



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

**NÁVRH PROTOTYPU ZUBAŘSKÉHO PÍSKOVACÍHO
ZAŘÍZENÍ**

DESIGN OF A DENTAL SANDBLASTING DEVICE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Ján Husár

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Matúš Varhaník

BRNO 2021

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Bc. Ján Husár**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **Ing. Matúš Varhaník**
Akademický rok: 2020/21

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

Návrh prototypu zubařského pískovacího zařízení

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Na základě průzkumu trhu, konkurence a výstupů z ambulantní péče navrhnete pískovací zařízení používané v zubařské praxi. Ověřte funkčnost a kompatibilitu jednotlivých dílů prototypu pomocí kompletace sestavy v CAD modeláři. Vypracujte výkresovou dokumentaci. K součásti "výstupní tryska pískovacího zařízení," zpracujte technologický a výrobní postup. Finálním rámcem diplomové práce, bude zpracování technicko–ekonomického hodnocení navrženého prototypu a výroba vybraného dílu.

Cíle diplomové práce:

Rešerše dostupných pískovacích zařízení a jejich využití v zubařské praxi.
Návrh prototypu a ověření smontovatelnosti v CAD systému.
Tvorba výkresové dokumentace.
Předvýrobní analýza a tvorba technologických postupů.
Výroba vybrané součásti.
Technicko–ekonomické hodnocení.

Seznam doporučené literatury:

SHIGLEY, J. E., MISCHKE, C. R., BUDYNAS, R. G. Konstruování strojních součástí. Přeložil Martin HARTL. V Brně: VUTUM, 2010. 1159 s. ISBN 978-80-214-2629-0.

PTÁČEK, L. Nauka o materiálu II. 2., opr. a rozš. vyd. Brno: CERM, 2002, 392 s.: il. ISBN 80-720-248-3.

JOHNSON, T., D. G. PATRICK, Ch. W. STOKES, D. G. WILDGOOSE a D. J. WOOD. Basics of dental technology: a step by step approach. Second edition. Hoboken, NJ, USA: John Wiley, 2015. ISBN 978-111-8886-212.

Příručka obrábění – Kniha pro praktiky. Přel. M. Kudela. AB Sandvik Coromant. Praha. Scientia, s.r.o.

FOREJT, M. a PÍŠKA, M. Teorie obrábění, tváření a nástroje. Brno. Akademické nakladatelství CERM s.r.o., 2006. ISBN 80-214-2374-9.

KOCMAN, K. a J. PROKOP. Technologie obrábění. Brno: Akademické nakladatelství CERN, s.r.o., 2001. ISBN 8021419962.

BILÍK, O. a M. VRABEC. Technologie obrábění s využitím CAD/CAM systémů. Ostrava: Vysoká škola báňská-Technická univ., 2002, 128 s. ISBN 80-248-0034-9.

FOŘT, P. a J. KLETEČKA. Autodesk Inventor. Brno: Computer Press, 2007, 296 s. ISBN 978-80-2-1-1773-6

ZEMČÍK, O. Technologická příprava výroby. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2002. 158 s. ISBN 80-214-2219-X.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

V rámci diplomovej práce je navrhnutý prototyp zubárskeho pieskovacieho zariadenia. Návrh je realizovaný v CAD programe, pomocou ktorého je overená aj jeho zmontovateľnosť. Dokument ďalej rozoberá návrh jednotlivých častí a technológií zvolených na ich výrobu. Vybraná súčiastka „Výstupná tryska“, ktorá zabezpečuje funkciu zmiešavania abrazíva a vzduchu s vodou je v práci podrobne popísaná a pomocou CNC sústruhu vyrobená. Medzi hlavné výstupy tohto dokumentu patrí výroba spomenutej trysky, jej technické hodnotenie ako aj technicko-ekonomické hodnotenie celého zariadenia.

Kľúčové slová

zubné pieskovacie zariadenie, návrh prototypu, výroba súčiastky, technológie, výrobné náklady

ABSTRACT

In this diploma thesis, we propose a prototype of a dental sandblasting machine. This machine's drawing is composed using a CAD program, which helped with checking the assembly ability. Later in this work, we discuss the design of each component and chosen technologies for production. We chose to describe in detail and prototype using the CNC machine the "exit jet" component, which combines an abrasive and air with water. The main outputs of this work are the prototype of this component and its technical rating and the technical-economical rating of the whole proposed design of the machine.

Key words

dental sandblasting device, prototype design, component production, technology, production costs

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

HUSÁR, Ján. *Návrh prototypu zubařského pískovacího zařízení* [online]. Brno, 2021 [cit. 2021-05-18]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/132440>.

Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Matúš Varhaník.

PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že som diplomovú prácu na tému **Návrh prototypu zubárskeho pieskovacieho zariadenia** vypracoval samostatne s použitím odbornej literatúry a prameňov, uvedených na zozname, ktorý tvorí prílohu tejto práce.

20.5.2021

Dátum

Bc. Ján Husár

POĎAKOVANIE

Ďakujem týmto vedúcemu diplomovej práce Ing. Matúšovi Varhaníkovi za cenné pripomienky a rady pri vypracovaní práce. Ďalej ďakujem MDDr. Jurajovi Chorvátovi za konzultácie pri spracovávaní častí práce. V neposlednom rade ďakujem rodine a priateľke za podporu pri písaní práce.

OBSAH

ABSTRAKT	3
PREHLÁSENIE.....	5
POĎAKOVANIE	6
ÚVOD.....	9
1 TEORETICKÁ ČASŤ	10
1.1 Princíp dentálneho pieskovania	11
1.2 Využitie v praxi	12
1.3 Príklady existujúcich zariadení	13
2 NÁVRH ZARIADENIA.....	14
2.1 Rozdelenie pneumatických mechanizmov a ich výhody a nevýhody	14
2.2 Rozbor fungovania pieskovacieho zariadenia	15
2.3 Rozdelenie do hlavných častí	17
2.3.1 Zariadenie	17
2.3.2 Hubica	18
2.3.3 Koncovka	19
2.4 Stomatologická sústava.....	19
3 PREDVÝROBNÁ ANALÝZA	21
3.1 Výrobné technológie pre jednotlivé časti zariadenia	22
3.1.1 Sústruženie.....	22
3.1.2 Frézovanie.....	23
3.1.3 Vrtanie	23
3.1.4 Rezanie závitov	24
3.1.4.1 Sústruženie závitov	25
3.1.5 Ohyb plechu.....	25
3.1.6 Delenie materiálu.....	28
3.1.7 Zváranie	30
3.1.7.1 Laserové zváranie	32
3.1.8 Elektroerozívne obrábanie	33
3.2 Materiály pre použitie v zubnom lekárstve a ich obrobitel'nosť	35
3.2.1 Obrobitel'nosť materiálu	36
3.2.1.1 Obrobitel'nosť koróziívdorných ocelí	36
3.2.1.2 Obrobitel'nosť hliníkových zliatin	38
3.3 Zvárateľnosť austenitických ocelí	39
4 VÝROBA VÝSTUPNEJ TRYSKY	41

4.1 Voľba výrobných strojov	44
4.2 Voľba výrobných nástrojov	46
4.3 Technologický postup.....	47
5 TECHNICKO-EKONOMICKÉ HODNOTENIE	51
5.1 Technické hodnotenie súčiastky výstupná tryska	51
5.2 Technicko-ekonomické hodnotenie prototypu pieskovacieho zariadenia	53
6 DISKUSIA.....	57
6.1 Návrh ďalšieho postupu.....	57
ZÁVER	58
ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV	59
ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK.....	63
ZOZNAM PRÍLOH.....	65

ÚVOD

Predmetom práce je návrh prototypu zubárskeho pieskovacieho zariadenia. Prvotným impulzom na spracovanie danej témy bola požiadavka známeho, zubného lekára, na zhotovenie 3D modelu trysky. Touto tryskou disponujú zariadenia, ktorými je odstraňovaný povlak a nečistoty zo zubov pacientov. Po konzultácii bolo rozhodnuté, že pomocou dostupných CAD softvérov bude v rámci diplomovej práce navrhnuté kompletne zariadenie na pieskovanie zubov a rovnako vyrobený aj nanovo navrhnutý tvar výstupnej trysky. V práci sú spracované možnosti a využitie pieskovacích zariadení ako aj prehľad vybraných produktov dostupných na trhu. Ďalej sú vysvetlené princípy fungovania tohto typu pneumatického systému a pôsobenie abrazíva pri ošetrovaní zubov a zubných náhrad. Samotný prototyp je rozdelený do viacerých častí, pri ktorých boli nároky na ich rozmery, materiál a vzájomné uloženie komunikované so zubnými lekármi. Po vytvorení 3D modelov a výkresov jednotlivých častí prototypu boli zvolené technológie, ktorými je možné dosiahnuť požadovaného tvaru daných komponentov. Rovnako je braný aj ohľad na materiály, ktoré sú pre použitie v medicíne vhodné. Tieto materiály sú popísané z hľadiska ich obrobitelnosti, nakoľko u viacerých je predpokladaná výroba trieskovým obrábaním. Pre trysku, ktorá je spomenutá vyššie bol vytvorený technologický postup ako aj CNC program a jej výroba bola realizovaná a je v práci popísaná. Vrcholným rámcom práce je zhodnotenie nákladov na výrobu kompletneho zariadenia a ich rozdelenie medzi výrobky nakupované, vyrábané a vyrábané v kooperácii. Súčasťou práce sú aj výkresy každej súčiastky, ktorá by bola pri realizácii vyrábaná a rovnako aj výkresy zostáv, v ktorých sú uvedené aj položky nakupované.

1 TEORETICKÁ ČASŤ

Pieskovanie zubov je v dnešnej dobe široko rozšírená metóda na zabezpečenie požadovaných povrchových vlastností zubu alebo viacerých zubov. Využitie tejto metódy ošetrovania nie je nevyhnutné, avšak pre dosiahnutie vyššej kvality výslednej práce je vhodné. Realizuje sa ako operácia, ktorá buď samotný zub pripravuje na ďalšie úkony alebo ako konečná úprava [1].

Okrem spominatej metódy je možné v praxi využiť aj brúsenie alebo inak aj frézovanie. V tomto prípade sú využívané zubárske frézy z karbidu volfrámu alebo z ocele a to v rôznych tvaroch, veľkostiach a prevedeniach [2].

Oproti brúseniu má použitie pieskovacieho zariadenia výhodu dokonalejšieho vyčistenia plochy zubu, nakoľko piesok narozdiel od brúsky pôsobí rovnomerne. Jedná sa o pomerne šetrnú techniku prípravy kavít alebo koruniek na ďalšie úkony, avšak zvýšená opatrnosť je na mieste ak sú v okolí pieskovaného miesta zuby so zhoršenou kvalitou skloviny alebo ak pacient trpí paradontitídou. Pri pieskovaní zubných implantátov nie je potreba dodržiavať významnejšie opatrenia. Aplikácia priamo v ústnej dutine pacienta si ale vyžaduje použitie takzvaného kofferdamu alebo balóna ktorý je nasadený na ošetrované zuby [1].

Použitie kofferdamu v praxi je zobrazené na obrázku 1.



Obr. 1 Použitie kofferdamu v praxi [1].

1.1 Princíp dentálneho pieskovania

Z hľadiska funkcie pieskovacieho zariadenia je dôležité zabezpečiť nasledovné:

- prívod vzduchu za zvýšeného tlaku,
- abrazívum (piesok) – najčastejšie Al_2O_3 ,
- prívod vody.

Vo všeobecnosti je možné rozdeliť dentálne pieskovačky na prístroje handy a externé zariadenia. Prístroje handy sú spojené so stomatologickou súpravou – kreslom, pomocou rýchlospojky na turbínovej hadici a abrazívum je umiestnené v komore, ktorá je súčasťou hubice. Externé zariadenia sú pripájané rovnako pomocou spojky ku stomatologickej súprave, pri tomto type zariadení však nádoba nie je súčasťou hubice [3].

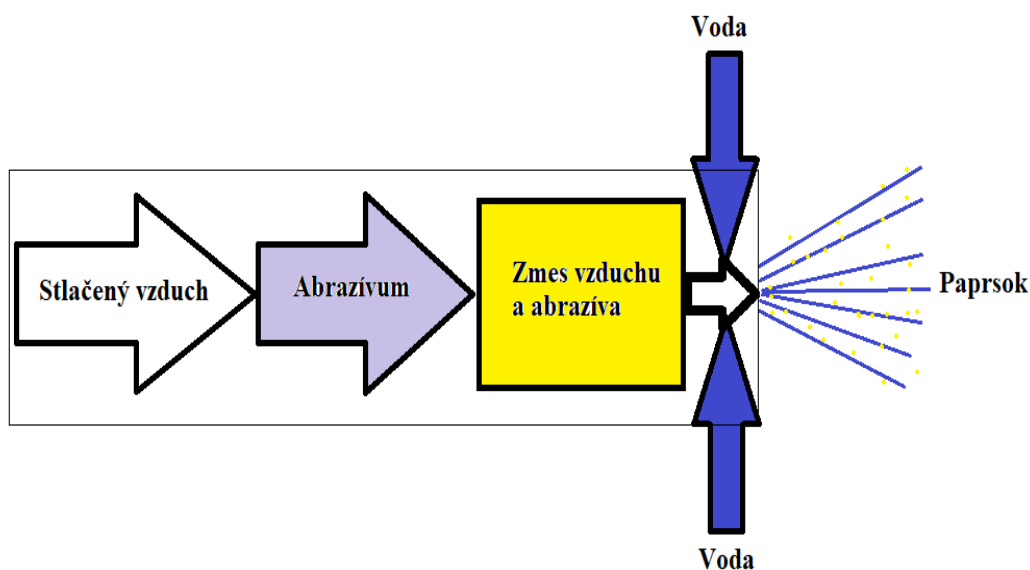
Spojenie medzi kreslom a pieskovacím zariadením je realizované pomocou viacerých typov konektorov. Tieto konektory sú štandardizované medzinárodnou organizáciou pre štandardizáciu – ISO.

