zajišťují rychlé, přesné a spolehlivé upnutí fréz s válcovou stopkou. Kleština, která je vyrobena z pevné pérové oceli, je po obvodu rovnoměrně rozřezaná na osm částí. Při zasunutí kleštiny do kuželové části upínacího pouzdra se její vnitřní průměr zúží, čímž dojde k pevnému zajištění válcové stopky nástroje. **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**[1][2][16][20]



Obrázek 25 Upínací pouzdro pro kleštiny

(landsmann.cz, 2025)



Obrázek 26 Kleštiny

(svarecky-obchod.cz, 2025)

2.3 Chlazení a mazání

Chlazení nástrojů se realizuje pomocí přívodu řezných kapalin přímo do oblasti řezu.

Řezné kapaliny nejenže chladí, ale také poskytují mazací účinky. Tímto způsobem snižují tření mezi čelní plochou nástroje a třískou, mezi hřbetem nástroje a obrobenou plochou, stejně jako mezi jednotlivými částmi třísky.

Řezné kapaliny by měly mít vysokou měrnou tepelnou kapacitu, dobrou tepelnou vodivost, vysoký součinitel přestupu tepla a vynikající mazací schopnosti. Nicméně žádná kapalina nedokáže splnit všechny tyto požadavky současně.

Mezi základní úkony řezných kapalin patří odvod tepla z místa obrábění, odvod třísek z místa obrábění, prodloužení životnosti nástroje a zlepšení jakosti povrchu obráběného materiálu.

Použití správné chladicí kapaliny při obrábění může výrazně prodloužit životnost nástrojového ostří. Tím, že chladicí kapalina účinně snižuje teplotu při řezu, dochází k menšímu opotřebení nástroje, což umožňuje jeho delší používání. Navíc použití kvalitní chladicí kapaliny umožňuje zvýšení řezné rychlosti, což vede k rychlejšímu průběhu obrábění a tím i k celkovému zefektivnění výrobního procesu.

Mezi nejpoužívanější řezné kapaliny patří – **Vodní roztoky, Emulze a řezné oleje**. K chlazení se dále dají použít i mlhy, plyny nebo pasty.

Vodní roztoky – Jedná se o roztok, který obsahuje uhličitan, křemičitan nebo dusičnan sodný. Tyto roztoky dobře chladí, zatímco mazací účinek je téměř minimální. Mezi nevýhody patří vznikání anaerobních bakterií, kvůli kterým na materiálu vznikají kaly a nepříjemný zápach. Tyto roztoky využíváme především u dokončovacích prací.

Emulze – Jedná se o směs minerálních olejů, mýdla, alkoholu a vody, která je vysoce účinná při chlazení a zároveň poskytuje dobré mazací vlastnosti. Tyto kapaliny jsou nejběžněji používané jako řezné kapaliny. Emulzní kapaliny spojují výhody vody a mazacích olejů v určitých poměrech. Jak se zvyšuje koncentrace oleje, chladicí účinek klesá.

Řezné oleje – Řezné oleje, mohou být minerální, živočišné nebo rostlinné, mají vynikající mazací schopnosti, nicméně jejich chladicí účinek je nižší. Používají se tam, kde je kladen důraz na dosažení vysoké kvality povrchu obrobené plochy a částečně přispívají i k redukci opotřebení nástroje. V praxi se řezné oleje často využívají například při obrábění ozubených kol, protahování, řezání závitů a podobných operacích.[12][2][5]



Obrázek 27 Chlazení u frézování

(hobes.sk, 2025)

3 KONTROLNÍ A MĚŘICÍ METODY

Kontrola po obrábění je klíčová pro zajištění správnosti rozměrů a tvaru hotového dílu. Provádí se pomocí různých měřidel a kalibrů, které ověřují, zda součást splňuje požadavky na toleranci a kvalitu. Mezi běžné metody patří měření délky, průměrů, úhlů, hloubky a drsnosti povrchu. Pravidelná kontrola během i po obrábění zajišťuje, že výrobky odpovídají technickým specifikacím a jsou funkční.

3.1 Měření tvaru a rozměrů výrobku

Kontrola hotového obrobku se provádí pomocí měřidel. Měřidla jsou nástroje a zařízení určená k měření rozměrů nebo k provádění kontroly součástí.

K základním požadavkům na měřidla patří-přesnost měřidla, otěru vzdornost, optimální váha měřidla, která zajišťuje pohodlné ovládání.

Měřidla rozdělujeme do několika základních skupin a těmi jsou-**Pevná měřidla, nastavitelná měřidla, šablony a kalibry a základní měřky.**

Pevná měřidla-S pevně stanovenou roztečí rysek nebo ploch. Přesnost odečítání závisí na vzdálenosti mezi dvěma sousedními ryskami. Při měření dále závisí na správném nastavení polohy měřidla a správným odčítáním ze stupnice. Mezi tyto měřidla patří ocelové pravítka nebo nožová pravítka.

Nastavitelná měřidla-Slouží k měření délky nebo úhlu pomocí nastavitelného, pohyblivého indikačního zařízení, jako je nonius, stupnice nebo počítadlo. Naměřená hodnota je okamžitě odečtena, například u posuvky, mikrometru, úhloměru a dalších.

Šablony a kalibry-Kalibry jsou kontrolní měřidla, která slouží k ověřování vyrobeného rozměru a tvaru. Umožňují rychlou kontrolu rozměrů nebo tvarů, které se často opakují. Kalibry se rozdělují do dvou skupin a těmi jsou kalibry tvarové a kalibry rozměrové.

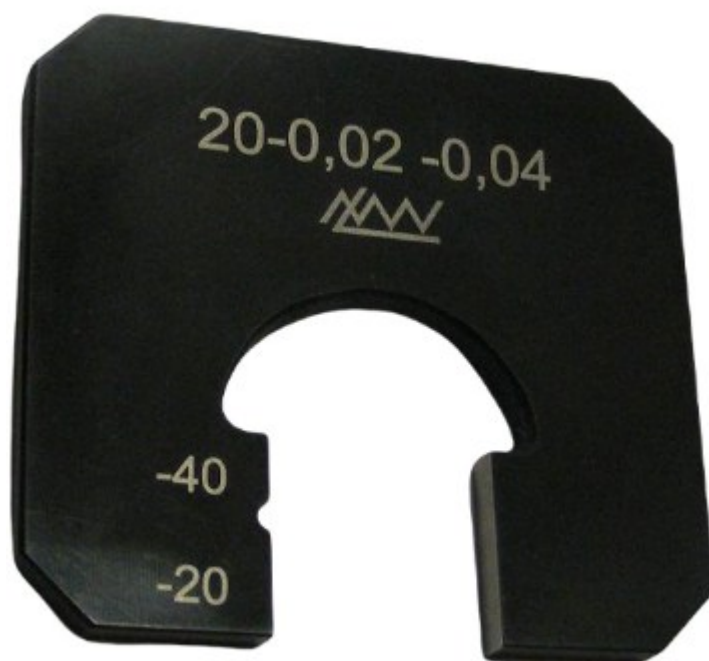
Kalibry tvarové – Tvarové kalibry se používají k ověření tvaru součástí na základě principu průsvitu světla mezi měrkou a kontrolovaným povrchem. Do této skupiny kalibrů patří například úhelníky, rádiusové měřky nebo závitové hřebínkové měřky.



Obrázek 28 Závitové měrky

(mojedilna.cz, 2025)

Kalibry rozměrové – Těmito kalibry se kontrolují tvar a rozměr součástí. Tyto kalibry se dále rozdělují na sadové a mezní. Mezi kalibry tohoto druhu patří například listové měrky, kalibr pro měření průměru kulatiny nebo pro měření tloušťky materiálu, válečkové kalibry nebo ploché kalibry.[13][1][5][7]



Obrázek 29 Třmenový kalibr

(klz.inshop.cz, 2025)

3.2 Měření drsnosti povrchu

Měření drsnosti povrchu je proces, který slouží k určení geometrie povrchu materiálu, což zahrnuje výšku a vzdálenost drsnostních vln. Drsnost povrchu má významný vliv na vlastnosti součásti, jako jsou opotřebení, tření, adheze a vzhled výrobku. Měření se obvykle provádí pomocí profilometrů, které mohou být dotykové nebo bezkontaktní (optické).

Výsledkem měření je parametr drsnosti, nejčastěji R_a (aritmetický průměr drsnosti), který vyjadřuje průměrnou výšku drsnosti povrchu. Dalšími parametry mohou být R_z (maximální výška drsnosti) nebo R_t (celková výška profilu). Kontrola drsnosti povrchu je zásadní v průmyslové výrobě, zejména pro součásti, kde je požadována vysoká přesnost, dlouhá životnost nebo dobré funkční vlastnosti.

3.2.1 Dotykové

Dotyková měřidla drsnosti povrchu jsou zařízení, která používají dotykový hrot k měření mikroskopických nepravidlostí na povrchu materiálu. Mezi základní druhy dotykových měřidel patří profilometry s dotykovým hrotem, ruční měřidla drsnosti, mikroprofiloměry, měřidla s nastavitelným dotykovým hrotem, tříosé profilometry.



Obrázek 30 Tříosý profilometr

(kubousek.cz, 2025)

3.2.2 Optické

Optické přístroje pro měření drsnosti povrchu používají bezkontaktní technologie k analýze povrchových nepravidlostí, což je výhodné pro materiály, které by mohly být poškozeny dotykovými měřidly. Tyto přístroje využívají světelné signály, jako je laser, interferometrie nebo jiné optické metody, k detekci a analýze drsnosti. Základní typy optických přístrojů pro měření drsnosti jsou laserové profilometry, optické profilometry a využití interferometrie.

Laserové profilometry – Laserové profilometry využívají laserový paprsek, který je nasměrován na povrch materiálu. Odraz světla od povrchu je analyzován a na jejím základě je rekonstruován profil povrchu. Tento profil se následně používá k určení drsnosti povrchu. Jsou ideální pro měření povrchů, které by mohly být poškozeny dotykovými hroty, například velmi jemné nebo citlivé povrchy.

Optické profilometry – Tyto profilometry využívají principu optického měření pro získání 3D profilů povrchu. Tyto přístroje často kombinují interferometrické metody s optickými senzory pro vytváření 3D obrazů povrchu, což umožňuje podrobnou analýzu drsnosti ve všech směrech. Jsou velmi užitečné pro analýzu složitějších povrchů.[14][15]



Obrázek 31 Optický profilometr Bruker Countour

(*bruker.com, 2025*)

4 SHRUTÍ TEORETICKÉ ČÁSTI

Ve své práci jsem se zaměřil na proces **frézování**, který je klíčovým obráběcím procesem v průmyslové výrobě. Popisoval jsem použití **frézovacích strojů** a **nástrojů** pro obrábění materiálů. Následně jsem podrobně rozdělil nástroje podle použití a podle materiálu, ze kterých jsou tyto nástroje vyrobeny, případně jejich povlakování. Frézování se dělí na **sousledné** a **nesousledné**, přičemž každá metoda má své výhody v závislosti na požadavcích na kvalitu povrchu a efektivitu.