V súčasnosti sú podľa ISO využívané tri hlavné typy spojok [4]:

- ISO-A – tieto spojky majú 2 alebo 3 otvory a neobsahujú výfukový otvor, najrozšírenejšie sú v Európe a v Latinskej Amerike a sú tiež známe aj ako typ „Borden“.
- ISO-B – tento typ spojky obsahuje 2, 4 alebo 5 otvorov a zahŕňa aj výfukový otvor. Najväčším otvorom tejto spojky je výfuk a najčastejšie je používaný v Spojených štátoch Amerických. Tento typ konektora je tiež známy aj pod označením „Midwest“.
- ISO-C – tiež známy aj ako „nový štýl“. Na tento typ konektora je možné pripojiť aj spojku Midwest a obsahuje 6 otvorov.

Pomocou spomenutých konektorov je zabezpečený prívod vody a vzduchu za zvýšeného tlaku. Tlak je buď regulovateľný alebo stály. Jeho hodnota na výstupe z kresla je najčastejšie 0,25 MPa. Pri externých zariadeniach je abrazívum umiestnené v nádobe v pieskovacom prístroji, ktorý zabezpečuje reguláciu ako samotného abrazíva tak aj množstva vody. Pomocou silikónových hadičiek je zmes vzduchu a piesku dopravená do hubice a následne vystupuje von zo špeciálnej trysky. Toto riešenie predstavuje základ tejto techniky. V reálnej praxi sa častejšie využíva zmes vzduchu, abrazíva a vody. Vďaka prítomnosti vody má výstupný lúč požadovaný tvar, nedochádza k rozptýleniu piesku do okolia a teda je zabránené prípadnému poškodeniu okolitého vybavenia. Dôležité z hľadiska funkcie je taktiež zmiešať piesok a vzduch s vodou až tesne pred výstupom z trysky. Ak by táto podmienka nebola splnená a k zmiešaniu by došlo napríklad v nádobe s pieskom, po čase by došlo k stvrdnutiu a zariadenie by bolo znehodnotené. Osobitný dôraz je kladený na výstupnú trysku, ktorá zabezpečuje ako zmiešavanie vody so vzduchom a pieskom tak samotný tvar výsledného lúču, ktorého tlak na povrch zubu sa pohybuje od 2-3 MPa a výstupná rýchlosť z trysky dosahuje do 230 ms^{-1} . Vnútorň priemer trysky je nutné voliť s ohľadom na veľkosť použitého abrazíva a na následnú funkciu [1].

Zjednodušený popis funkcie pieskovacieho zariadenia je zobrazený na obrázku 2.



Obr. 2 Princíp zariadenia – podľa [3].

1.2 Využitie v praxi

Pieskovacie zariadenia sú využívané zubármi, zubnými technikmi aj dentálnymi hygienikmi.

V praxi sú pieskovacie zariadenia najčastejšie používané na [1]:

- zväčšenie povrchu zubu pred nasledujúcou aplikáciou lepidla,
- zvýšenie adhézie lepidla k povrchu zubu,
- pred leptaním zubu kyselinou,
- čistenie kavít a koruniek zubov,
- odstraňovanie zubného plaku,
- odstraňovanie pigmentácie zubov.

Rozdiel je v type použitého abrazíva. Okrem vyššie spomenutého oxidu hlinitého sú používané aj materiály ako hydroxid hlinitý, uhličitan vápenatý či bikarbonát sodný. Dôležité je, aby mal piesok nižšiu alebo maximálne rovnakú tvrdosť ako sklovina, pre ktorú je v tabuľke Mohsovej stupnice tvrdosti uvedená hodnota 5. Pri technike „In House“ t.j. pieskovanie je vykonávané dentistom vedľa kresla alebo priamo v ústnej dutine je používaný najčastejšie piesok s maximálnou veľkosťou 27 μm . Menší rozmer znamená, že kavita alebo plocha pre korunku zubu je viac obrušovaná, piesok pôsobí na povrch zubu agresívnejšie, čo je pri týchto aplikáciách nevyhnutné. U zubných technikov je používaný väčší rozmer jednotlivých zrní abrasíva a to buď 50 alebo 100 μm v závislosti od materiálu. Zubný hygienici používajú rôzne typy materiálov aj rôzne veľkosti piesku pre

dosiahnutie požadovaných účinkov. V tomto prípade je potrebné doceliť čistotu zubu a nie prípravu jeho povrchu na ďalšie úkony [1].

1.3 Príklady existujúcich zariadení

V súčasnosti existuje viacero výrobcov zubných pieskovacích zariadení. Na trhu je možné zaobstaráť si ako prístroje handy, tak aj externé zariadenia. U handy varianty, kde je komora s abrazívom súčasťou hubice, začínajú ceny tisíckach korún. Existujú ale aj zariadenia s cenami rádovo v desiatkach tisícok korún [5]. Variant mobilného externého zariadenia, ktorého návrhom sa zaoberá aj táto práca, je rovnako dostupný v ponuke viacerých výrobcov a v rôznych cenových kategóriách.

Medzi mobilnými externými pieskovacími zariadeniami, ktoré sú na trhu s medicínskymi potrebami dostupné sú napríklad:

- SandStorm Mobile – 80140 od firmy Vaniman s výrobcom udávanou cenou 7454 CZK [6].
- SandStorm Mobile (I/O) – 80140 80140 od firmy Vaniman s výrobcom udávanou cenou 10649 CZK [6].
- Cobra M od firmy Roko s udávanou cenou 10504 CZK [7].
- YSDEN-HM398 Dental Air Polisher od firmy YSENMED s udávanou cenou 5175 CZK [8].
- Aquacare Single od firmy AQUACARE s udávanou cenou 52900 CZK [9].

Okrem vyššie spomenutých existujú aj ďalší výrobcovia, ktorý ponúkajú svoje riešenia dentálnych pieskovacích zariadení. Rozdiely medzi nimi sú napríklad v type a rozmeroch používaného abrazíva, pracovných podmienkach a v poslednom rade aj v cenách [1,10].

2 NÁVRH ZARIADENIA

Návrh samotného zariadenia je spracovávaný podľa konkrétnych požiadaviek daných dentistom a ďalších parametrov, ktoré sú dané typom stomatologickej sústavy a následným použitím v praxi.

Pri návrhu je potrebné zohľadniť nasledujúce [1]:

- Konektor, ktorým je vybavená stomatologická sústava je typu ISO-B (Midwest).
- Použité priemery spojovacích prvkov ako sú hadice, hadičníky, pneumatické ventily a trubky vychádzajú z rozmerov vstupného konektora ISO-B.
- Zariadenie bude využívané na metódu pieskovania „In House“ – pri tejto metóde vzniká aerosól, ktorý sa skladá z jemných častí uvoľňujúcich sa pri odstraňovaní plaku zo zubu a častí abrazíva, je teda nutné použiť vodu na minimalizovanie rozptylu týchto častíc vo vzduchu.
- Z hľadiska jednoduchosti používania a nenáročnosti údržby je potrebné zabezpečiť oddelený okruh vody a vzduchu s abrazívom, aby nedošlo k ich zmiešaniu v systéme a následnému zatvrdnutiu.
- Vzduch dodávaný kompresorom zo zubárskeho kresla môže byť vlhký, preto je nutné zabezpečiť jeho vysušenie pomocou odlučovača vlhkosti, inak by mohlo dôjsť k zvlhnutiu abrazíva v nádobe a následne k znefunkčneniu zariadenia.
- Použité materiály, ktoré sú v kontakte s abrazívom a vodou sa riadia normou ISO 7531-1.
- Z dôvodu správneho nastavenia prietoku vody a vzduchu, ktoré do pieskovačky vstupujú z kresla, je nutné použiť regulačné prvky.

2.1 Rozdelenie pneumatických mechanizmov a ich výhody a nevýhody

Pneumatické mechanizmy sú definované ako systémy pre prenos a transformáciu energie a informácie pomocou nositeľa energie. Týmto nositeľom je vzdušina a to najčastejšie stlačený vzduch. Na rozdiel od hydraulických mechanizmov sú určené ako výkonové mechanizmy len pre malé až stredné výkony. Základné formy energie, ktorých je stlačený vzduch nositeľom sú: potenciálna, kinetická a deformačná a sú využívané na konanie práce. Tepelná forma energie je v pneumatických mechanizmoch zanedbávaná. Všeobecne je možné rozdeliť pneumatické mechanizmy na pneumostatické a pneumodynamické. Zatiaľ čo pri prvom type je využívaná energia tlaková (deformačná), pri druhom type je to energia kinetická. V praxi sú pneumodynamické mechanizmy používané vo forme turbínových pohonov. Rozšírenie pneumostatických mechanizmov je v praxi väčšie a preto sa práve tento typ označuje ako pneumatický mechanizmus. Pneumatické mechanizmy pracujú na objemovom princípe a je ich možné rozdeliť na 2 skupiny. Pri prvej skupine je pracovný priestor o objeme V zapĺňaný vzduchom o konštantnom tlaku p . Využívaná je tlaková energia. Druhá skupina je charakteristická zapĺňaním pracovného priestoru objemom vzduchu V pri variabilnom tlaku p . Využívaná je deformačná energia. Pneumatické mechanizmy sú v dnešnej dobe široko rozšírené

a vykazujú vysoký stupeň modernizácie. Oproti ostatným typom mechanizmov ako sú napríklad hydraulické alebo elektrické majú radu predností a výhod. Medzi najvýznamnejšie výhody pneumatických mechanizmov patria [11]:

- vďaka kompresorovým staniciam je možné pneumatické systémy využívať aj bez nutnosti prívodu elektrickej energie,
- stlačený vzduch je rozvádzaný jediným vodičom ako sú trubky alebo hadice s jednoduchým a nenáročným pripojovaním, naproti tomu elektrické rozvody sú náročné na orientáciu zapojenia, kvalitu izolácie a bezpečnosť,
- prevádzka pneumatického systému je čistá a je ho možné používať ako v potravinárskom alebo vo farmaceutickom priemysle,
- pri prípadnej poruche nedochádza k zničeniu zariadenia ani škodách v okolí, ako tomu môže byť u hydraulických zariadení,
- pneumatické mechanizmy sú schopné pracovať pri rôznych teplotách, nakoľko ani väčšie teplotné výkyvy nemajú na vlastnosti vzduchu podstatný vplyv,
- vďaka zvýšenému tlaku vo vnútri pneumatického systému nehrozí vníkanie nečistôt do zariadenia,
- pneumatický systém je možné preťažiť až do zastavenia a to bez možného nebezpečenstva poškodenia,
- pneumatické systémy sú vhodné na použitie aj vo výbušnom alebo zápalnom prostredí ako sú napríklad hlbinné doly, chemický priemysel alebo výroba lakov,
- jednoduchá regulácia pomocou jednoduchých prostriedkov bez marenia energie,
- jednoduchá výroba prvkov mechanických mechanizmov je možná bez zvláštnych požiadaviek na kvalitu opracovania alebo pevnostných požiadaviek na materiál.

Aj keď majú pneumatické systémy radu výhod, existujú určité obmedzenia a nevýhody, ktoré sú s nimi spojené. Medzi najvýznamnejšie patria napríklad [11]:

- pre správne fungovanie je nevyhnutné zbaviť stlačený vzduch mechanických nečistôt (možnosť filtrovať pevné častice podľa veľkosti pre danú operáciu), vlhkosti a vody
- pri mechanizmoch, v ktorých sa vyskytujú pohybujúce sa prvky je vhodné použiť maznice pre mazanie týchto prvkov,
- premenlivé zaťaženie môže spôsobovať náročnú reguláciu a stlačiteľnosť vzduchu negatívne vplyva na tuhosť celého mechanizmu (tuhosť klesá),
- pri výstupe expandovaného vzduchu z pneumatického prvku vzniká hluk, hlavne pri veľkých prietokoch (10^2 až 10^3 l·min⁻¹).

2.2 Rozbor fungovania pieskovacieho zariadenia

Základnou časťou pieskovacích zariadení vo všeobecnosti je kompresor, ktorý zabezpečuje prívod vzduchu do sústavy za zvýšeného tlaku. Takýto vzduch však môže obsahovať vlhkosť. Vlhký vzduch pri prechode samotným zariadením môže kondenzovať

a následne spôsobovať utkvievanie častíc abrazíva v systéme a tým celé zariadenie upchať a znefunkčniť. Vhodnou voľbou je preto za kompresor umiestniť odvlhčovač s možnosťou vypustenia kondenzátu. Pre správne fungovanie je ďalej nevyhnutné zabezpečiť ovládacie prvky ako sú regulačné ventily a spínač umožňujúci vstup vzduchu ďalej do zariadenia. Je dôležité aby nosné médium zaplnilo odvlhčovač a až následne mu bol pomocou spínača umožnený ďalší prechod systémom [12].