Upínání nástrojů je nezbytné pro stabilní a přesný průběh frézování. Správné upnutí nástroje minimalizuje vibrace a zajišťuje efektivní obrábění.

Dále jsem se věnoval **řezným silám**, které ovlivňují stabilitu obrábění a životnost nástrojů. Kontrola těchto sil je důležitá pro optimalizaci procesu. Po dokončení obrábění je nutná **kontrola měření**, která zajišťuje požadovanou přesnost obrobku.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI PRÁCE

Má bakalářská práce je zaměřena na výrobu čtyř součástek, které slouží jako kluzné plochy pro výrobní linku. Tyto díly jsou důležité pro správné vedení a stabilizaci výrobků během výrobního procesu. Hlavním cílem práce je projít celým procesem výroby od výroby modelu v CAD softwaru, přes výrobu samotného dílu až po praktické ověření funkčnosti.

V první fázi bude provedeno vytvoření 3D modelů jednotlivých součástí v CAD softwaru. Modely budou navrženy podle výrobního výkresu, který jsem obdržel od zadavatele

Během výroby bude provedeno kontrolní měření jednotlivých rozměrů s cílem ověřit přesnost výroby. Po dokončení posledního dílu proběhne celková kontrola rozměrů u jedné ze součástek pro ověření přesnosti výroby.

Závěrečnou fází práce je otestování součástek přímo v provozu, tedy jejich montáž na výrobní linku a praktické ověření funkce v reálných podmínkách.

Cílem práce je nejen zhotovit plně funkční součásti, ale také ověřit jejich konstrukční návrh.

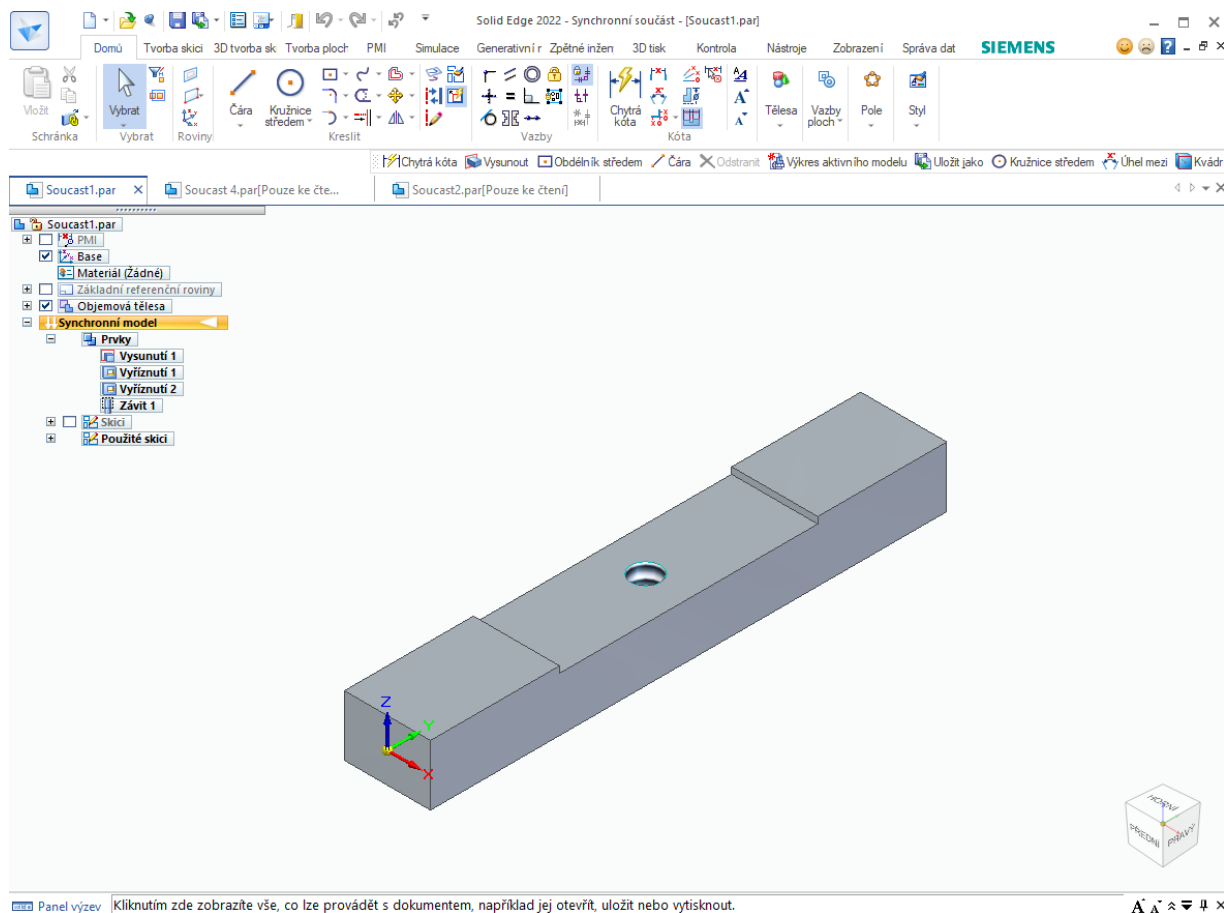
Všechny čtyři součástky jsou vyráběny z **polyethylentereftalátu** neboli **PET**, tento materiál je navíc modifikovaný s příměsí PTFE. Tento materiál si zvolil zákazník. Vlastnosti použitého materiálu se nachází v materiálovém listě, který je přiložen níže v příloze V.

5.1 Návrh modelu součásti

V této kapitole jsem se zaměřil na tvorbu digitálního 3D modelu čtyř mechanických součástek v konstrukčním softwaru Solid Edge 2022. Pomocí těchto modelů jsem následně zhotovil plně hodnotnou výkresovou dokumentaci, která je potřebná pro následnou výrobu.

5.1.1 Součást podélného kluzného vedení ve tvaru I

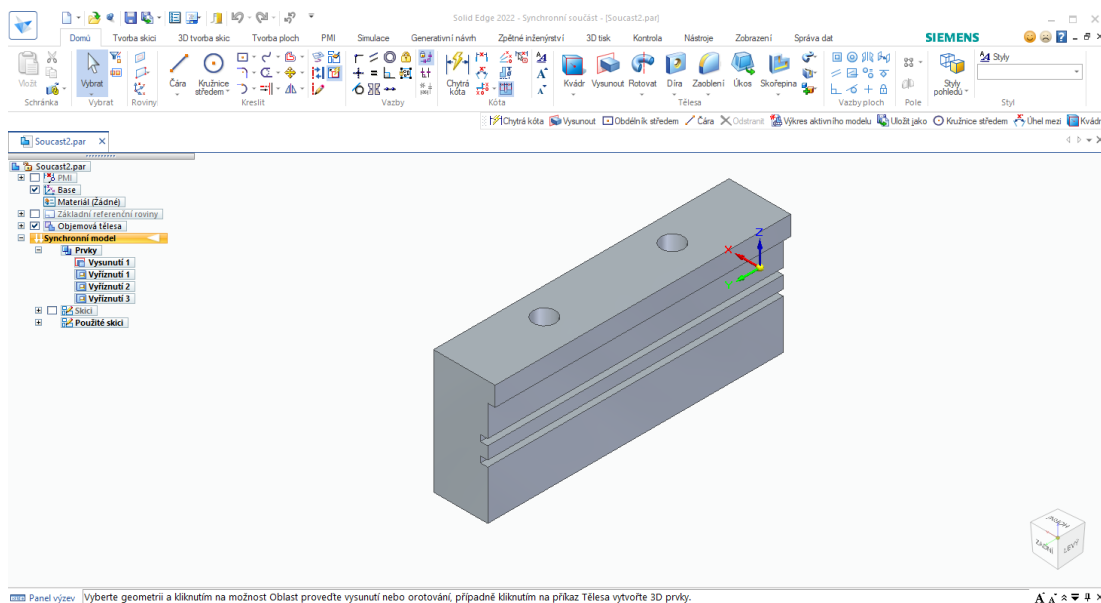
Při modelování této součásti v Solid Edge 2022 jsem nejprve vytvořil obdélníkový profil, který jsem následně vysunul do prostoru a tím získal základní tvar tělesa. Poté jsem vytvořil drážku odebráním materiálu pomocí funkce vysunutí. Nakonec jsem do modelu přidal díru, do které jsem následně vytvořil vnitřní závit.



Obrázek 32 Model součásti podélného kluzného vedení tvaru I

5.1.2 Součást podélného kluzného vedení ve tvaru L

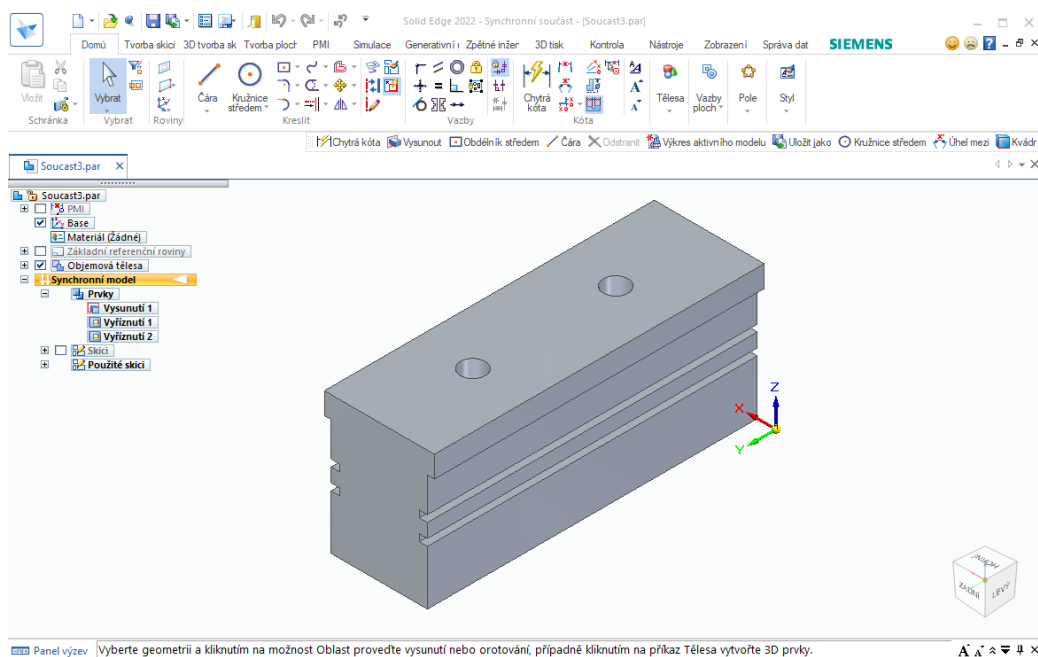
Při tvorbě této součásti jsem nejprve vytvořil obdélníkový profil, který jsem vysunul a získal tak základní tvar tělesa. Následně jsem pomocí funkce odebrání vysunutím vytvořil osazení. Poté jsem vytvořil dvě podélné drážky, rovněž odebráním materiálu vysunutím. Na závěr jsem na čele součásti vytvořil dvě díry.



Obrázek 33 Model součásti podélného kluzného vedení tvaru L

5.1.3 Součást podélného kluzného vedení tvaru M

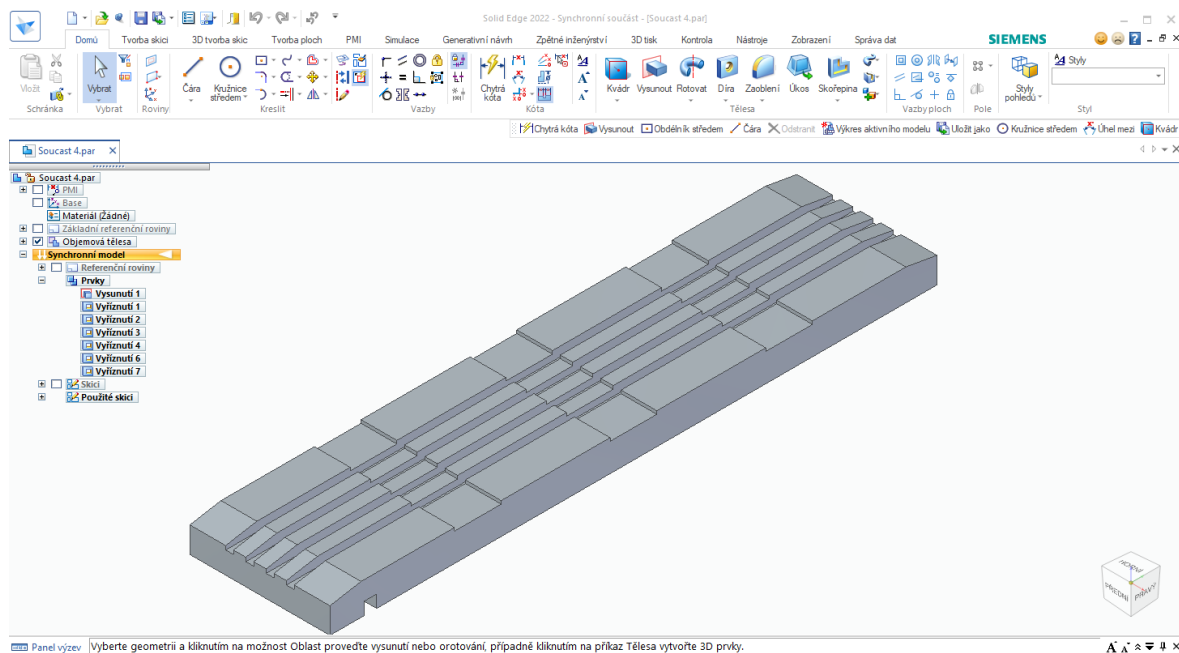
Při modelování této součásti jsem postupoval podobným způsobem jako u předchozích. Nejprve jsem vytvořil obdélníkový profil, který jsem vysunul. Následně jsem pomocí odebrání vysunutím vytvořil osazení z obou stran součásti. Poté jsem obdobným způsobem vytvořil dvě drážky, opět z obou stran. Nakonec jsem pomocí funkce pro tvorbu děr zhotovil otvory na čele součásti.



Obrázek 34 Model součásti podélného kluzného vedení tvaru T

5.1.4 Součást příčného kluzného vedení

U této součásti jsem nejprve vytvořil obdélníkový profil, který jsem vysunul a tím získal základní tvar tělesa. Následně jsem pomocí odebrání vysunutím vytvořil úhly na čele součásti. Poté jsem zhotovil podélné drážky, následované příčnými drážkami, obojí pomocí odebrání vysunutím. Na závěr jsem vytvořil ještě jednu drážku, která se nachází na opačné straně součásti.



Obrázek 35 Model součásti příčného kluzného vedení

Po vytvoření 3D modelů součástí v softwaru Solid Edge 2022 jsem přešel k dalšímu kroku, kterým je tvorba výrobních výkresů. Tyto výkresy slouží jako podklad pro výrobu jednotlivých součástí

5.2 Strojní zařízení

Pro realizaci obráběcích operací byla použita **vertikální frézka TOS FA 3 AV**, jejichž základní parametry se nachází v tabulce níže. Jedná se o konvenční univerzální frézku československé výroby, určenou pro přesné frézování v kusové a malosériové výrobě. Stroj je vybaven svislým vřetenem a pevným pracovním stolem, který je pohyblivý ve třech osách podélně, příčně a svisle. Vřeteno je osazeno kuzelem ISO 40 a umožňuje upnutí širokého spektra frézovacích nástrojů.

Stroj disponuje mechanickým přenosem pohybu a možností automatických posuvů, což zajišťuje přesnost a opakovatelnost při obrábění.

Tabulka 1 Základní parametry stroje TOS FA 3 AV

Rozměry pracovního stolu	1250x300	mm
Podélný pohyb (osa X)	800	mm
Příčný pohyb (osa Y)	250	mm
Svislý pohyb (osa Z)	400	mm
Rozsah vřetena	56-2000	ot/min
Kužel vřetene	ISO 40	-
Výkon hlavního motoru	4	kW

5.3 Nástroje

Při obrábění na frézce jsem využíval různé typy nástrojů podle konkrétní operace a podle potřebných rozměrů. Nejčastěji jsem používal frézy osazené vyměnitelnými břitovými destičkami ze slinutých karbidů, které se vyznačují vysokou tvrdostí, odolností proti opotřebení a umožňují efektivní obrábění i při vyšších řezných rychlostech. Pro přesnější nebo méně náročné operace jsem použil také klasické frézy a vrtáky z rychlořezné oceli (HSS), které jsou vhodné pro běžné obrábění a mají dobrou houževnatost. V jednom případě jsem rovněž použil ruční závitník pro vytvoření metrického vnitřního závitu.

Také jsem vytvořil tabulku s danými nástroji a drobným popisem jejich vlastností. Na tuto tabulku se dále odkazují v kapitole samotného postupu obrábění, především na zkratky nástrojů, které jsem těmto nástrojům přidělil.

Tabulka 2 Tabulka nástrojů

Název	Průměr nástroje [mm]	Řezný materiál	Povlakování	Zkratka
Fréza válcová s destičkami	40	Slinuté karbidy	Cementované k.	T1
Fréza válcová s destičkami	63	Slinuté karbidy	Cementované k.	T2
Vrták	6,8	Rychlořezná ocel	-	T3
Vrták	9	Rychlořezná ocel	-	T4
Ruční závitník	M8x1,25	Rychlořezná ocel	-	T5
Fréza válcová	2,5	Rychlořezná ocel	-	T6
Fréza válcová	15	Rychlořezná ocel	-	T7
Fréza válcová	4	Rychlořezná ocel	-	T8

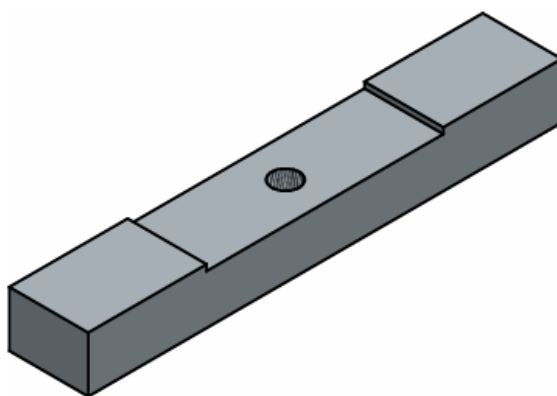
5.4 Tvorba výrobní dokumentace

Po vytvoření 3D modelů jednotlivých součástí jsem přešel k tvorbě jejich výrobních výkresů. V této kapitole jsem však přiložil pouze stručné obrázky modelů spolu s popisem základních rozměrů jednotlivých součástí, které jsou klíčové pro orientaci ve výrobě. Podrobné výrobní výkresy, obsahující všechny potřebné technické detaily, jako jsou přesné rozměry, tolerance, označení závitů a další technologické údaje, jsou součástí přílohy této práce. V příloze se tudíž nachází plnohodnotné výkresy, které mohou sloužit jako podklad pro jejich výrobu a montáž.

Samotné plochy, u kterých dochází ke styku s jinými plochami, při pohybu, jsem vyznačil tenkými linkami pro lepší pochopení popisu samotných součástí.

5.4.1 Součást podélného kluzného vedení tvaru I

Tato součást, jako všechny jiné slouží jako kluzné vedení u výrobní linky na sladkosti ve firmě Sfinx Holešov. Součástka kluzného podélného vedení ve tvaru „I“ je umístěna v upínací hlavě pod součástkou kluzného podélného vedení ve tvaru L. Dotyková plocha této I součástky je v kontaktu s boční pohybovou plochou vedení výrobní linky. Součást je připevněna jedním šroubem, který prochází dírou této součástky.

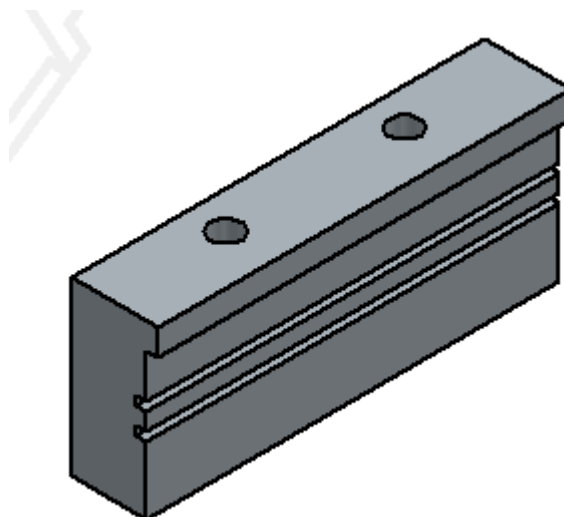


Obrázek 36 Vyobrazení součásti podélného kluzného vedení tvaru I

Všechny základní rozměry jsou vypsány bez daných tolerancí, protože tyto tolerance jsou již uvedeny v příloze, kde se nachází plnohodnotné výkresy.

Rozměry polotovaru:**Délka-** 122 mm**Výška-** 16 mm**Šířka-**22 mm**Základní rozměry:****Délka-** 120 mm**Výška-** 14 mm**Šířka-**20**Závit** – M8x1,25**Drážka** – o šířce 60 mm a hloubce 1,5 mm**5.4.2 Součást podélného kluzného vedení tvaru L**

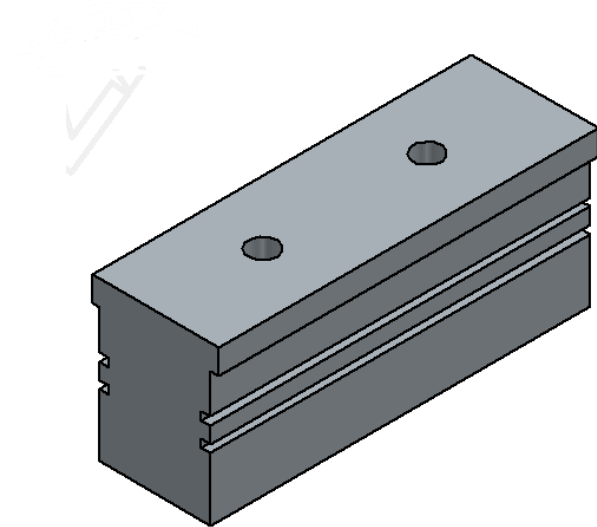
Tato součástka je naopak umístěna v prvním upínacím a posledním upínacím bodě na upínací hlavě, jelikož má já oproti součástce podélného kluzného vedení tvaru T jen jednu kluznou plochu. Naopak dotyková plocha této součástky je v kontaktu s horní pohybovou plochou vedení výrobní linky. Součást je připevněna pomocí dvou šroubů, které prochází dírami této součástky.