Samotný princíp fungovania vychádza z Bernoulliho rovnice, vyjadrenej v tlakoch, vid' vzťah (2.1), kedy statický tlak prúdiacej kvapaliny s rastúcou rýchlosťou klesá [13].

$$\rho \cdot \frac{v^2}{2} + p + \rho \cdot g \cdot z = \text{konst} \quad (2.1)$$

Kde [13]:

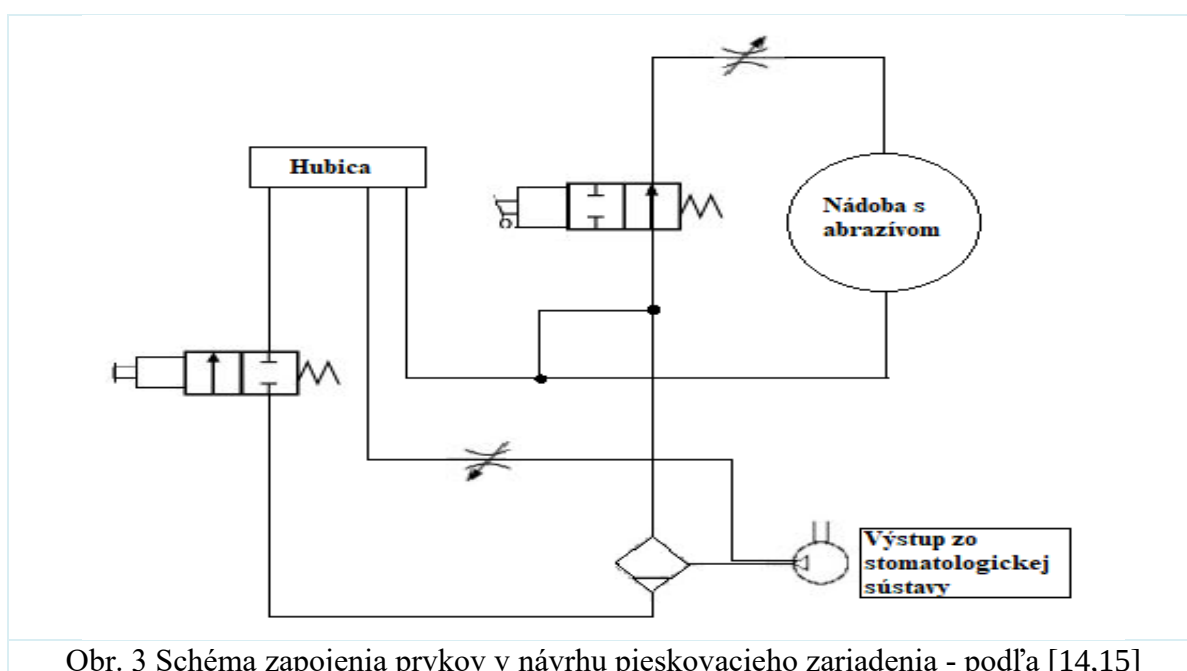
p [Pa] – tlak statický
 $0,5 \cdot \rho \cdot v^2$ [Pa] – tlak kinetický
 $\rho \cdot g \cdot z$ [Pa] – tlak potenciálny

Tento efekt je dosiahnutý umiestnením vzduchotesnej nádoby a spojovacích prvkov do systému. V nádobe je umiestnené abrazívum a dochádza k nárastu tlaku. Pomocou T spojok sa zvýši rýchlosť vzduchu za výstupom z nádoby a tým vzniká podtlak. V konečnej fáze je abrazívum pomocou systému hadíc a trubíc privedené do ejektoru alebo hubice a uskutočňuje sa vlastný proces pieskovania [1,12].

V zubárskej praxi je však najčastejšie používané jemné abrazívum s veľkosťou od 27 do 100 μm . Spoločne s abrazívom sú do ovzdušia uvoľňované aj nečistoty z procesu pieskovania a preto je dôležité túto zmes zvlhčiť, aby sa tento rozptýl minimalizoval.

Aj z tohto dôvodu sú stomatologické súpravy schopné okrem vzduchu zabezpečovať aj prívod vody, ktorý je sprostredkovaný cez niektorý z konektorov, ktoré boli už spomenuté. Zariadenie je možné vybaviť regulačným ventilom, aby bol dentista schopný nastaviť požadované množstvo vody [1].

Výsledná schéma obsahujúce jednotlivé spomenuté prvky a súčasti je zobrazené na obrázku 3.



2.3 Rozdelenie do hlavných častí

Na úvod tejto kapitoly je dôležité spomenúť 2 najčastejšie typy zariadení, ktoré sa v dentálnej praxi používajú. Sú to typ handy a typ externého zariadenia vid' kapitola 1.1. Po konzultácii s dentistou bolo pre túto prácu zvolené externé zariadenie a to ako z dôvodu jednoduchosti obsluhy, jednoduchosti údržby alebo ovládateľnosti [1].

Návrh zariadenia je rozdelený do 3 hlavných častí:

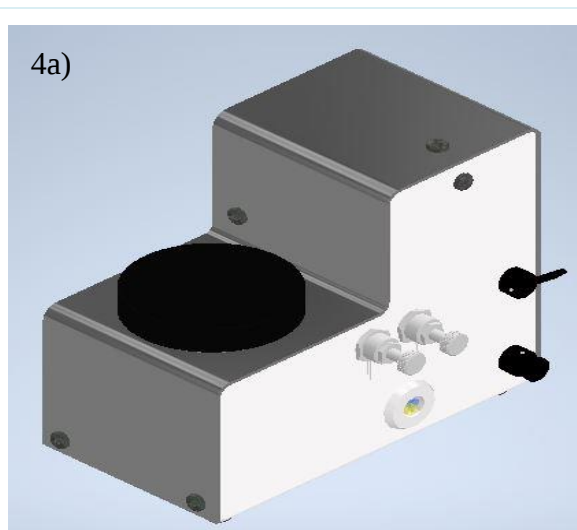
- 1) Zariadenie – časť pre umiestnenie ovládacích prvkov, odlučovača vlhkosti, spojovacích hadíc, nádoby s abrazívom a konektora.
- 2) Hubica – časť, ktorá slúži na manipuláciu pri pieskovaní a so základňou je spojená pomocou hadičiek.
- 3) Koncovka – časť, v ktorej dochádza k výstupu zmesi abrazíva so vzduchom a vody von z celého systému.

2.3.1 Zariadenie

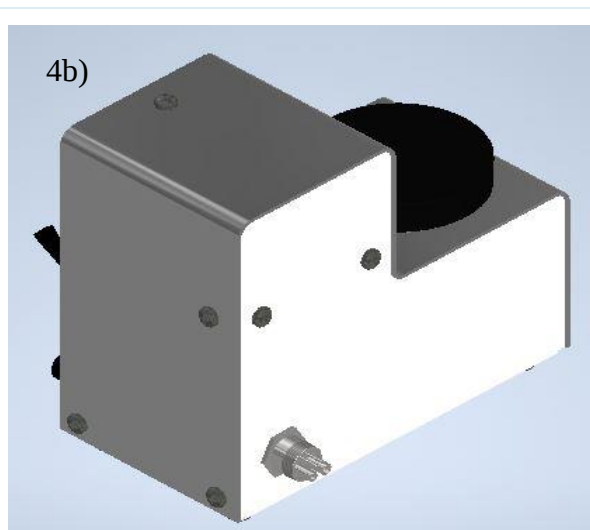
Pri návrhu základne sú uvažované nasledujúce kritériá:

- umiestnenie ovládacích častí zariadenia na ľahko dostupné miesta a podľa typu funkcie,
- kompaktná konštrukcia,
- možnosť prepojenia jednotlivých častí medzi sebou,
- stabilita pri používaní,
- jednoduchosť montáže,
- užívateľsky prívetivá možnosť doplnenia a kontroly množstva abrazíva.

Dôležitou súčasťou je odlučovač vlhkosti. Vzduch dodávaný kompresorom je v ňom vysušovaný, v spodnej časti dochádza ku kondenzácii a k hromadeniu takto vzniknutej vody. Aby bolo možné túto tekutinu z filtra odstrániť, je vhodné filter orientovať do vertikálnej polohy. Pri návrhu zariadenia je dôležité túto skutočnosť vziať do úvahy. Okrem odlučovača vlhkosti je ďalším prvkom s ktorým pri návrhu treba počítať nádoba s abrazívom. U tejto časti je nutné zabezpečiť vzduchotesnosť ale zároveň je potrebná možnosť dopĺňania abrazíva a kontroly jeho množstva. Zariadenie je pri používaní umiestnené na príslušnom stolíku, ktorý je súčasťou stomatologickej sústavy. Pri konštrukčnom riešení je preto potrebné zohľadniť možnosť neočakávaného zatiahnutia za hadičku pri vykonávaní operácie. Z tohto dôvodu je mieste použitie protišmykových nôh. Umiestnenie ostatných ovládacích prvkov je riadené rozložením vyššie spomenutými skutočnosťami a rozmermi reálnych súčiastok. Dizajn a konštrukčné riešenie je tvorené v programe Autodesk Inventor Professional 2021 v študentskej verzii a zobrazené na obrázku 4a v pohľade spredu a 4b v pohľade zozadu.



Obr. 4a) Pohľad spredu,



b) Pohľad zozadu.

2.3.2 Hubica

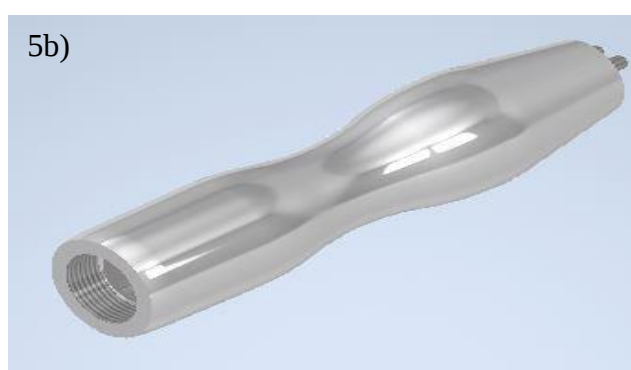
Pri návrhu hubice sú uvažované nasledujúce kritériá :

- zabezpečenie oddeleného prívodu zmesi vzduchu s pieskom a vody,
- možnosť odpustenia prebytočnej kondenzovanej vody z odlučovača vody,
- napojenie výstupných hadíc zo základne,
- pripojenie na koncovku,
- jednoduchosť zostavenia,
- uchopenie hubice podľa požiadaviek dentistu.

Návrh držiaku hubice je odvodený od modelu z plastickej hmoty a je prispôbený požiadavkám dentistu aby ho bolo možné jednoducho uchopiť a manipulovať s ním počas procesu pieskovania. Na obrázku 5a je zobrazený prvotný model z plastickej hmoty, podľa neho je pomocou programu Autodesk Inventor následne vytvorený 3D model, ktorý je uvedený na obrázku 5b.



Obr. 5a) Model z plastickej hmoty,



5b) 3D model.

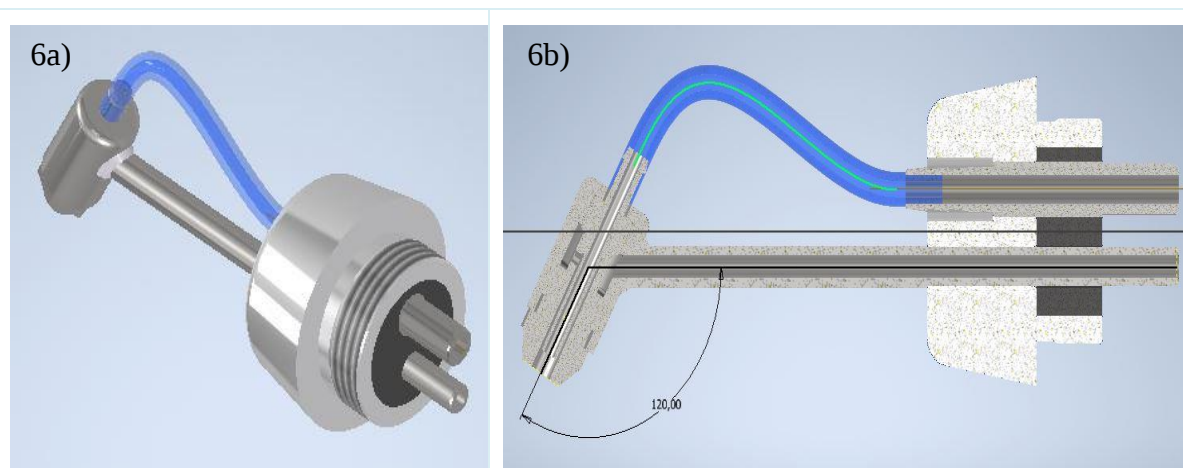
2.3.3 Koncovka

Koncovka je v návrhu poslednou časťou zariadenia. Jej úlohou je zabezpečiť výstup médií von zo zariadenia. Pri návrhu tejto časti je potrebné zobrať do úvahy nasledujúce skutočnosti:

- možnosť pripojenia na hubicu,
- rozmery umožňujúce manipuláciu v ústnej dutine pacienta,
- obalenie prívodu zmesi vzduchu a piesku vodou, aby nedochádzalo k rozprašovaniu abrazíva do okolia,
- zmiešanie vody a zmesi abrazíva s pieskom musí byť zabezpečené až na výstupe z koncovky aby nedochádzalo k upchávaniu,
- zmenšenie obsahu prierezu pre výstup zmesi abrazíva so vzduchom a vody pre dosiahnutie požadovaných rýchlostí.