Obrázek 37 Vyobrazení součásti podélného kluzného vedení tvaru L

Rozměry polotovaru:**Délka-** 122 mm**Výška-** 52 mm**Šířka-**30 mm**Základní rozměry:****Délka-** 120 mm**Výška-** 50 mm**Šířka-**25 mm**Díra** – 2x Ø9 mm**Drážka** – o šířce 2,5 mm a hloubce 3 mm**5.4.3 Součást podélného kluzného vedení tvaru T**

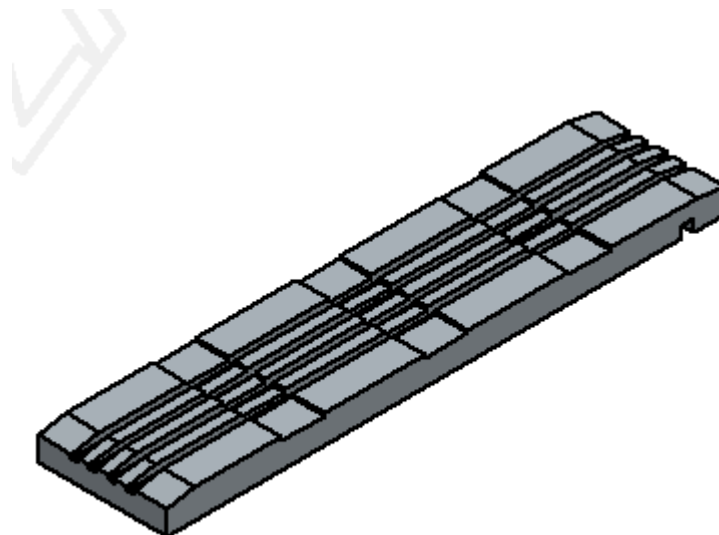
Tato součást je posledním dílem pro podélné kluzné vedení u této linky. Nachází se přesně mezi součástkami podélného kluzného vedení tvaru L. U této součástky se na rozdíl od předešlých součástek využívá hned dvou kluzných ploch. Jedná se právě o plochy, které se nachází na boku této součástky. Opět jako u předešlé součástky dochází k dotyku dotykové plochy této součástky s horní pohybovou plochou vedení této výrobní linky. Součástka je k upínací hlavě přichycena pomocí dvou šroubů, které se prochází dírami této součástky.



Obrázek 38 Vyobrazení součásti podélného kluzného vedení tvaru T

Rozměry polotovaru:**Délka-** 122 mm**Výška-** 52 mm**Šířka-** 42 mm**Základní rozměry:****Délka-** 120 mm**Výška-** 50 mm**Šířka-** 40 mm**Díra** – 2x Ø9 mm**Drážka** – o šířce 2,5 mm a hloubce 3 mm**5.4.4 Součást příčného kluzného vedení**

Tato součástka jako jediná slouží pro příčné kluzné vedení u výrobní linky. Dotyková část této součástky je její horní plocha, která obsahuje podélné drážky. Je upnuta pomocí šroubu na příčné upínací hlavě. K dotyku dochází mezi již zmiňovanou částí součástky a horní plochou pohybovou plochou vedení výrobní linky.



Obrázek 39 Vyobrazení součásti příčného kluzného vedení

Rozměry polotovaru:**Délka-** 200 mm**Výška-** 15 mm**Šířka-**52 mm**Základní rozměry:****Délka-** 195 mm**Výška-** 10 mm**Šířka-** 50 mm**Vodorovná drážka** – o šířce 2,5 mm a hloubce 3 mm**Svislá drážka** – o šířce 15 mm a hloubce 1 mm

5.5 Výroba součástí

Po zhotovení všech potřebných dokumentů se již můžeme pustit do samotné výroby součástek. Nejdřív jsem ovšem musel objednat materiál, podle požadavků zákazníka. Z ekonomického hlediska se mi nejvíce vyplatilo objednat tyč čtvercového průřezu s minimálním přídavkem a tu následně sám nakrátit podle potřebných délek.



Obrázek 40 Řezání materiálu pásovou pilou

Po nařezání materiálu na potřebnou délku se již můžu pustit do samotného obrábění jednotlivých součástí.

Při frézování součásti z PET materiálu nebylo použito chlazení, jelikož správnou volbou řezných podmínek nedocházelo k nadměrnému zahřívání, které by mohlo ovlivnit kvalitu obrobeného povrchu.

Otáčky jsem volil podle výpočtu a následného vybrání co nejbližších otáček, co mi stroj dovolil. Jelikož se jedná o poměrně starý stroj, tak volba otáček nebyla příliš přesná, protože stroj nemá příliš velký rozsah otáček. Nicméně z praxe už mám ověřené, že tyto otáčky jsou dostačující a nijak mi nebránily při výrobě těchto součástek.

Posuv jsem volil podle dané operaci, nejvíce jsem zde využil svých zkušeností a praxe s frézováním. Rychlost posuvu byla volena od 180–420 mm/min podle dané operace a výběru nástroje.

Ke každé vyráběné součásti byla vytvořena tabulka, která obsahuje popis prováděné operace, použitý nástroj, zvolené otáčky a měřidlo pro kontrolu obrobených rozměrů. Tuto tabulku jsem vytvořil pro jednodušší a přehledný postup výroby u jednotlivých dílů.

Kromě této tabulky jsem každou operaci krok po kroku u každé součásti rozepsal a přidal ke každé operaci fotografii přímo z místa pracoviště.

Pro všechny použité nástroje jsem vytvořil tabulku, ve které jsem těmto nástrojům přidělil zkratku. Tudíž se v této kapitole na tuto tabulku se všemi nástroji odkazují.

Všechny požadované rozměry jsem do tabulky i do samotného postupu výroby psal bez tolerancí, protože na ty jsem se již odkazoval v úvodu praktické části. Jak jsem již zmiňoval nachází se ve výrobních výkresech, které se nachází v příloze mé bakalářské práce.

5.5.1 Součást podélného kluzného vedení tvaru I

Tabulka 3 Postup výroby pro první součást

Název operace	Řezný nástroj	Požadovaný rozměr [mm]	Otáčky [min. ⁻¹]	Kontrolní měřidlo
Frézování čela	T1	120	2000	Posuvné měřítko
Frézování šířky	T1	14	2000	Posuvné měřítko
Frézování výšky	T1	20	2000	Posuvné měřítko
Frézování drážky	T1	60	2000	Posuvné měřítko
Vrtání díry	T3	6,8	2000	Posuvné měřítko
Tvorba závitu	T5	M8x1,25	-	Závitový kalibr

Číslo operace: 1

Název operace: Frézování čela

Použitý nástroj: T1

Zvolené otáčky: 2000 otáček/min

Požadovaný rozměr: 120 mm



Obrázek 41 Frézování čela

Číslo operace: 2

Název operace: Frézování šířky

Použitý nástroj: T1

Zvolené otáčky: 2000 otáček/min

Požadovaný rozměr: 14 mm



Obrázek 42 Frézování šířky

Číslo operace: 3

Název operace: Frézování výšky

Použitý nástroj: T1

Zvolené otáčky: 2000 otáček/min

Požadovaný rozměr: 20 mm



Obrázek 43 Frézování výšky

Číslo operace: 4

Název operace: Frézování drážky

Použitý nástroj: T1

Zvolené otáčky: 2000 otáček/min

Požadovaný rozměr: 60 mm



Obrázek 44 Frézování drážky

Číslo operace: 5

Název operace: Vrtání díry

Použitý nástroj: T3

Zvolené otáčky: 2000 otáček/min

Požadovaný rozměr: 6,8 mm



Obrázek 45 Vrtání děr

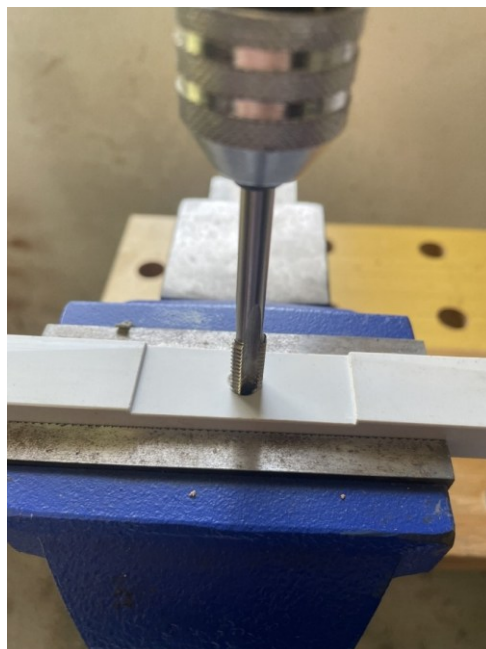
Číslo operace: 6

Název operace: Tvorba závitu

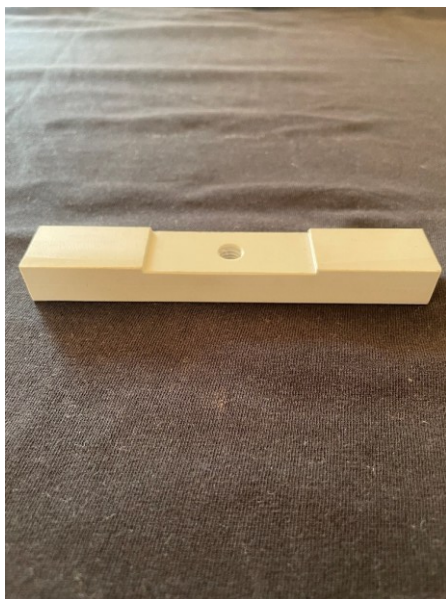
Použitý nástroj: T5

Zvolené otáčky: -

Požadovaný rozměr: M8x1,25



Obrázek 46 Tvorba závitu



Obrázek 47 Hotová součást kluzného vedení tvaru I

5.5.2 Součást podélného kluzného vedení tvaru L

Tabulka 4 Postup výroby pro druhou součást

Název operace	Řezný nástroj	Požadovaný rozměr [mm]	Otáčky [min^{-1}]	Kontrolní měřidlo
Frézování čela	T1	120	2000	Posuvné měřítko
Frézování výšky	T1	25	2000	Posuvné měřítko
Frézování šířky	T2	50	1400	Posuvné měřítko
Frézování osazení	T2	42,2 / 3	1400	Posuvné měřítko
Frézování drážek	T6	2,5 / 3	2000	Posuvné měřítko
Vrtání děr	T4	9	2000	Posuvné měřítko

Číslo operace: 1

Název operace: Frézování čela

Použitý nástroj: T1

Zvolené otáčky: 2000 otáček/min

Požadovaný rozměr: 120 mm



Obrázek 48 Frézování čela

Číslo operace: 2

Název operace: Frézování výšky

Použitý nástroj: T1

Zvolené otáčky: 2000 otáček/min

Požadovaný rozměr: 25 mm



Obrázek 49 Frézování výšky

Číslo operace: 3

Název operace: Frézování šířky

Použitý nástroj: T2

Zvolené otáčky: 1400 otáček/min

Požadovaný rozměr: 50 mm



Obrázek 50 Frézování šířky

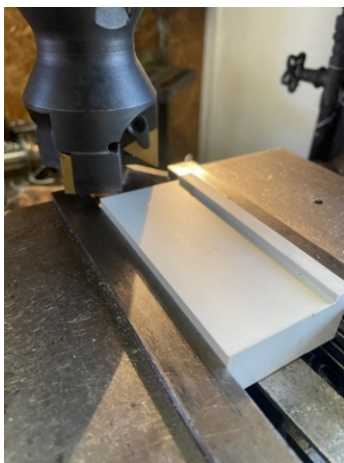
Číslo operace: 4

Název operace: Frézování osazení

Použitý nástroj: T2

Zvolené otáčky: 1400 otáček/min

Požadovaný rozměr: šířka 42,2 mm, hloubka 3 mm



Obrázek 51 Frézování osazení

Číslo operace: 5

Název operace: Frézování drážek

Použitý nástroj: T6

Zvolené otáčky: 2000 otáček/min

Požadovaný rozměr: šířka 2,5 mm , hloubka 3 mm



Obrázek 52 Frézování drážek

Číslo operace: 6

Název operace: Vrtání děr

Použitý nástroj: T4

Zvolené otáčky: 2000 otáček/min

Požadovaný rozměr: 9 mm



Obrázek 53 Vrtání děr



Obrázek 54 Hotová součást podélného kluzného vedení tvaru L

5.5.3 Součást podélného kluzného vedení tvaru T

Tabulka 5 Postup výroby pro třetí součást

Název operace	Řezný nástroj	Požadovaný rozměr [mm]	Otáčky [min^{-1}]	Kontrolní měřidlo
Frézování čela	T1	120	2000	Posuvné měřítko
Frézování výšky	T1	40	2000	Posuvné měřítko
Frézování šířky	T2	50	1400	Posuvné měřítko
Frézování osazení	T2	42,2 / 3	1400	Posuvné měřítko
Frézování drážek	T6	2,5 / 3	2000	Posuvné měřítko
Vrtání děr	T4	9	2000	Posuvné měřítko

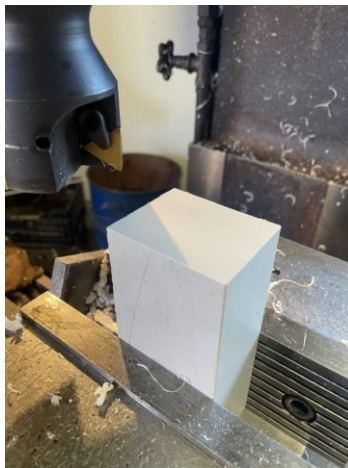
Číslo operace: 1

Název operace: Frézování čela

Použitý nástroj: T1

Zvolené otáčky: 2000 otáček/min

Požadovaný rozměr: 120 mm



Obrázek 55 Frézování čela výrobku

Číslo operace: 2

Název operace: Frézování výšky

Použitý nástroj: T1

Zvolené otáčky: 2000 otáček/min

Požadovaný rozměr: 40 mm



Obrázek 56 Frézování výšky výrobku

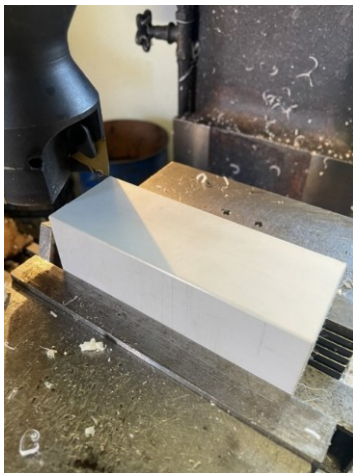
Číslo operace: 3

Název operace: Frézování šířky

Použitý nástroj: T2

Zvolené otáčky: 1400 otáček/min

Požadovaný rozměr: 50 mm



Obrázek 57 Frézování šířky výrobku

Číslo operace: 4

Název operace: Frézování osazení

Použitý nástroj: T2

Zvolené otáčky: 1400 otáček/min

Požadovaný rozměr: šířka 42,2 mm, hloubka 3 mm



Obrázek 58 Frézování osazení

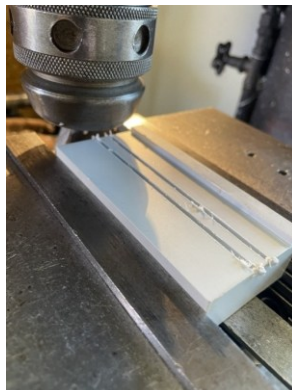
Číslo operace: 5

Název operace: Frézování drážek

Použitý nástroj: T6

Zvolené otáčky: 2000 otáček/min

Požadovaný rozměr: šířka 2,5 mm, hloubka 3 mm



Obrázek 59 Frézování drážek

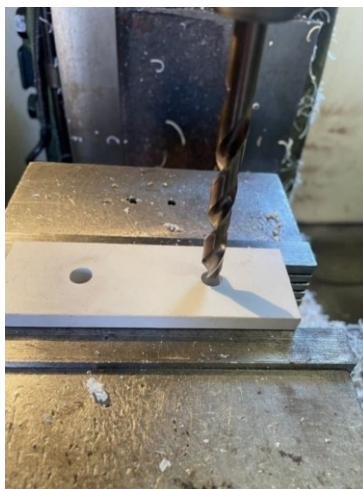
Číslo operace: 6

Název operace: Vrtání děr

Použitý nástroj: T4

Zvolené otáčky: 2000 otáček/min

Požadovaný rozměr: 9 mm



Obrázek 60 Vrtání děr



Obrázek 61 Hotová součást podélného kluzného vedení tvaru T

5.5.4 Součást příčného vedení

Tabulka 6 Postup výroby pro čtvrtou součást

Název operace	Řezný nástroj	Požadovaný rozměr [mm]	Otáčky [min^{-1}]	Kontrolní měřidlo
Frézování čela	T1	195	2000	Posuvné měřítko
Frézování šířky	T1	45	2000	Posuvné měřítko
Frézování výšky	T2	10	1400	Posuvné měřítko
Frézování úhlu čela	T2	10	1400	Posuvné měřítko
Frézování svislých drážek	T7	15/1	2000	Posuvné měřítko
Frézování vodorovných drážek	T6	2,5/3	2000	Posuvné měřítko
Frézování spodní drážky	T8	4/4	2000	Posuvné měřítko

Číslo operace: 1

Název operace: Frézování čela

Použitý nástroj: T1

Zvolené otáčky: 2000 otáček/min

Požadovaný rozměr: 195 mm



Obrázek 62 Frézování čela

Číslo operace: 2

Název operace: Frézování výšky

Použitý nástroj: T2

Zvolené otáčky: 1400 otáček/min

Požadovaný rozměr: 10 mm



Obrázek 63 Frézování výšky

Číslo operace: 3

Název operace: Frézování šířky

Použitý nástroj: T1

Zvolené otáčky: 2000 otáček/min

Požadovaný rozměr: 45 mm



Obrázek 64 Frézování šířky

Číslo operace: 4

Název operace: Frézování zkosení čela

Použitý nástroj: T2

Zvolené otáčky: 1400 otáček/min

Požadovaný rozměr: do vzdálenosti 10 mm od čela pod úhlem 10 °



Obrázek 65 Frézování úhlu čela

Číslo operace: 5

Název operace: Frézování příčných drážek

Použitý nástroj: T7

Zvolené otáčky: 2000 otáček/min

Požadovaný rozměr: do hloubky 1 mm



Obrázek 66 Frézování příčných drážek

Číslo operace: 6

Název operace: Frézování podélných drážek

Použitý nástroj: T6

Zvolené otáčky: 2000 otáček/min

Požadovaný rozměr: do hloubky 3 mm



Obrázek 67 Frézování podélných drážek

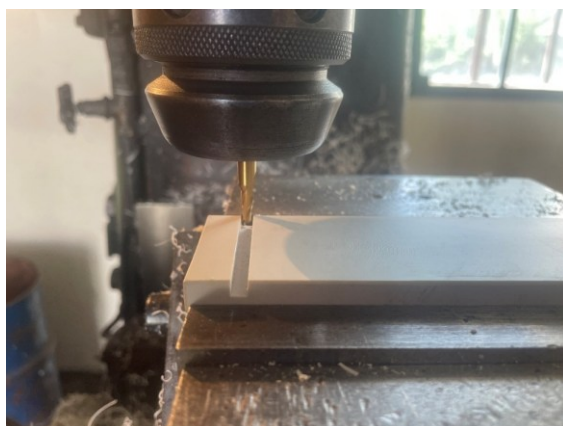
Číslo operace: 7

Název operace: Frézování spodní drážky

Použitý nástroj: T8

Zvolené otáčky: 2000 otáček/min

Požadovaný rozměr: do hloubky 4 mm



Obrázek 68 Frézování spodní drážky



Obrázek 69 Hotová součást příčného kluzného vedení

5.6 Kontrola rozměrů součástky

V této kapitole se budu věnovat kontrole rozměrů pro danou součástku. Cílem této kontroly je ověřit, zda reálné rozměry odpovídají rozměrům požadovaným z výkresové dokumentace.

Pro ověření přesnosti vyrobené součásti byly jednotlivé rozměry měřeny desetkrát. Z naměřených hodnot byl následně vypočítán aritmetický průměr, který byl použit pro přirovnání požadované hodnoty a hodnoty naměřené.