Výstupný uhol pod ktorým všetky médiá odchádzajú von z koncovky je oproti osy hubice sklonený buď pod 90° alebo 120° . Táto skutočnosť je daná skúsenosťami priamo z praxe. Trysky sú vyrábané najčastejšie v prevedeniach, kedy je ich vnútorný priemer 0,8; 1 alebo 1,2 mm v závislosti od druhu ich použitia. Pri už spomínanom pieskovaní v prevedení „In House“ je vhodnou voľbou práve priemer 1 mm. Oddelený prívod zmesi vzduchu a piesku od vody je zabezpečený dvomi potrubiami, kedy k ich spojeniu dochádza až na konci trysky [1].

Návrh koncovky v podobe 3D modelu je zobrazený na obrázku 6a a vyobrazenie uhlu 120° , pod ktorým je výstupná tryska sklonená oproti osy hubice je uvedená na obrázku 6b.



Obr. 6a) Vyobrazenie uhlu 120° ,

6b) 3D model koncovky.

2.4 Stomatologická sústava

Stomatologická sústava je v dnešnej dobe komplexným zariadením. Dentista ju využíva na široké množstvo úkonov a je navrhnutá tak, aby prácu zubára uľahčila a urýchlila. K tejto sústave je možné pripojiť rôzne nástroje medzi ktoré patria napríklad frézy, striekačky, polymeračné lampy, intraorálne kamery a v neposlednom rade aj zubné pieskovacie zariadenia. Typ zubárskeho kresla, pre ktoré je zariadenie spracovávané v tejto

práci nesie označenie S320TR od firmy STERN WEBER. Jedná sa o pokročilý zubný stroj vybavený dotykovým panelom, vďaka ktorému je možné kontrolovať nástroje a systémy tohto stroja [1,16].

Spojenie medzi kreslom a pieskovacím zariadením je dosiahnuté pomocou už vyššie spomínaného konektora typu ISO-B (Midwest). Tento konektor zabezpečuje prívod stlačeného vzduchu a prívod vody do samotného zariadenia. Vybrané technické údaje platné pre zubný stroj S320TR sú uvedené v tabuľke 2.1 a samotná stomatologická sústava je uvedená na obrázku 7.

Tab. 2.1 Vybrané technické údaje zubného stroja S320TR [17].

Technický údaj	Hodnota
Tlak prívodu vzduchu [MPa]	max. 0,8
Prietok prívodu vzduchu [l·min ⁻¹]	max. 82
Tlak prívodu vody [MPa]	max. 0,5
Prietok prívodu vody [l·min ⁻¹]	max. 10
Tvrdosť vody [mmol·l ⁻¹]	max. 2,497

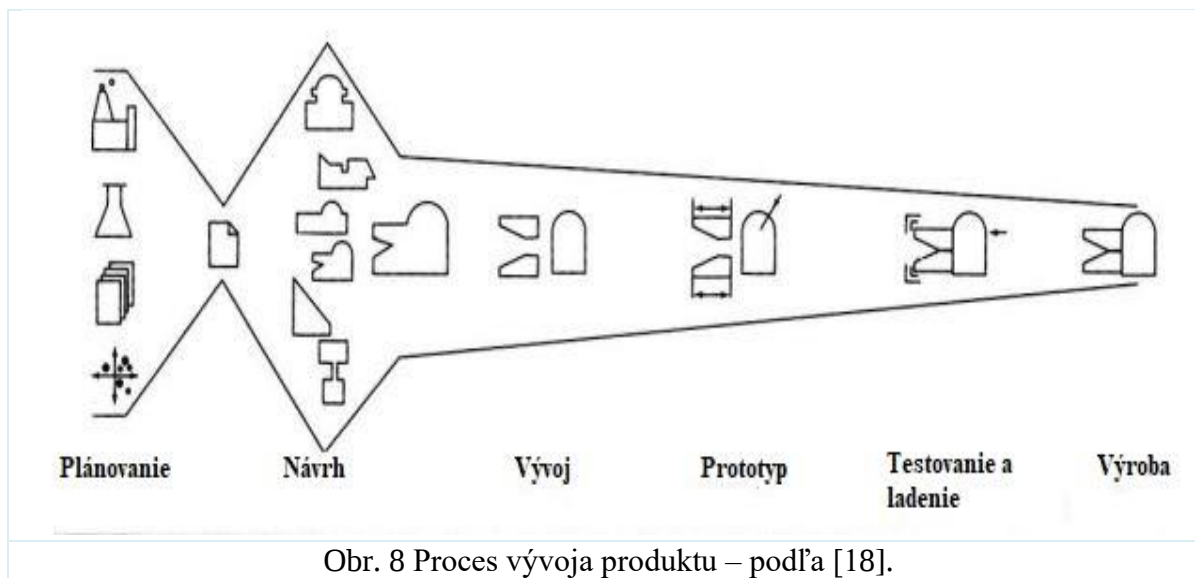
V tabuľke 2.1 sú uvedené vybrané maximálne hodnoty, s ktorými je stomatologická sústava schopná pracovať a ktoré je možné dosiahnuť na vstupe do dentálneho pieskovacieho zariadenia. Ich hodnoty je možné regulovať pomocou nožného spínača, ktorý je ovládaný priamo dentistom, aby bolo dosiahnutých optimálnych nastavení pre požadovaný typ úkonu [1,17].



Obr. 7 Stomatologická sústava.

3 PREDVÝROBNÁ ANALÝZA

Proces vývoja produktu začína jeho plánovaním, koncepciou dizajnu, vývojom konceptu, detailom produktu, jeho testovaním a nakoniec výrobou [18]. Tento proces je v jednoduchej forme popísaný na obrázku 8.



Obr. 8 Proces vývoja produktu – podľa [18].

Pred analyzovaním jednotlivých faktorov, ktoré majú vplyv na výsledný výrobok (obrobiteľnosť a materiály jednotlivých komponentov, použité technológie výroby, atď.) je vhodné stanoviť si tabuľku, v ktorej sú definované základné požiadavky na konečný produkt. Tieto požiadavky sú uvedené v tabuľke 3.1.

Tab. 3.1 Definícia projektu vývoja produktu – podľa [19].

Návrh prototypu zubárskeho pieskovacieho zariadenia	
Popis projektu	zubárske pieskovacie zariadenie určené pre výkon dentálnych úkonov v ordinácií
Predpoklady (základné charakteristiky)	• externý typ zariadenia, • jednoduché ovládanie, • možnosť pripojenia na existujúcu stomatologickú sústavu, • kompaktná konštrukcia, • vhodnosť použitia v zubnej ordinácií, • zabezpečenie oddelených prívodov vody a zmesi piesku so vzduchom.
Predpokladané prínosy	životnosť výstupnej trysky aspoň 6 mesiacov, prijateľná cena
Primárny trh	zubné ambulancie – zubní lekári
Sekundárny trh	dentálni hygienisti

3.1 Výrobné technológie pre jednotlivé časti zariadenia

Ako je spomenuté v predošlých kapitolách, zariadenie je rozdelené do troch hlavných častí. U každej z týchto častí sú použité viaceré technológie a to z oblastí obrábania kovov, tvárnenia materiálov a zvárania. V prílohách 1, 2, 3 sú uvedené výkresy pre jednotlivé súčasti. Na základe týchto výkresov a požiadaviek na dodržanie a naplnenie daných tvarov a funkcií sú pre zubárske pieskovacie zariadenie zvolené nasledujúce technológie:

- trieskové obrábanie pomocou sústruhu,
- trieskové obrábanie pomocou frézy,
- vŕtanie otvorov,
- rezanie závitov,
- ohyb plechových dielov,
- delenie materiálu,
- zváranie,
- elektroerozívne obrábanie.

Základná charakteristika jednotlivých technológií potrebných pre výrobu súčastí kompletného zariadenia je uvedená v nasledujúcich kapitolách.

3.1.1 Sústruženie

Pomocou technológie sústruženia je možné vyrábať súčasti rotačného tvaru za použitia prevažne nástrojov s jednou reznou hranou, ktorá môže mať rôzne prevedenie. Sústruženie predstavuje jednu z najjednoduchších metód obrábania a v strojárstve sa jedná o veľmi frekventovanú metódu obrábania [20].

Pri sústružení je možné definovať tri druhy pohybu a to hlavný, vedľajší a efektívny. Hlavný pohyb je vykonávaný obrobkom a jedná sa o pohyb rotačný. Vedľajší pohyb je vykonávaný nástrojom a jedná sa o pohyb posuvný. Výsledný efektívny pohyb je potom vektorovým súčtom pohybu hlavného a vedľajšieho [21].

Vo vzťahoch (3.1) a (3.2) sú uvedené vzorce, ktoré definujú hlavný a vedľajší pohyb. Vo vzťahu (3.3) je uvedený vzorec pre výpočet efektívneho výsledného pohybu v skalárnom tvare.

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad (3.1)$$

$$v_f = \frac{f \cdot n}{1000} \quad (3.2)$$

$$v_e = v_c + v_f \quad (3.3)$$

Kde [21]:

v_c [m·min⁻¹] – rezná rýchlosť
 D [mm] – priemer obrobku

$n [\text{min}^{-1}]$ – otáčky
 $v_f [\text{m} \cdot \text{min}^{-1}]$ – rýchlosť posuvu
 $f [\text{mm}]$ – posuv na otáčku
 $v_e [\text{m} \cdot \text{min}^{-1}]$ – efektívny výsledný pohyb

3.1.2 Frézovanie

Pri technológií frézovania je materiál obrobku odoberaný pomocou rotujúceho nástroja najčastejšie s viacerými reznými hranami. Na rozdiel od technológie sústruženia je hlavný pohyb vykonávaný nástrojom, kedy sa jedná sa o pohyb rotačný a vzorec pre jeho výpočet je uvedený vo vzťahu (3.4). Vedľajší pohyb je vykonávaný obrobkom a vo väčšine prípadov sa jedná o pohyb posuvný. Vzorec pre výpočet je uvedený vo vzťahu (3.5). Pri moderných frézovacích zariadeniach ako sú napríklad CNC frézky alebo obrábacie centrá je možné pohyb meniť plynule a to vo všetkých smeroch. Pri tejto technológii sú odrezávané krátke triesky premenlivej hrúbky a rezný proces je prerušovaný. Z hľadiska technologického je možné rozlišovať frézovanie čelné a frézovanie valcové. Z hľadiska vzájomného pohybu je možné rozdeliť frézovanie na súbežné a protibežné. Pri súbežnom frézovaní je zmysel otáčania nástroja rovnaký ako smer posuvu obrobku. Ku vzniku obrobenej plochy dochádza v momente, keď zub vychádza von zo záberu a hrúbka triesky prechádza od maximálnej do nuly. Oproti protibežnému frézovaniu existujú výhody ako napríklad potreba nižšieho rezného výkonu alebo vyššej trvanlivosti rezných hrán. Pri protibežnom frézovaní je zmysel rotácie nástroja opačný ako smer posuvu obrobku. Hrúbka triesky rastie od nuly až po maximálnu hodnotu a obrobená plocha je vytváraná pri vnikaní nástroja do obrobku [20].

$$v_c = \frac{\pi_z \cdot D \cdot n}{1000} \quad (3.4)$$

$$v_f = \frac{f_z \cdot z \cdot n}{1000} \quad (3.5)$$

Kde [20]:

$v_c [\text{m} \cdot \text{min}^{-1}]$ – rezná rýchlosť
 $v_f [\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}]$ – rýchlosť posuvu
 $f_z [\text{mm}]$ – posuv na zub
 $z [-]$ – počet zubov

3.1.3 Vrtanie

Charakteristický pre túto metódu je nástroj – vrták, najčastejšie s viacerými reznými hranami. Touto metódou sú zhotovované nové alebo zväčšované už existujúce otvory. Hlavný pohyb je vo väčšine prípadov rotačný a vykonáva ho nástroj, menej často môže byť vykonávaný obrobkom – napríklad pri technológií vrtania otvorov na sústruhu, kedy nástroj, v tomto prípade vrták stojí a rotujúcou časťou je obrobok, do ktorého je diera vrtaná. Z hľadiska fungovania samotnej technológie býva osa vrtáku orientovaná zväčša kolmo na plochu, do ktorej je otvor zhotovovaný a jeho posuv prebieha pozdĺž tejto osy. Charakteristickou vlastnosťou tejto metódy je, že rezná rýchlosť klesá od obvodu nástroja

smerom k jeho stredu a spravidla práve obvodová rýchlosť na maximálnom priemere nástroja je považovaná za rýchlosť reznú [20].