Pro názornou ukázkou byla zvolena součásti podélného kluzného vedení tvaru L

Číslo operace: 1

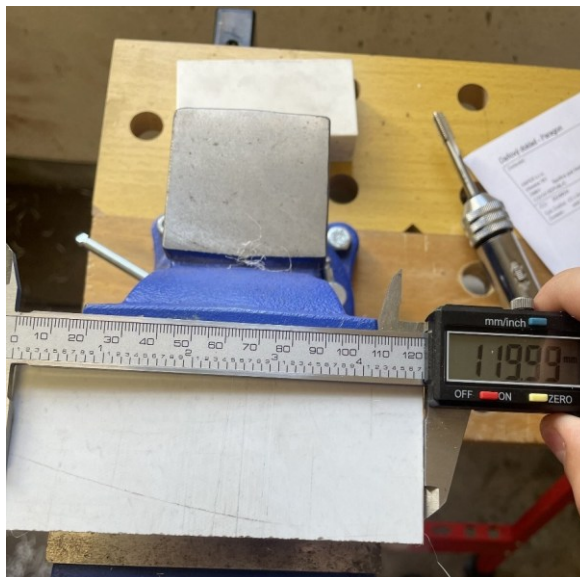
Název operace: Měření délky

Použité nástroje: Digitální posuvné měřítko

Požadovaná hodnota: 120 mm

Průměrná naměřená hodnota: 119,99 mm

Vyhovuje – Ano



Obrázek 70 Měření délky

Číslo operace: 2

Název operace: Měření výšky

Použité nástroje: Digitální posuvné měřítko

Průměrná naměřená hodnota: 50 mm

Naměřená hodnota: 50 mm

Vyhovuje – Ano



Obrázek 71 Měření výšky

Číslo operace: 3

Název operace: Měření šířky

Použité nástroje: Digitální posuvné měřítko

Požadovaná hodnota: 25 mm

Naměřená hodnota: 25 mm

Vyhovuje – Ano



Obrázek 72 Měření tloušťky

Číslo operace: 4

Název operace: Měření šířky osazení

Použité nástroje: Digitální posuvné měřítko

Požadovaná hodnota: 42,20 mm

Průměrná naměřená hodnota: 42,20 mm

Vyhovuje – Ano



Obrázek 73 Měření šířky osazení

Číslo operace: 5

Název operace: Měření polohy drážky

Použité nástroje: Digitální posuvné měřítko

Požadovaná hodnota: 19,75 mm

Průměrná naměřená hodnota: 19,75 mm

Vyhovuje – Ano



Obrázek 74 Měření polohy první drážky

Číslo operace: 6

Název operace: Měření vzájemných poloh drážek

Použité nástroje: Digitální posuvné měřítko

Požadovaná hodnota: 5,00 mm

Průměrná naměřená hodnota: 5,01 mm

Vyhovuje – Ano



Obrázek 75 Měření vzájemné polohy drážek

Číslo operace: 7

Název operace: Měření hloubky drážky

Použité nástroje: Digitální posuvné měřítko

Požadovaná hodnota: 3 mm

Průměrná naměřená hodnota: 3 mm

Vyhovuje – Ano



Obrázek 76 Měření hloubky drážek

Číslo operace: 8

Název operace: Měření polohy díry

Použité nástroje: Digitální posuvné měřítko

Požadovaná hodnota: 29,50 mm

Průměrná naměřená hodnota: 29,50 mm

Vyhovuje – Ano



Obrázek 77 Měření polohy díry

Název operace: Měření velikosti díry

Použité nástroje: Digitální posuvné měřítko

Požadovaná hodnota: 9 mm

Průměrná naměřená hodnota: 9 mm

Vyhovuje – Ano



Obrázek 78 Měření velikosti díry

Měření samozřejmě probíhalo i během samotného obrábění. Nicméně jsem tento kus vybral pro ukázkou přesnosti. Všechny naměřené hodnoty jsou úplně přesné nebo se nachází v toleranci, která byla zadána od firmy, pro kterou jsem tyto součástky vyráběl.

5.7 Ověření funkčnosti v praxi

Výroba probíhala bez komplikací od samotného návrhu modelu, přes tvorbu výrobní dokumentace, až po realizaci výroby a ověření funkčnosti přímo ve výrobním procesu. Celá zakázka byla dokončena s týdenním předstihem oproti smluvenému termínu. Při následné kontrole ve firmě nebyl zjištěn žádný vadný kus.

Pro ověření funkčnosti a možnosti vůbec součást namontovat přikládám fotografie přímo z pracoviště, kde se tyto součástky využívají.



Obrázek 79 Kluzné podélné vedení

Nahoře je vidět kluzné podélné vedení ve tvaru **L**, pod ním je vedení ve tvaru **T**, a ještě níže opět vedení ve tvaru **L**. Na boku upínací hlavy jsou pak upnuty další kluzné díly, tentokrát ve tvaru **I**, které doplňují celý systém podélného vedení. Těchto upínacích hlav pro vedení se na jedné takové výrobní lince vyskytuje hned několik, v případě této linky se jedná o 15 upínacích hlav.



Obrázek 80 Způsob upnutí podélného kluzného vedení

Všechny součásti kluzného vedení jsou upevněny pomocí šroubových spojů přímo do závitů, které jsou zhotoveny v tělese upínací hlavy. Tento způsob upnutí zajišťuje pevné a přesné uchycení bez potřeby dalších upevňovacích prvků. U vedení tvaru **I**, která jsou umístěna na boční straně, jsou šrouby přístupné z **opačné strany upínací hlavy**, což je dáno jejich polohou v sestavě.



Obrázek 81 Způsob upnutí příčného kluzného vedení

Na této fotografii se nachází jediná součást, kterou jsem vyráběl pro **příčné** kluzné vedení. Na rozdíl od předešlých součástí pro kluzné vedení se tato součástka nepřipevňuje přímo šroubovým spojem. Místo toho se vloží do upínací hlavy a ta se následně přitáhne tak, aby nedošlo k uvolnění této součástky.

ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo navrhnout a realizovat proces výroby malé strojní součástky pro firmu Sfinx Holešov, a tím propojit teoretické znalosti s praktickými dovednostmi. V teoretické části byly popsány klíčové prvky technologického procesu frézování, včetně rozdělení frézovacích strojů a nástrojů, a metody kontroly a měření vyráběných součástí. Tyto informace sloužily jako základ pro návrh a plánování samotné výroby.

V praktické části byl vytvořen 3D model daných součástek (kluzné podélné vedení tvaru I, L, T a kluzné příčné vedení) zpracována kompletní výrobní dokumentace a následně proběhla výroba včetně kontroly rozměrů. Výsledné součástky byly ověřeny v reálném provozu firmy, kde se ověřila jejich funkčnost a přesnost. Na základě těchto výsledků lze konstatovat, že zvolený technologický postup byl správný a účelný.

V průběhu této bakalářské práce bylo dosaženo stanoveného cíle, kterým bylo navrhnout a realizovat výrobu malých součástek s ohledem na specifické požadavky výrobního procesu. Výsledky ukazují, že správná volba frézovacích technologií, nástrojů a měřicích metod vedla k úspěšnému vyrobení dílů, které splňují stanovené parametry a požadavky firmy.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

Seznam použité literatury musí být vždy vypracován podle použité citační normy v rámci závěrečné práce. Následující ukázky seznamu použité literatury vychází z citační normy ČSN ISO 690:2022, kde se řazení seznamu řídí zvolenou metodou odkazování.

- [1] LEINVEBER, Jiří a VÁVRA, Pavel, 2017. *Strojnické tabulky: učebnice pro školy technického zaměření*. Šesté vydání. Úvaly: Albra. ISBN 978-80-7361-111-8.
- [2] ŘASA J., POKORNÝ P., GABRIEL V., 2001: *Strojírenská technologie 3 - 2díl. 1. vydání*, Praha: Scientia, ISBN 80-7183-227-8
- [3] ŘASA J., GABRIEL V., 2005: *Strojírenská technologie 3 - 1díl. 2. vydání*, Praha: Scientia, ISBN 80-7183-337-1
- [4] HUMÁR, A. *Materiály pro řezné nástroje*. Odborné publikace. Odborné publikace. Praha: MM publishing s.r.o., 2008. 235 s. ISBN: 978-80-254-2250- 2
- [5] HLUCHÝ, Miroslav, Rudolf PAŇÁK a Oldřich MODRÁČEK. *Strojírenská technologie 1. 3., přeprac. vyd.* Praha: Scientia, 2002, 173 s. ISBN 80-718-3265-0.
- [6] ŘASA, Jaroslav a GABRIEL, Vladimír, 2000. *Strojírenská technologie. 3, Metody, stroje a nástroje pro obrábění*. Praha: Scientia. ISBN 80-7183-207-3.
- [7] BROŽEK, Milan, 2002. *Strojírenská technologie I: technologické postupy*. Praha: Česká zemědělská univerzita. ISBN 80-213-0373-5.
- [8] KOCMAN, Karel a PROKOP, Jaroslav, 2005. *Technologie obrábění*. Vyd. 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM. ISBN 80-214-3068-0.
- [9] ŠTULPA, Miroslav, 2006. *CNC Obráběcí stroje a jejich programování*. Praha: BEN. ISBN 978-80-7300-207-7.
- [10] BOTHE, Otakar, 1997. *Strojírenská technologie I pro strojírenské učební obory*. Praha: Sobotáles. ISBN 80-85920-42-5.
- [11] *Machine Learning Engineering*. 08. September 2020. True Positive. ISBN 1999579577.

- [12] BRYCHTA, Josef, Robert ČEP, Jana NOVÁKOVÁ a Lenka PETŘKOVSKÁ. *Technologie II - 1. díl*. 1. vyd. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 2007. ISBN 978-80-248-1641-8
- [13] FISCHER, Ulrich a kol. *Základy strojnictví*. Vyd. 1. Praha: Europa-Sobotáles, 2004. 290 s. ISBN 80-86706-09-5.
- [14] BOHÁČEK, Jaroslav, 2019. *Metrologie*. 3. přepracované vydání. V Praze: České vysoké učení technické. ISBN 978-80-01-06612-6.
- [15] BOHÁČEK, Jaroslav. *Metrologie*. 2. vydání. Praha: České vysoké učení technické v Praze. ISBN 978-80-01-06169-5.
- [16] David A. Stephenson, John S. Agapiou, *Metal Cutting Theory and Practice*, 3rd Edition. ISBN 9781315373119.
- [17] *Encyclopedia of Materials: Science and technology*, B. Scholtes, O. Voehringer isbn. 2001. ISBN 978-0-08-043152-9.
- [18] Ronald J. Cottman, *Total Engineering Quality Management*. ISBN 9781003066965.
- [19] Michael Fitzpatrick Hardcover *Machining and Cnc Technology* – January. 2013. ISBN 0073373788.
- [20] *Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, And Systems* 3rd Edition. 2006. ISBN 978-0471744856.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Obráběcí stroj z 19. století.....	13
Obrázek 2 Sousedné frézování	14
Obrázek 3 Nesousedné frézování	15
Obrázek 4 Řezné síly	16
Obrázek 5 Plynulá tříska.....	18
Obrázek 6 Článekovitá tříska	19
Obrázek 7 Drobná tříska.....	19
Obrázek 8 Frézovací stroj/ Fréza	20
Obrázek 9 CNC frézka.....	22
Obrázek 10 Fréza z rychlořezné oceli.....	23
Obrázek 11 Fréza s břity ze slinutých karbidů	24
Obrázek 12 Fréza z polykrystalického diamantu.....	24
Obrázek 13 Fréza z keramického řezného materiálu.....	25
Obrázek 14 Fréza z KBN.....	25
Obrázek 15 Válcová fréza.....	26
Obrázek 16 Kotoučová fréza [25].....	27
Obrázek 17 Kuželová fréza.....	27
Obrázek 18 Tvarová/úhlová fréza.....	28
Obrázek 19 Fréza válcová hrubozubá.....	28
Obrázek 20 Fréza válcová jemnozubá	29
Obrázek 21 Fréza pravořezná	30
Obrázek 22 Fréza levořezná	30
Obrázek 23 Upínací trn pro válcové frézy	31
Obrázek 24 Redukční pouzdra s Morse kuželem	32
Obrázek 25 Upínací pouzdro pro kleštiny	32
Obrázek 26 Kleštiny	33
Obrázek 27 Chlazení u frézování.....	34
Obrázek 28 Závitové měrky	36
Obrázek 29 Třmenový kalibr.....	36
Obrázek 30 Tříosý profilometr	37
Obrázek 31 Optický profilometr Bruker Countour.....	38
Obrázek 32 Model součásti podélného kluzného vedení tvaru I.....	42
Obrázek 33 Model součásti podélného kluzného vedení tvaru L	43
Obrázek 34 Model součásti podélného kluzného vedení tvaru T	43

Obrázek 35 Model součásti příčného kluzného vedení	44
Obrázek 36 Vyobrazení součásti podélného kluzného vedení tvaru I	46
Obrázek 37 Vyobrazení součásti podélného kluzného vedení tvaru L	47
Obrázek 38 Vyobrazení součásti podélného kluzného vedení tvaru T	48
Obrázek 39 Vyobrazení součásti příčného kluzného vedení	49
Obrázek 40 Řezání materiálu pásovou pilou	50
Obrázek 41 Frézování čela.....	52
Obrázek 42 Frézování šířky	53
Obrázek 43 Frézování výšky.....	53
Obrázek 44 Frézování drážky	54
Obrázek 45 Vrtání děr.....	55
Obrázek 46 Tvorba závitu.....	55
Obrázek 47 Hotová součást kluzného vedení tvaru I.....	56
Obrázek 48 Frézování čela.....	57
Obrázek 49 Frézování výšky.....	57
Obrázek 50 Frézování šířky	58
Obrázek 51 Frézování osazení	59
Obrázek 52 Frézování drážek	59
Obrázek 53 Vrtání děr.....	60
Obrázek 54 Hotová součást podélného kluzného vedení tvaru L	60
Obrázek 55 Frézování čela výrobku	61
Obrázek 56 Frézování výšky výrobku	61
Obrázek 57 Frézování šířky výrobku.....	62
Obrázek 58 Frézování osazení	62
Obrázek 59 Frézování drážek	63
Obrázek 60 Vrtání děr.....	63
Obrázek 61 Hotová součást podélného kluzného vedení tvaru T	64
Obrázek 62 Frézování čela.....	65
Obrázek 63 Frézování výšky.....	65
Obrázek 64 Frézování šířky	66
Obrázek 65 Frézování úhlu čela.....	66
Obrázek 66 Frézování příčných drážek	67
Obrázek 67 Frézování podélných drážek.....	67
Obrázek 68 Frézování spodní drážky.....	68
Obrázek 69 Hotová součást příčného kluzného vedení	68

Obrázek 70 Měření délky	69
Obrázek 71 Měření výšky	70
Obrázek 72 Měření tloušťky	71
Obrázek 73 Měření šířky osazení	71
Obrázek 74 Měření polohy první drážky	72
Obrázek 75 Měření vzájemné polohy drážek	73
Obrázek 76 Měření hloubky drážek	73
Obrázek 77 Měření polohy díry	74
Obrázek 78 Měření velikosti díry	75
Obrázek 79 Kluzné podélné vedení	75
Obrázek 80 Způsob upnutí podélného kluzného vedení	76
Obrázek 81 Způsob upnutí příčného kluzného vedení	76

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Základní parametry stroje TOS FA 3 AV	45
Tabulka 2 Tabulka nástrojů.....	45
Tabulka 3 Postup výroby pro první součást.....	51
Tabulka 4 Postup výroby pro druhou součást	56
Tabulka 5 Postup výroby pro třetí součást.....	60
Tabulka 6 Postup výroby pro čtvrtou součást	64

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Výkres součásti podélného kluzného vedení tvaru I

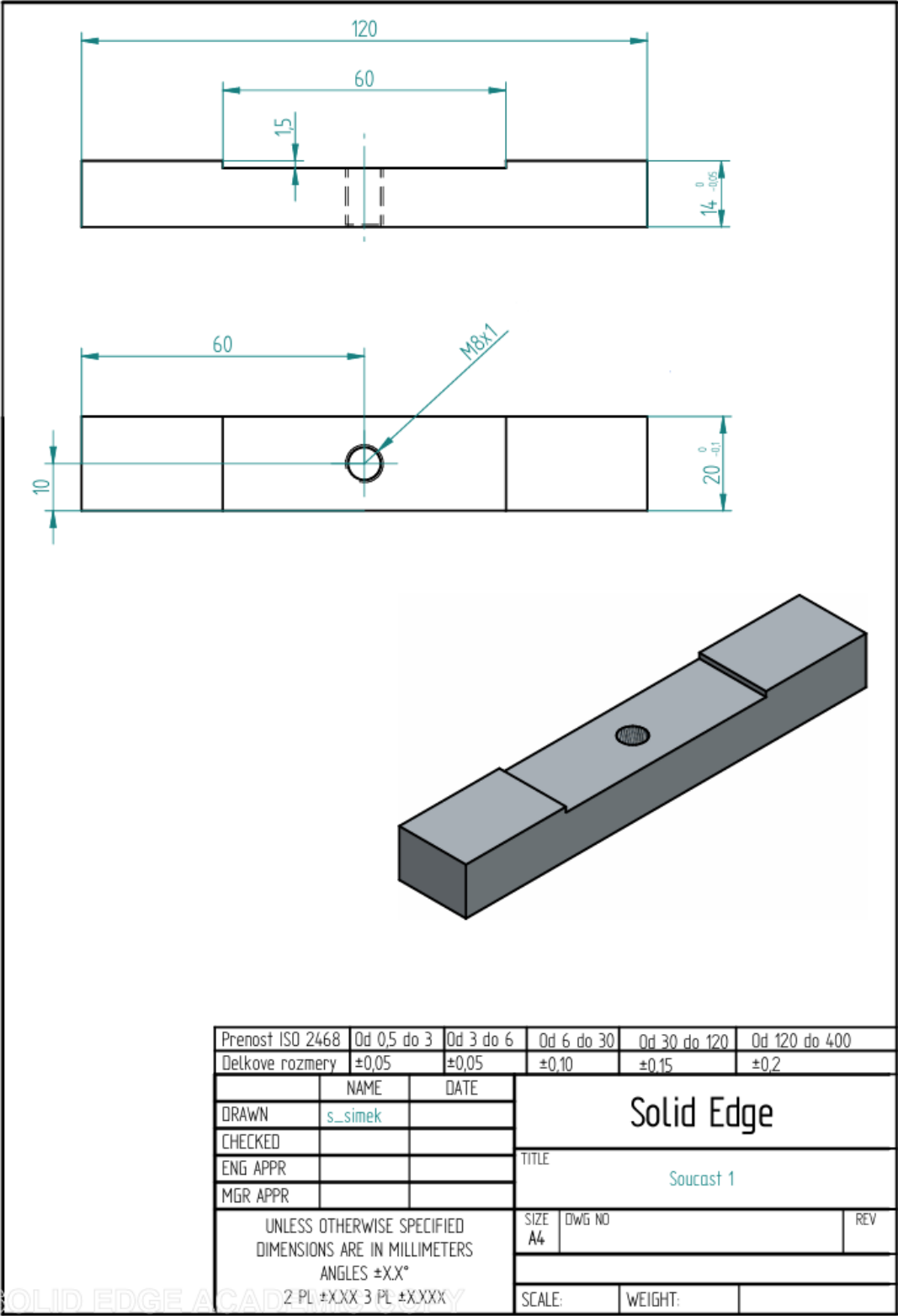
Příloha P II: Výkres součásti podélného kluzného vedení tvaru L

Příloha P III: Výkres součásti podélného kluzného vedení tvaru T

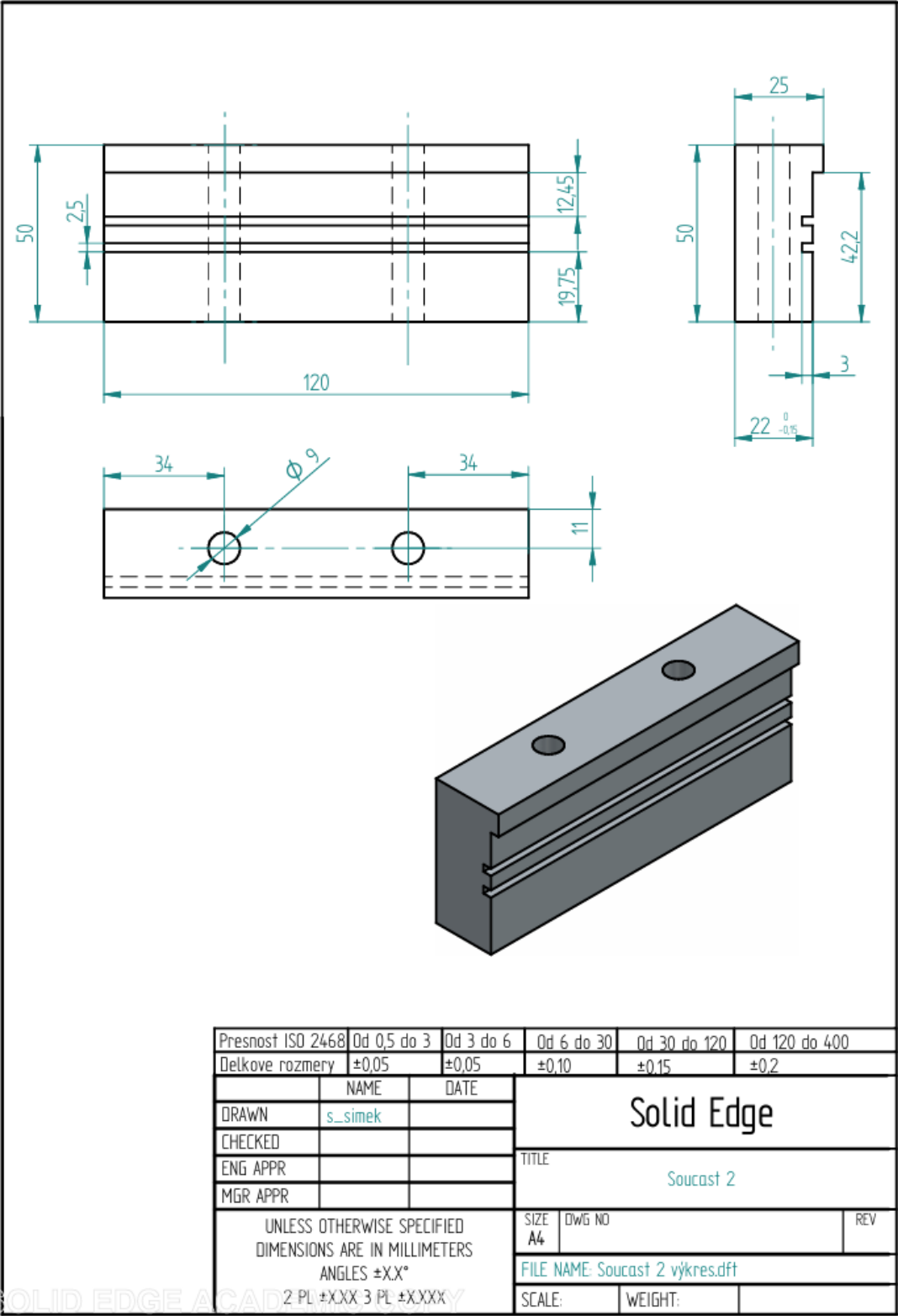
Příloha P IV: Výkres součásti příčného kluzného vedení