Z kinematického hľadiska je možné reznú rýchlosť definovať v závislosti na priemere vrtáku a jeho otáčkach (viď vzťah 3.6) a rýchlosť posuvu v závislosti na posuve na otáčku a otáčkach vrtáku (viď vzťah 3.7). V dnešnej dobe sú dostupné vrtáky v rôznych prevedeniach. Okrem vrtákov, ktoré sú vyrobené z nástrojových ocelí existujú aj ďalšie typy použiteľné pre takzvané progresívne metódy ako napríklad vrtáky so spájkovanými či vymeniteľnými reznými doštičkami alebo vrtáky celokarbidové [21].

$$v_{ci} = \frac{\pi \cdot D_i \cdot n}{1000} \quad (3.6)$$

$$v_f = \frac{f \cdot n}{1000} \quad (3.7)$$

Kde [21]:

$v_{ci} [\text{m} \cdot \text{min}^{-1}]$	– rezná rýchlosť
$D_i [\text{mm}]$	– priemer vrtáku
$n [\text{min}^{-1}]$	– otáčky
$v_f [\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}]$	– rýchlosť posuvu
$f_z [\text{mm}]$	– posuv

3.1.4 Rezanie závitov

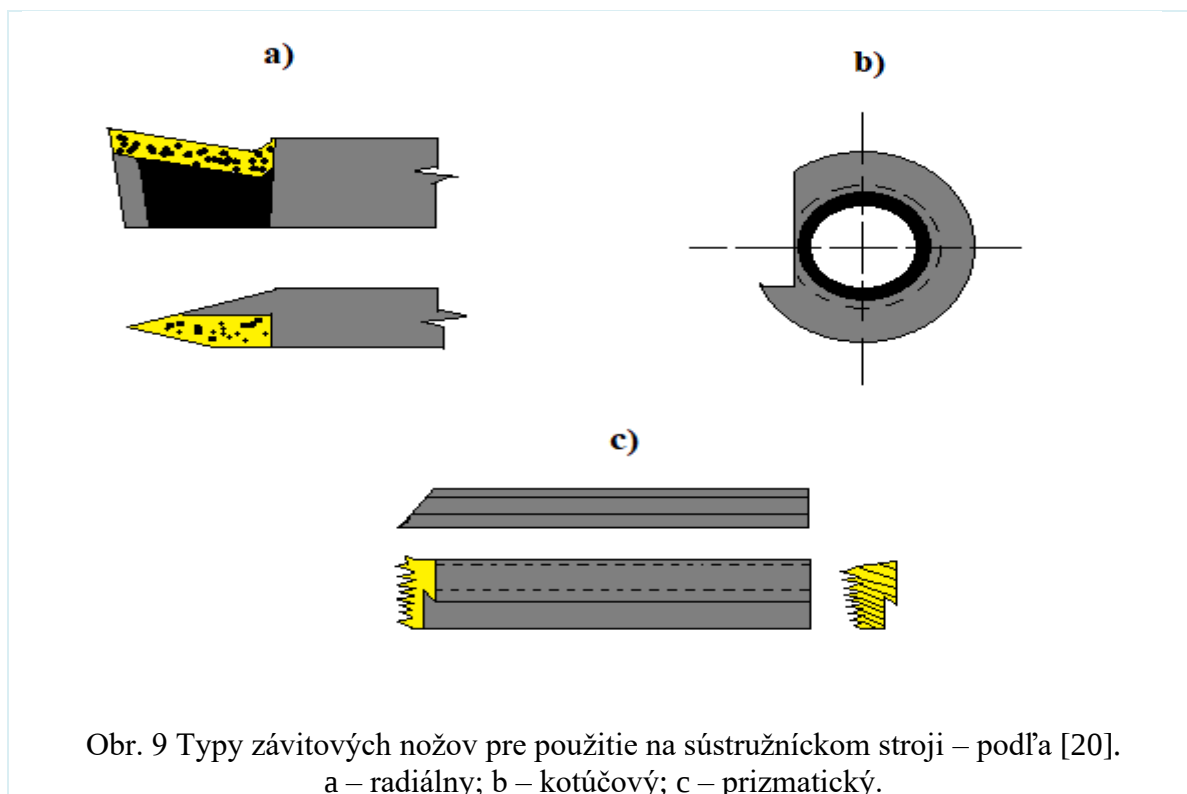
Závít je konštrukčne-technologický prvok, pri ktorom dochádza k vzniku špeciálnej plochy. Pomocou závitov je možné zabezpečiť funkciu spojovaciu alebo pohybovú. Ich rezanie je možné uskutočňovať pomocou viacerých nástrojov ako sú napríklad závitové čeľuste, závitníky alebo závitové hlavy. Taktiež sú zhotovované obrábaním a to sústružením alebo frézovaním. Z hľadiska technologického je možné závity deliť na vonkajšie a vnútorné a z hľadiska zmyslu otáčania na pravotočivé a ľavotočivé. Na výrobu vnútorných metrických závitov je možné použiť napríklad strojný závitník s dlhou stopkou (norma ČSN 22 3020), ktorý je použiteľný pre veľkosť závitú od M3 do veľkosti M24. Ďalšou možnosťou sú strojné závitníky s priechnou stopkou (norma ČSN 22 2041 resp. ČSN 22 3042) pri ktorých je možné rezať závity od veľkosti M3 až do M52. Pri vonkajších metrických závitoch existuje rovnako viacero možností ich výroby. Jedná sa napríklad o radiálne alebo kruhové závitové čeľuste, ktoré môžu byť ručné alebo automatové. Kruhovým typom ručných čeľustí (norma ČSN EN 22568) je možné rezať závity s hrubou alebo jemnou roztečou od priemeru 1 mm až 52 mm. Pri automatovom type (norma ČSN 22 3216) sa priemer pohybuje v rozmedzí od 1 mm až do 24 mm [20].

Z výkresov uvedených v prílohách 1 a 2 je zjavné, že pri výrobe jednotlivých častí zariadenia bude pre zabezpečenie ich spojenia nutné obrábať ako vonkajšie tak aj vnútorné závity. Jedná sa o závity metrické, ktorých výrobu je možné uskutočniť pomocou závitníkov alebo na univerzálnych, prípadne poloautomatických alebo automatických sústružníckych strojoch. Možnosti výroby závitov pomocou sústruženia sú uvedené v nasledujúcej kapitole.

3.1.4.1 Sústruženie závitov

Pri technológii rezania závitov na sústružníckych strojoch sú využívané nože, ktorých profil má tvar požadovanej závitovej medzere. Využívané sú buď nože s jednou reznou hranou a neúplným profilom, pomocou ktorých je závit rezaný na niekoľko záberov. Výhodou týchto nožov je možnosť nastavenia stúpania závitov. To je zabezpečené prevodom medzi obrobkom, ktorý sa otáča spolu s vretenom a otáčaním posuvovej skrutky sústruhu. Druhou možnosťou je použitie hrebeňových nástrojov alebo inak aj nástrojov s viacerými reznými hranami, pri ktorých postupne rastie ich výška. Výhodou tohto typu nástroja je skutočnosť, že dokáže požadovaný tvar závitov rezať na jeden prechod, avšak stúpanie nie je možné nastavovať a preto je potrebné mať pre každé stúpanie jedinečný nôž. Technológiou sústruženia závitov sú zhotovované závitky metrické, Whitworthove, ploché, lichobežníkové a ďalšie. Z pohľadu materiálov nástrojov sú využívané najmä rýchlorezné ocele, pri ktorých sa rezná rýchlosť pohybuje od $10\text{--}60\text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ v závislosti od skutočnosti či sa jedná o hrubovanie alebo obrábanie načisto. Ďalšou možnosťou je vyžitie nástrojov zo spekaných karbidov, kedy moderné nože s vymeniteľnými reznými doskami dosahujú rýchlostí až do $200\text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ [22].

Výroba vonkajších metrických závitov pre jednotlivé časti externého zubárskeho pieskovacieho zariadenia je realizovaná práve technológiou sústruženia za použitia vybraných druhov závitových nožov. Základné typy závitových nožov, ktoré sú používané na sústružníckych strojoch sú zobrazené na obrázku 9.



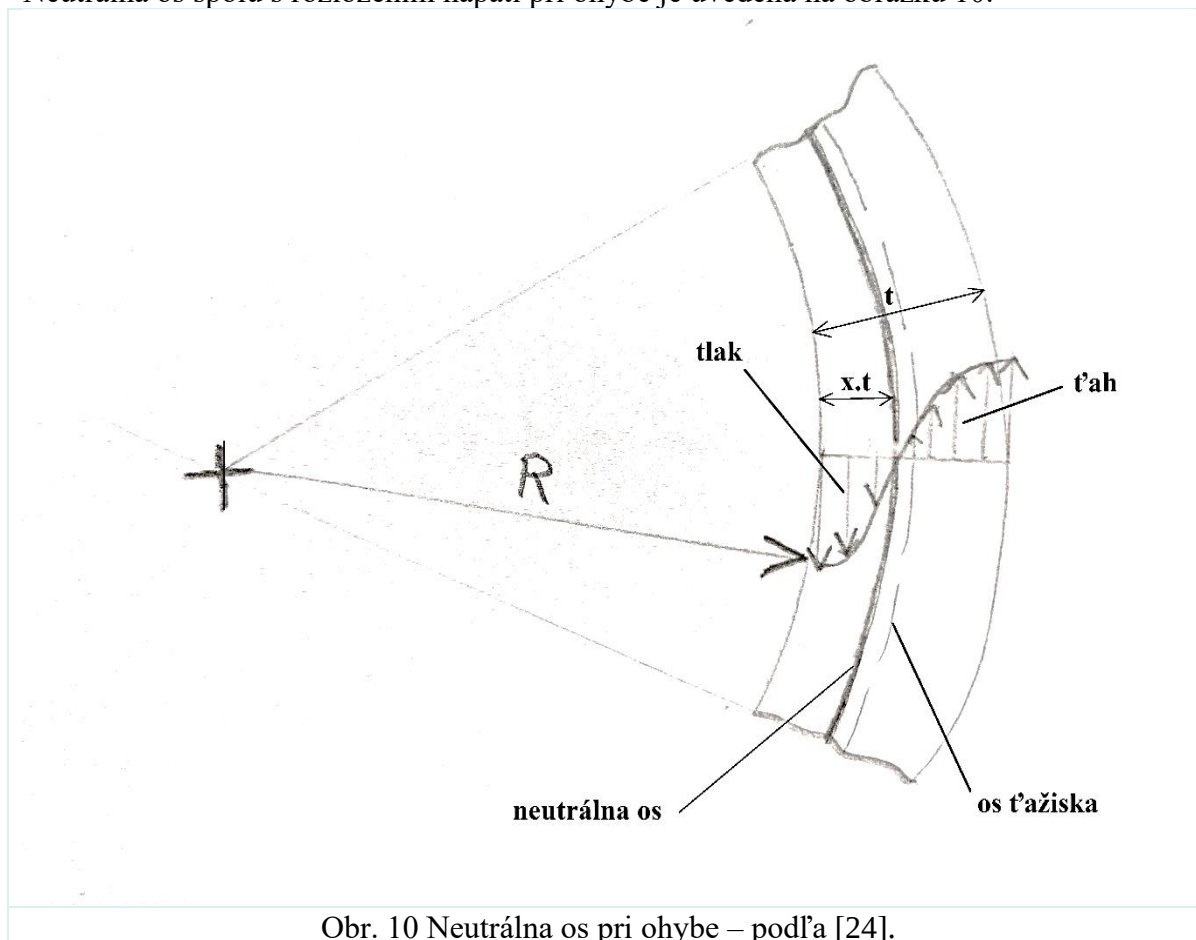
Obr. 9 Typy závitových nožov pre použitie na sústružníckom stroji – podľa [20].
a – radiálny; b – kotúčový; c – prizmatický.

3.1.5 Ohyb plechu

Ohýbanie plechov je zaradené medzi technológie tvárnenia. Materiál je v tomto prípade deformovaný do požadovaného uhlu ohybu s voliteľným polomerom zaoblenia

hrán. Pomocou ohýbadla, ktoré je zložené z ohybníka a ohybnice je vytváraný výsledný produkt – ohybok alebo výlisok. Vzniknuté ohnuté teleso je naspäť rozvinuteľné. Pri ohybe telesa sú uplatňované zákony plasticity, ako aj pri ostatných tvárniacich procesoch. Jedná sa o prekročenie medze klzu materiálu, za ktorou dochádza k plastickej deformácii spolu s deformáciou elastickou. Pri ohýbaní dochádza k deformácií prierezu materiálu a platí, že čím je prierez vyšší, tým viac je deformovaný. Pri širokých pásoch k tejto deformácii nedochádza, nakoľko proti deformácii v smere pričnom pôsobí veľká šírka vzhľadom k malej hrúbke. Ďalším sprievodným javom pri ohýbaní je, že jednotlivé vrstvy kovu na vnútornej strane ohybu sú stláčané a skracované v pozdĺžnom smere a roztáňované v smere pričnom. Naopak vonkajšie vrstvy kovu sa v smere pozdĺžnom roztahujú a predlžujú a v smere pričnom sú stláčané. Okrem uvedených vrstiev existuje aj stredná časť prierezu, v ktorej sú napätia nižšie ako je medza klzu materiálu. V tejto časti existuje prechod medzi vrstvami, ktorý je bez deformácií a bez napätí. Tento prechod je nazývaný neutrálna vrstva alebo aj neutrálna os. Vplyvom deformácie nedochádza v mieste neutrálnej osy ani k predlžovaniu ani ku skracovaniu materiálu. Pred samotným ohybom je táto os v strede prierezu a ohýbaním sa posúva smerom k vnútornej strane ohybu. Pomocou neutrálnej osy pri ohýbaných častiach a dĺžok rovných úsekov je možné určiť rozvinutú dĺžku polotovaru pred ohybom. S rastúcou hrúbkou plechu dochádza aj k nárastu rozdielu medzi dĺžkou rozvinutého polotovaru a dĺžkou ohnutých dielov. Poloha neutrálnej osy je charakterizovaná značkou x a je závislá na pomere polomeru R a hrúbky plechu t [23].

Neutrálna os spolu s rozložením napätí pri ohybe je uvedená na obrázku 10.



Obr. 10 Neutrálna os pri ohybe – podľa [24].

Polomer ohybu neutrálnej osy je definovaný vzťahom (3.8).

$$\rho = R + x \cdot t \quad (3.8)$$

Kde [23]:

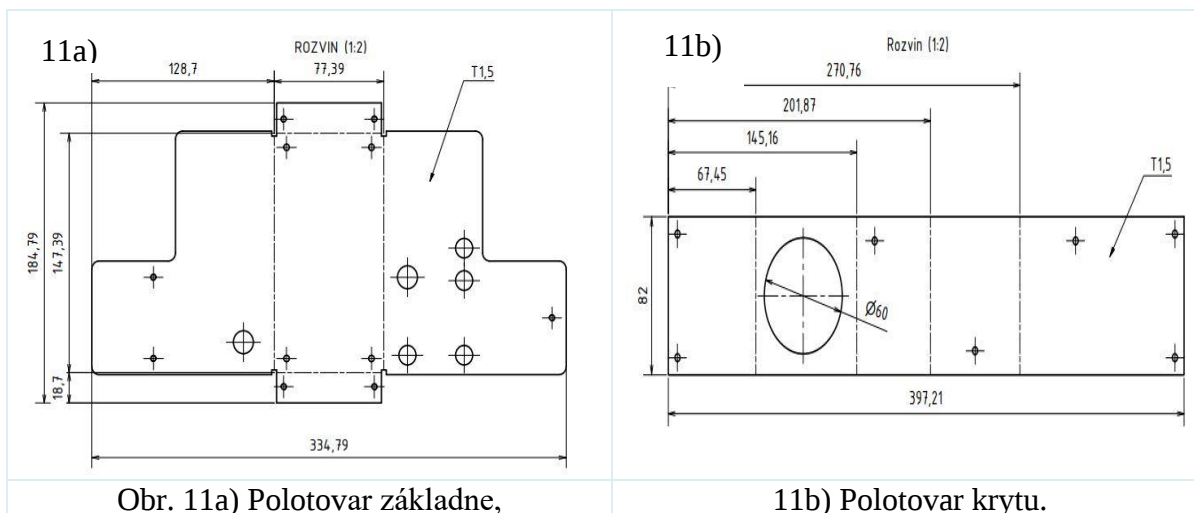
ρ [mm]	– polomer ohybu neutrálnej osy
R [mm]	– vnútorný polomer ohybu
x [-]	– súčiniteľ posunutia neutrálnej osy
t [mm]	– hrúbka materiálu

Hodnoty súčiniteľa posunutia neutrálnej osy sú uvedené v tabuľke 3.2.

Tab. 3.2 Hodnoty súčiniteľa posunutia neutrálnej osy [23].

$\frac{R}{t}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1	1,2	1,5	2	3	4	nad 5
x	0,23	0,29	0,32	0,35	0,37	0,38	0,39	0,40	0,41	0,42	0,44	0,45	0,46	0,47	0,50

V súčasnosti je možné polotovary pre ohýbanú súčasť vymodelovať pomocou 3D programu a následne zistiť jeho rozmery potrebné pre ohyb. K tomuto účelu bol v tejto práci použitý program Autodesk Inventor Professional 2021 v študentskej verzii. Polotovary pre ohyb plechových dielov pre časť zariadenia základňa sú uvedené na obrázkoch 11a a 11b. V prípade obrázku 11a sa jedná o rozvinutý plechový model pre základňu zariadenia a v prípade 11b sa jedná o kryt tejto základne.

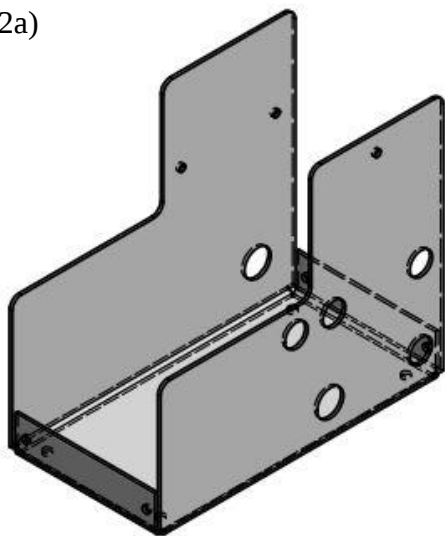


Po odstránení síl pôsobiacich na deformované teleso dochádza k javu, kedy sa súčasť vplyvom pružnej deformácie, ku ktorej dochádza v okolí neutrálnej osy čiastočne vráti do pôvodných rozmerov – k odpruženiu. S odpružením je pri technologickej operácii ohýbania plechov nutné počítať. Prejavuje sa odchylením ohnutej časti o uhlovú odchýlku γ . S rastúcou dĺžkou ohýbaných ramien rastie aj potreba správneho určenia uhlovej odchýlky. Veľkosť uhlu odpruženia je závislá na spôsobe ohýbania, polomere ohybu a na tvárnosti materiálu. Pre súčasti z koróziívzdornej ocele, ktoré sú použité pre časť zariadenia základňa, sú uvádzané tabuľkové hodnoty uhlu odpruženia od 1 do 7°. Pre dosiahnutie požadovaného tvaru súčasti je nutné odpruženie obmedziť. Toto obmedzenie je

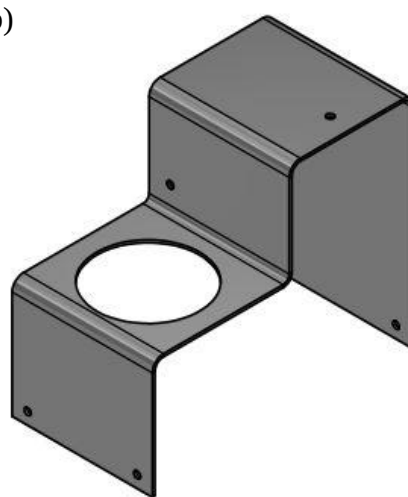
uskutočňované pomocou ohnutia materiálu o uhol ohybu zväčšený o uhol odpruženia, ktorého hodnoty sú určované pomocou empirických vzorcov alebo z tabuliek [23].

Súčasť základňa a kryt sú ohýbané typom ohybu do tvaru „V“. Všetky ohyby sú po odpružení pod uhlom 90° pri polomere zaoblenia 5mm. Výsledný tvar po uskutočnení technologickej operácie ohýbania je zobrazený na obrázkoch 12a a 12b.

12a)



12b)



Obr. 12a) Ohnutá súčasť základňa,

12b) Ohnutá súčasť kryt.

3.1.6 Delenie materiálu

Delenie materiálu je možné realizovať niekoľkými spôsobmi. Z technológie tvárnenia sú to napríklad strihanie, sekanie alebo lámanie. Ďalšie metódy ako je napríklad delenie rezaním alebo delenie rozbrusovaním sú radené medzi technológie trieskového obrábania. V súčasnosti sú rozšírené aj metódy tepelného delenia materiálu ako sú napríklad rezanie kyslíkom, plazmovým lúčom alebo laserom prípadne technológia vodného lúču, pri ktorej nedochádza k tepelnému ovplyvneniu materiálu [25].

Pri výrobe súčastí základňa a kryt, ktoré sú súčasťou prototypu dentálneho pieskovacieho zariadenia bola zvolená technológia vypaľovania pomocou laserového lúča. Preto je ostatná časť tejto kapitoly venovaná práve tejto metóde.

Rezanie laserom je v súčasnosti zavedená metóda delenia materiálu. Pomocou laserového lúču je možné rezať takmer všetky materiály vrátane plastov, plexiskla alebo dreva. Vlastný proces rezania je založený na princípe, pri ktorom je rezaný materiál ohriaty žiarením laseru na bod varu a následne vyfukovaný tlakom plynu mimo miesta rezu. Pri uhlíkových oceliach je týmto plynom kyslík a podobne ako pri rezaní kyslíkom dochádza k exotermickej reakcii. Pri vysokolegovaných oceliach je využívaný dusík s niekoľkonásobne vyšším tlakom ako je tomu pri uhlíkových oceliach. Dusík bráni oxidácii rezných plôch a tvorbe oxidov na spodnej strane rezu [25].

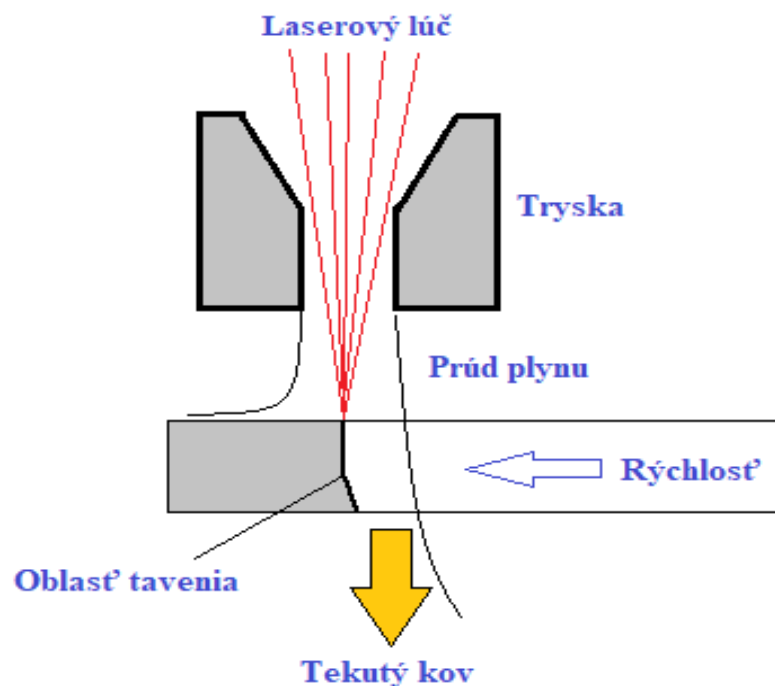
Pri rezaní nerezových plechov, ktoré sú použité na už vyššie spomenuté časti zariadenia, sú využívané inertné plyny ako napríklad dusík alebo vzácne plyny pod vysokým tlakom, pri ktorých je rezná hrana bez oxidov a opálenia [26].

Pri technológií delenia materiálu pomocou laseru je možné rozlišovať 3 druhy rezania, jedná sa o rezanie sublimačné, tavné a oxidačné. Pri sublimačnom rezaní dochádza k ohriatiu materiálu na teplotu varu a následne k intenzívnemu odparovaniu. Táto metóda

je využívaná napríklad pre rezanie alebo vŕtanie minerálov. Pri metóde tavného rezania je materiál ohriaty na teplotu tavenia a následne prúdom inertného plynu (dusíka) vyfúknutý von z reznej medzery. Tlak plynu sa pohybuje v rozmedzí od 1 do 1,5 MPa, rezná rýchlosť klesá s rastúcou hrúbkou materiálu a lineárne narastá s výkonom laseru. Metóda je vhodná pre rezanie materiálov ako sú vysokolegované ocele, keramika, plexisklo ale aj pre zliatiny hliníka, medi alebo niklu. Poslednou metódou je rezanie oxidačné. Týmto typom rezania sú delené nelegované až stredne legované ocele. Asistenčným plynom je kyslík pri tlaku 0,3 až 0,5 MPa a rýchlosť rezania aj hrúbka materiálu sú väčšie ako pri tavnom rezaní [27].

Laserový lúč, ktorého princíp je uvedený na obrázku 13, je význačný nasledujúcimi výhodami [27]:

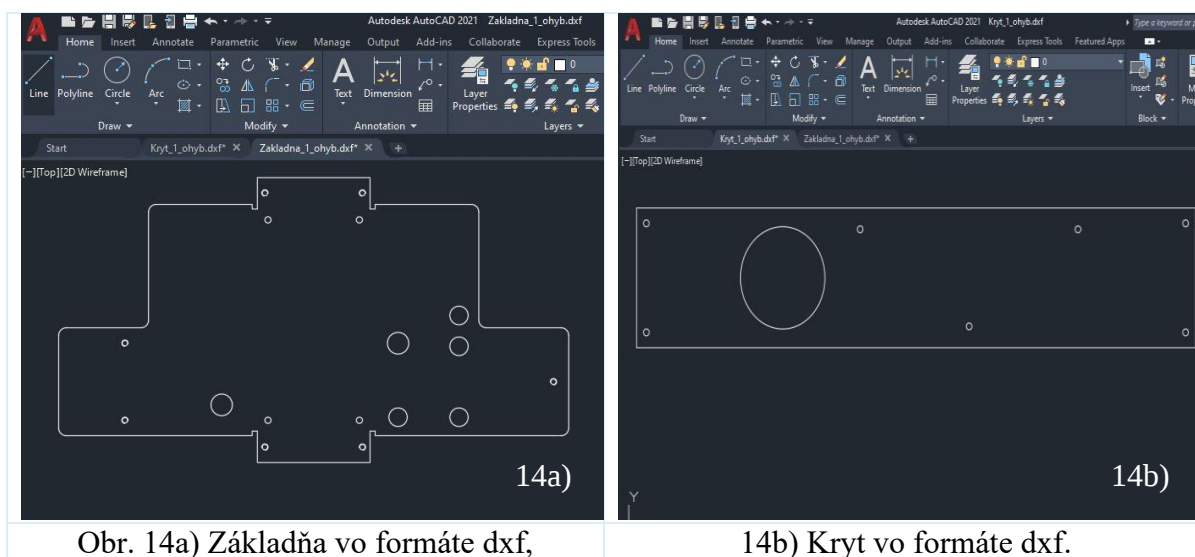
- vysoké rezné rýchlosti, rádovo v desiatkach metroch za minútu,
- možnosť rezať materiály do 25 mm,
- dobrá kvalita rezných plôch s drsnosťou okolo Ra 1,6,
- možnosť rovinných aj priestorových rezov,
- dosahovaná presnosť laserového lúča na 1 m dĺžky od 0,05 do 0,1 mm,
- úzka rezná medzera – len 0,05 mm,
- jednoduchá regulácia výkonu – rovnomerná kvalita rezu,
- možnosť rezať takmer všetky technické materiály.



Obr. 13 Princíp rezania laserovým lúčom – podľa [27].