Příloha P V: Materiálový list PET Modifikovaný (PTFE)

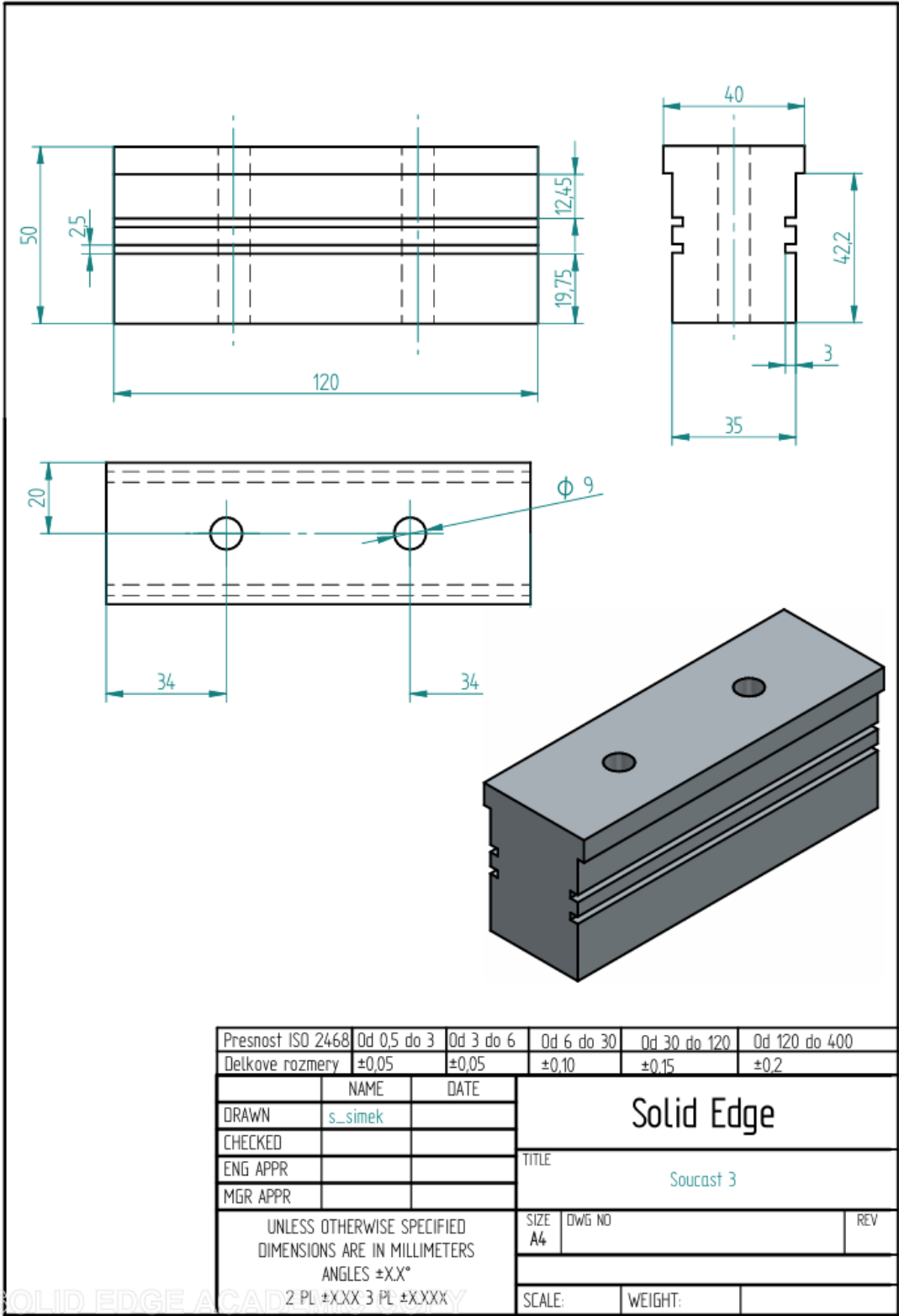
PŘÍLOHA P I: VÝKRES SOUČÁSTI PODÉLNÉHO KLUZNÉHO
VEDENÍ TVARU I



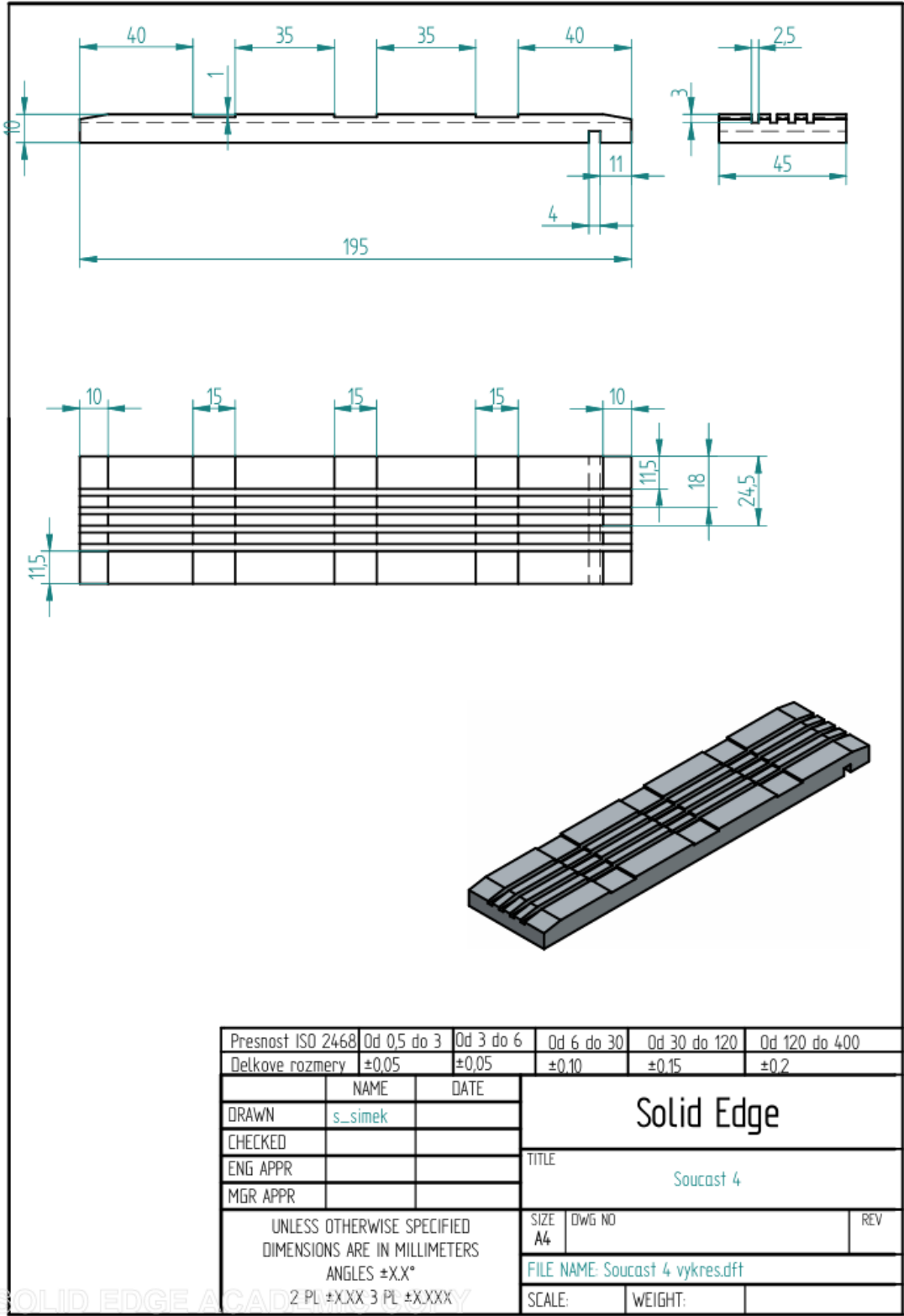
**PŘÍLOHA P II : VÝKRES SOUČÁSTI PODÉLNÉHO KLUZNÉHO
VEDENÍ TVARU L**



PŘÍLOHA P III : VÝKRES SOUČÁSTI PODÉLNÉHO KLUZNÉHO
VEDENÍ TVARU T



PŘÍLOHA P IV: VÝKRES SOUČÁSTI PŘÍČNÉHO KLUZNÉHO VEDENÍ



PŘÍLOHA P V: MATERIÁLOVÝ LIST K PET MODIFIKOVANÝ (PTFE)

Obchodní označení Označení dle DIN EN ISO 1043 Modifikace		PET MOD PET PTFE	
Vlastnosti	Jednotka	Metoda testování	Hodnota
Obecné vlastnosti			
Hustota	g/cm ³	DIN EN ISO 1183-1	1,44
Absorpce vlhkosti			
Saturace na vzduchu při 23°C/50% RH	%	DIN EN ISO 62	0,23
Saturace při ponoření ve vodě při 23°C	%	DIN EN ISO 62	0,47
Hořlavost dle UL 94 (síla 3mm/6mm)		ISO 1210 (UL 94)	HB / HB
Mechanické vlastnosti			
Mez kluzu	MPa	DIN EN ISO 527	70
Deformace při přetržení	%	DIN EN ISO 527	10
Modul pružnosti v tahu	MPa	DIN EN ISO 527	2.600
Vrubová houževnatost – Charpy	kJ/m ²	ISO 179/1eA/Pendel 1J	-
Tvrdost – metoda kuličkou	N/mm ²	DIN EN ISO 2039-1	160
Tvrdost - Shore	Skala D	DIN 53505	-
Tepelné vlastnosti			
Teplota tání	°C	ISO 11357	255
Tepelná vodivost	W/(mK)	DIN 52612	0,28
Specifická tepelná vodivost	kJ/(kgK)	DIN 52612	-
Koeficient lineární tepelné roztažnosti	10 ⁻⁶ K ⁻¹	Průměrně mezi 20°C-60°C	65
Provozní teplota - dlouhodobá	°C		- 20 až 115
Provozní teplota - krátkodobá, maximální	°C		180
Teplota tepelného průhybu, Metoda A:1,8 MPa	°C	DIN EN ISO 75	75
Elektrické vlastnosti			
Dielektrická konstanta, 50 Hz		IEC 60250	3,4
Dielektrický ztrátový faktor, 50 Hz		IEC 60250	0,001
Vnitřní odpor	Ohm cm	IEC 60093	10 ¹⁸
Povrchový odpor	Ohm	IEC 60093	10 ¹⁶
Odolnost proti plazivým proudům CTI, Sol. A		IEC 60112	600
Dielektrická pevnost	kV/mm	IEC 60243	20