Rezanie nerezových plechov nie je náročnejšie napríklad od rezania konštrukčných ocelí. Hrúbky dosahované pri týchto plechoch sa pohybujú do 25 mm v závislosti na výkone laserového zariadenia [28].

V súčasnosti sú na trhu rôzne firmy pracujúce s CNC páliacimi strojmi, ktoré umožňujú jednoduché a rýchle sprostredkovanie výpalkov z rôznych materiálov pri rôznych hrúbkach. Moderné softvéry sú schopné z pripraveného 3D modelu vytvoriť súbor, ktorý je nahraný do systému stroja a následne je vytvorený výpalok požadovaného tvaru. K tomuto účelu bol v prípade súčastí základňa a kryt použitý program Autodesk Inventor Professional 2021, z ktorého boli súbory prevedené do programu Autodesk Autocad 2021, oba v študentskej verzii a následne vytvorený formát, z ktorého je softvér CNC páliaceho stroja schopný vytvoriť požadované produkty. V tomto prípade sa jedná o formát s koncovkou *dxf*. Modely (základňa a kryt) vo formáte *dxf* sú uvedené na obrázkoch 14a a 14b.



3.1.7 Zváranie

Technológiou zvárania sú vytvárané nerozoberateľné druhy spojenia dvoch alebo viacerých dielov. Základným princípom tejto technológie je privedenie určitého množstva energie do miesta, kde dochádza ku styku dielov. Do tohto styku je pritom privádzaná kinetická energia alebo teplo, pri ktorom existuje viacero typov zdrojov. V mieste prívodu energie dochádza k vzniku zvaru, ktorý je vytvorený v dôsledku plastickej deformácie alebo kryštalizácie roztaveného kovu. Okrem zvaru je možné pri technológii tavného zvárania definovať aj tzv. tepelne ovplyvnenú oblasť (TOO), v ktorej nedochádza k roztaveniu kovu, avšak jej vlastnosti a štruktúra sú vplyvom ohrevu rozdielne od zvaru alebo základného materiálu. Základným materiálom (ZM) sú nazývané dve alebo viacero spojovaných častí. Pri tomto spájaní pritom môže ale nemusí byť použitý prídavný materiál (vo forme elektródy alebo holého drôtu), ktorý zabezpečuje napríklad zlepšenie výsledných mechanických vlastností zvaru a ďalšie. Vo všeobecnosti je možné zváranie rozdeliť na tavné a s použitím tlaku. Pri tavnom zváraní sú pôsobením tepla v určitom mieste materiály stavené k sebe. Pri druhom type je pre vyhotovenie dokonalého zvaru nevyhnutné použiť tlak [29].

Metódy zvárania spadajúce pod tavné a pod zváranie s použitím tlaku je možné rozdeliť nasledovne [29]:

1) Zváranie tavné

i) Oblúkové

(a) Bez ochranného plynu

1. Oblúkové zváranie obalenou elektródou
2. Oblúkové zváranie plnenou elektródou

(b) Pod tavidlom

1. Drôtovou elektródou
2. Páskovou elektródou
3. Plnenou elektródou

(c) V ochrannom plyne

1. Taviacou sa elektródou v inertnom plyne (MIG)
2. Taviacou sa elektródou v aktívnom plyne (MAG)
3. Volfrámovou netaviacou sa elektródou v inertnom plyne (WIG)
4. Plazmové
5. Atóm-vodíkové

ii) Zváranie plameňom

iii) Elektro-troskové zváranie

iv) Elektrónové zváranie

v) Laserové zváranie

vi) Aluminotermické zváranie

2) Zváranie s použitím tlaku

i) Odporové zváranie

ii) Trecie zváranie

iii) Tlakové zváranie

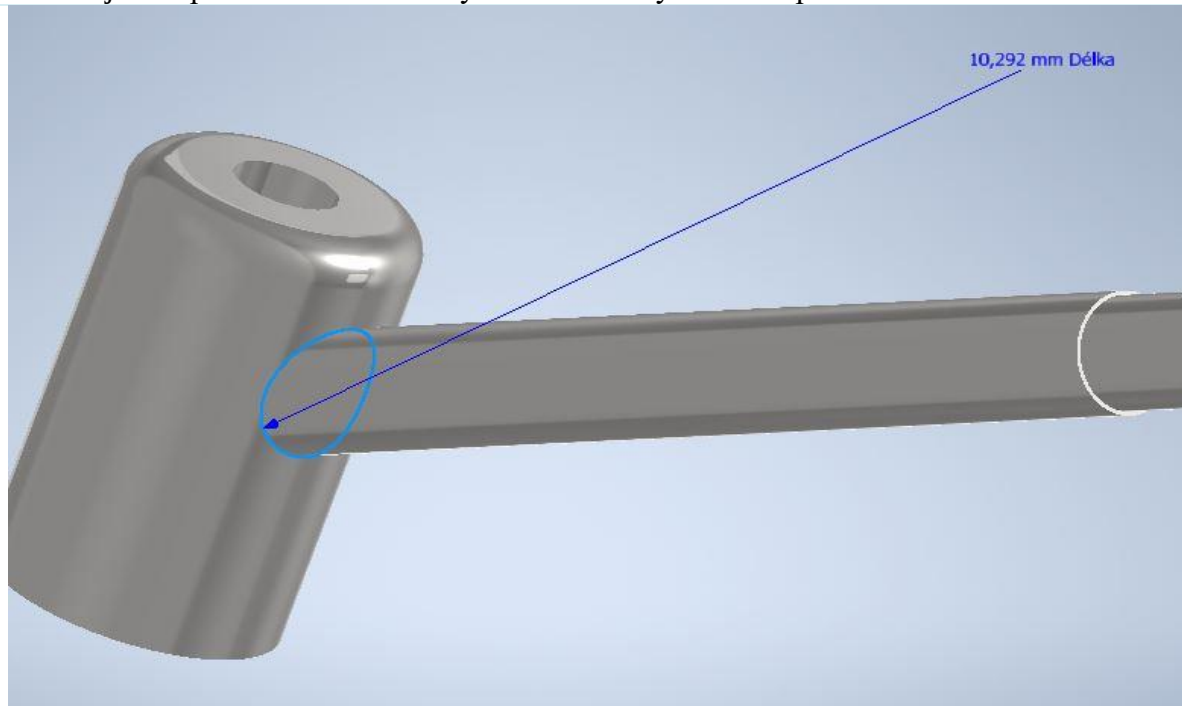
iv) Kováčske zváranie

Vyššie spomenuté metódy sú vzájomne odlišné v rôznych parametroch. V tabuľke 3.3 sú uvedené zdroje tepla a hodnoty pre vybrané parametre najmensej plochy ohrevu a maximálneho tepelného výkonu.

Tab. 3.3 Parametre najmensej plochy ohrevu a maximálneho tepelného výkonu [30].

Zdroj tepla	Najmenšia plocha ohrevu [cm ²]	Maximálny tepelný výkon [W · cm ⁻²]
Plameň C ₂ H ₂ – O ₂	1 · 10 ⁻²	1 · 10 ³
El. oblúk, technológia 111	1 · 10 ⁻³	1 · 10 ⁴
El. oblúk, technológia 131, 141	1 · 10 ⁻⁴	1 · 10 ⁵
Plazmový oblúk	1 · 10 ⁻⁶	1 · 10 ⁷
Elektrónový lúč	1 · 10 ⁻⁷	1 · 10 ⁸
Laser	1 · 10 ⁻⁸ až 1 · 10 ⁻¹¹	1 · 10 ⁹ až 1 · 10 ¹³

Súčasti určené pre zváranie pri návrhu prototypu pieskovacieho zariadenia sú uvedené na obrázku 15. Jedná sa o trubky s priemerom 4 resp. 7 mm. Vzhľadom na rozmery súčastí, dĺžku zvaru a možnosti jednotlivých metód zvárania a s ohľadom na najmenšiu plochu ohrevu je v kapitole 3.1.7.1 uvedený rozbor metódy zvárania pomocou laserového lúča.



Obr. 15 Zvárané súčasti s dĺžkou zvaru.

3.1.7.1 Laserové zváranie

Názov technológie laser je zložený zo slov popisujúcich princíp jeho funkcie. Z anglického Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation – zosilnenie svetla stimulovanou emisiou žiarenia. Stimulovanou emisiou je možné žiarenie pri jednej vlnovej dĺžke zosilniť, narozdiel od spontánnej emisie. Samotná technológia zvárania pomocou laseru je výhodná pre materiály ako napríklad vysokolegované oceli, nikel alebo molybdén. Vďaka vysokému tepelnému výkonu sú lasery schopné zvätať aj materiály s vysokou tepelnou vodivosťou ako napríklad meď, striebro alebo hliník ako aj materiály s vysokou teplotou tavenia ako sú volfrám, molybdén, tantal alebo titan [27].

Pre laserový lúč sú charakteristické nasledovné vlastnosti [27]:

- vysoká hustota výkonu (viď tabuľka 3.3),
- monochromatickosť,
- malá rozbiehavosť zväzku fotónov,
- laserový lúč nie je ovplyvnený magnetickým poľom,
- presné dávkovanie výkonu,
- možnosť sústredenia zväzku fotónov na veľmi malú plochu – priemer 10 μm ,
- možnosť zvárania magnetických materiálov
- laserový lúč je schopný prechádzať aj priehľadným prostredím.

Ako už bolo spomenuté, technológiou laserového lúču je možné zvärať rôzne typy materiálov.

Medzi výhody tejto metódy patrí [27,31]:

- úzka tepelne ovplyvnená oblasť,
- hlboký prienik,
- nízke zostatkové napätie,
- možnosť zvärať hrúbky materiálov rádovo od mikrometrov po jednotky milimetrov,
- možnosť zvärať tenké plechy,
- jednoduchá automatizácia procesu,
- vysoká presnosť zvárania.

Pri výrobe súčasti „Zvarena trubka objimka“ (viď príloha 2 a obrázok 15) je zvolená technológia zvárania práve pomocou laseru. Možnosti zvárania danej súčasti z materiálového hľadiska sú uvedené v kapitole 3.3.

3.1.8 Elektroerozívne obrábanie

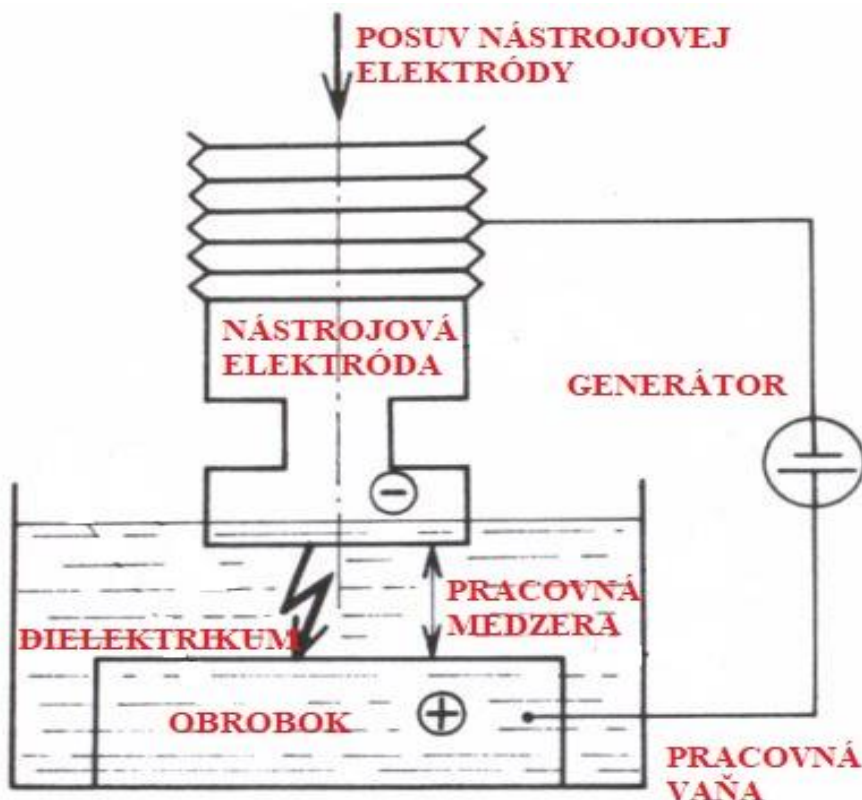
Princípom elektroerozívneho obrábania je úber materiálu pomocou výboja medzi dvomi elektródami, kde vplyvom vysokej koncentrácie energie (10^5 až 10^7 W·mm⁻²) dochádza k taveniu a odparovaniu materiálu. Prvou z elektród je katóda, ktorá najčastejšie tvorí nástroj, druhou je anóda, ktorú v takomto prípade predstavuje obrobok. Anóda je pri elektroerozívnom obrábaní ponorená v kvapaline – dielektriku alebo je umiestnená v plynnom prostredí. Dielektrikom je kvapalina s vysokým elektrickým odporom. Cieľom tejto metódy je dosiahnuť pomocou opakovaných výbojov čo najväčší úber materiálu na strane obrobku a čo najmenší na strane nástroja [32].

Fyzikálne zákonitosti úberu materiálu metódou elektroerózie sú zhrnuté v nasledujúcich bodoch [32]:

- Výboj medzi elektródami vzniká privedením napätia na elektródy a jeho intenzita závisí na elektrických parametroch výboja, vzdialenosti medzi elektródami, znečistení dielektrika a jeho vodivosti.
- Výbojový kanál vzniká v mieste najsilnejšieho elektrického napätového poľa a to v čase, kedy je prekonalý odpor dielektrika a je dosiahnutá vysoká rýchlosť záporných a kladných iónov.
- V mieste výboja môže teplota dosiahnuť 3000 až 12000 °C, pri ktorej dochádza k taveniu a odparovaniu materiálu elektród. Zároveň sa okrem materiálu elektród vyparuje aj dielektrikum, ktoré vytvára bubliny, tie následne praskajú a vzniknuté sily odoberajú v mieste výboja čiastočky materiálu z obrobku.
- Pri prerušení obvodu dochádza k zníženiu teploty a klesá aj tlak plynov. Materiál je odstránený z miesta výboja a na tomto mieste vzniká kráter s objemom rádovo 10^{-3} až 10^{-5} mm³.

- Na konci tohto procesu dochádza ku zániku bubliny aj výboja. Miesto, kde bol pred výbojom materiál, je následne vyplnené dielektrikom a dochádza tak ku ochladeniu odobratého materiálu a aj materiálu elektródy.

Princíp elektroerozívneho obrábania je zobrazený na obrázku 16.



Obr. 16 Princíp elektroerozívneho obrábania – podľa [33].

Dôležité je spomenúť, že pomocou tejto metódy je možné obrábať len vodivé materiály. Množstvo materiálu, ktorý je odobraný jedným výbojom je definované podľa vzťahu (3.9) a energia výboja je definovaná vzťahom 3.10 [32].

$$Q_i = k \cdot W_e \quad (3.9)$$

$$W_e = U_e \cdot I_e \cdot t_i \quad (3.10)$$

Kde [31]:

Q_i [mm ³]	– množstvo odobraného materiálu
k [-]	– súčiniteľ úmernosti pre katódu a anódu
W_e [J]	– energia výboja
U_e [V]	– stredné napájacie napätie
I_e [A]	– stredný napájací prúd
t_i [s]	– trvanie pulzu

Pri obrábaní ocelí pomocou tejto metódy sú využívané katódy z materiálov ako sú napríklad karbid volfrámu, hliník, mosadz, meď, meď-volfrám, grafit alebo oceľ.

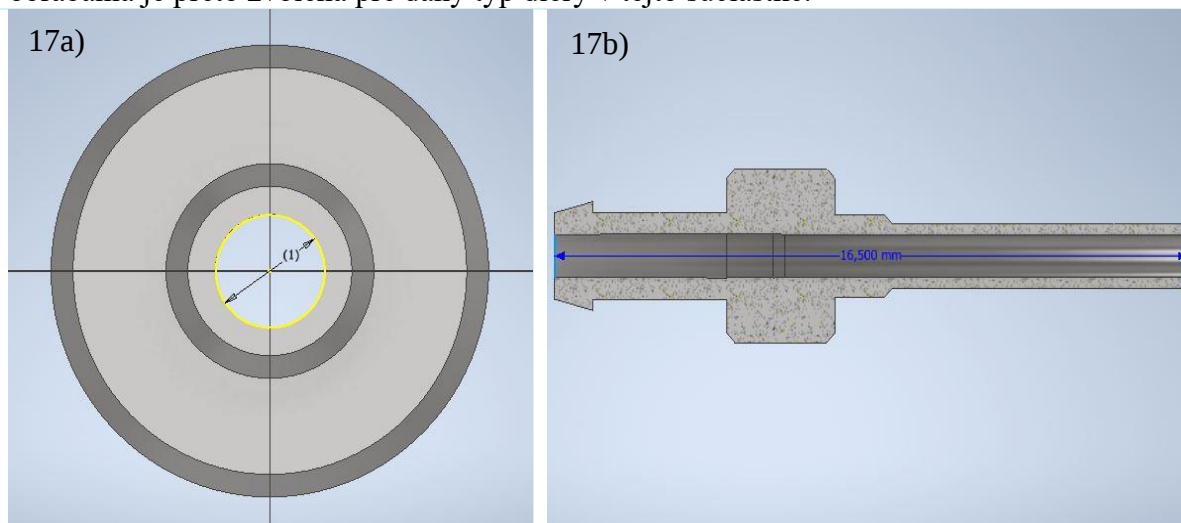
Z hľadiska drsnosti je pri tejto metóde obrábania možné dosiahnuť hodnôt do $Ra\ 0,2\ \mu m$ [32].

Uvedená metóda je využívaná najmä v prípadoch, kde je využitie konvenčných druhov obrábania buď technicky náročne realizovateľné prípadne nerealizovateľné alebo finančne nevýhodné.

Medzi technologické aplikácie elektroerozívneho obrábania patria [33]:

- elektroerozívne hĺbenie dutín,
- elektroerozívne leštenie povrchu,
- elektroerozívne rezanie drôtovou elektródou,
- elektroerozívne mikrodierovanie,
- elektrokontaktné obrábanie.

Pri návrhu dentálneho pieskovacieho zariadenia je využitá technológia elektroerozívneho obrábania pri výrobe diery v súčiastke „Vystupna_Tryska_02“, (ďalej len výstupná tryska) ktorej výkres je uvedený v prílohe 2 a pohľady na zmienenú diery sú uvedené na obrázkoch 17a resp. 17b. Jedná sa o diery s priemerom 1 mm, ktorej dĺžka je 16,5 mm. Jedná sa teda o hlbokú diery, ktorej výroba by pomocou bežne dostupných vrtákov s ohľadom na priemer plného materiálu bola náročná. Práve metóda elektroerozívneho obrábania je preto zvolená pre daný typ diery v tejto súčiastke.



Obr. 17a) Predný pohľad na diery v tryske,

17b) Rez tryskou.

3.2 Materiály pre použitie v zubnom lekárstve a ich obrobiteľnosť

Materiály pre použitie v oblasti zubného lekárstva sú uvedené v technickej norme ČSN EN ISO 7153-1 (Chirurgické nástroje – Časť 1: Kovy). Touto normou sú upravené materiály pre použitie na rôzne pomôcky v zubárskom vybavení ako sú napríklad zubné extrakčné kliešte, laboratórne kliešte, zubné kyrety, plniace nástroje, zubné pinzety a ďalšie vybavenie. Z hľadiska typov ocelí sa jedná o oceli martenzitické, austenitické, feritické a precipitačne vytvrditeľné. Tieto oceli je možné jednotne charakterizovať ako koróziivzdorné.

3.2.1 Obrobiteľnosť materiálu

Obrobiteľnosť je charakterizovaná ako súhrnný vplyv chemického zloženia a fyzikálnych vlastností na priebeh a na ekonomické a kvalitatívne výsledky procesu rezania. Možnosti posudzovania obrobiteľnosti môžu byť založené na viacerých hľadiskách. Jedná sa o hľadiská ako energetická bilancia procesu rezania, vplyvu materiálu obrobku na intenzitu opotrebenia nástroja, vplyvu na proces utvárania triesky alebo z hľadiska vytvárania nových povrchov na obrobkoch. Presný matematický popis vyjadrujúci vzťah faktorov obrábania vzhľadom k stupni obrobiteľnosti však nie je dodnes stanovený. Obrobiteľnosť je z hľadiska technológie obrábania jednou z najdôležitejších vlastností materiálov. Všeobecne je obrobiteľnosť možné definovať ako schopnosť daného materiálu obrobku byť spracovaný niektorou z metód obrábania. Jednou zo základných metód pre určenie obrobiteľnosti materiálu prostredníctvom intenzity opotrebenia reznej hrany nástroja. Určenie stupňa obrobiteľnosti touto metódou pre určitý druh materiálu nie je však rovnaký pre rôzne typy metód obrábania. Preto je pre technologické operácie ako sú napríklad sústruženie, frézovanie alebo brúsenie nutné uskutočňovať tieto skúšky zvlášť [21].

Faktory, ktoré sú najdôležitejšie pre stanovenie obrobiteľnosti [21]:

- spôsob výroby a druh tepelného spracovania materiálu obrobku,
- mikroštruktúra obrábaného materiálu,
- metóda obrábania,
- rezné podmienky,
- geometria nástroja,
- vlastnosti nástrojového materiálu,
- chemické zloženie materiálu obrobku,
- mechanické a fyzikálne vlastnosti materiálu obrobku,
- rezné podmienky.

3.2.1.1 Obrobiteľnosť koróziívdorných ocelí

Zvýšené výkonové parametre koróziívdorných (nerezových) ocelí spôsobujú, že obrábanie týchto typov ocelí je náročnejšie ako napríklad obrábanie uhlíkových ocelí. Zatiaľ čo obrábanie martenzitických a feritických ocelí nie je v zásade výrazne obtiažnejšie ako obrábanie konštrukčnej ocele, u austenitických ocelí je situácia rozdielna. Vplyvom prídavku niklu a ďalších prvkov sú hodnoty tvrdosti, tuhosti, odolnosti proti deformáciám alebo tepelnej vodivosti vyššie, čo vedie k ich horšej obrobiteľnosti. V minulosti sa predpokladalo, že z dôvodu vyššej pevnosti týchto zliatin sú potrebné vyššie rezné sily a taktiež existuje potreba použitia pevnejších nástrojov so zápornou geometriou pri znížených rezných parametroch. Daný predpoklad však viedol ku krátkej životnosti nástrojov, k tvorbe dlhých triesok, k nežiadúcim vibráciám a taktiež k nedostatočnej kvalite výsledného obrobeného povrchu. V skutočnosti rezné sily pri obrábaní austenitickej oceli nie sú výrazne vyššie ako pri obrábaní konštrukčných ocelí. Výrazným problémom

pri obrábaní daného typu ocelí je ich tepelná vodivosť. Pri obrábaní dochádza k deformácií materiálu obrobku a aj k vývinu nadmerného tepla. Austenitických nerezových ocelí je vplyvom nižšej tepelnej vodivosti odvod tepla realizovaný vo väčšej miere prostredníctvom nástroja, čo vedie k zníženiu jeho životnosti. Dôležitým predpokladom pre dosiahnutie požadovaných parametrov pri obrábaní austenitických ocelí je preto použitie nástrojových materiálov, ktoré sú schopné zachovať si svoju tvrdosť aj pri vysokých teplotách. Zvýšenú pozornosť je potrebné venovať taktiež reznej hrane nástroja. Medzi odporúčania pre obrábanie austenitických nerezových ocelí patrí využívanie väčších hĺbok rezu a vysokých posuvov. Toto nastavenie má za cieľ maximálneho odvodu tepla prostredníctvom triesky a výrobu súčasti na nižší počet záberov. Dôležitým javom, ktorý je pri obrábaní týchto ocelí bežný a je ho treba pri obrábaní zohľadniť, je náchylnosť na mechanické spevnenie povrchovej ale najmä podpovrchových vrstiev. Ďalším odporúčaním pri obrábaní austenitických ocelí je zabezpečenie chladenia procesnou kvapalinou. Potrebné je zabezpečiť kvapalinu s vysokou kvalitou a s minimálnym podielom olejovej zložky v olejovodnej emulzii 8 % [34].

Použitie a obrobitelnosť jednotlivých typov koróziivzdorných ocelí je charakterizovaná nasledovne [35]:

- *Feritické a Martenzitické typy ocelí* sú využívané na výrobu hriadel'ov v čerpadlách, v parných a vodných turbínach a pre rôzne súčiastky ako sú skrutky alebo matice. Martenzitická oceľ je ďalej používaná v oblasti výroby medicínskych pomôcok, príborov alebo žiletiek a to vďaka jej schopnosti zakalenia. Obrobitelnosť týchto druhov ocelí nie je výrazne odlišná od obrobitelnosti nízkolegovaných ocelí. Vzhľadom na ich vysoký obsah uhlíka (viac ako 0,2 %) je možné ich vytvrdzovať. Pri obrábaní týchto materiálov dochádza k opotrebeniu na chrbte nástroja, tvorbe nárazku a vylamovaní reznej hrany.
- *Austenitické ocele* sú využívané vďaka ich odolnosti proti korózií. Uplatnenie týchto ocelí je v chemickom, celulózovom alebo potravinárskom priemysle. Niektoré typy ocelí ako napríklad oceľ s označením podľa ČSN 17240 nachádzajú uplatnenie aj vo farmaceutickom priemysle. Z hľadiska obrobitelnosti je u týchto ocelí možné pozorovať náchylnosť k deformačnému spevneniu. Na rezných nástrojoch dochádza pri tomto type ocelí ku väčšiemu vrubovému opotrebeniu a vylamovaniu častí reznej hrany. K ďalším poškodeniam nástroja patrí odtrhnutie povlaku a materiálu substrátu z reznej hrany, čo následne vedie k zhoršenej tvorbe triesok aj k zhoršenému povrchu materiálu obrobku.
- *Duplexné ocele* nachádzajú uplatnenie v zariadeniach na ťažbu ropy a zemného plynu a v prostrediach s kyselinami a chlóróm. Z priemyselných odvetví sú využívané v zdravotníckom, papierenskom, stavebnom alebo chemickom priemysle. Obrobitelnosť týchto typov ocelí je z dôvodu ich vysokej medze klzu a vysokej pevnosti v ťahu horšia ako u uhlíkových ocelí. Zložka feritu síce ich obrobitelnosť zlepšuje no aj napriek tomu je pri obrábaní možné pozorovať vznik pevných triesok, ktoré opotrebovávajú reznú hranu nástroja. Problémom je aj vznik značného tepla, ktoré je príčinou plastického deformovania nástroja.

Materiál na výrobu vybraných súčastí (viď prílohy 1, 2, 3) prototypu zubárskeho pieskovacieho zariadenia musí spĺňať nasledujúce požiadavky:

- odolnosť súčiastok, v ktorých je vedená voda, proti korózií,
- zvýšená odolnosť súčastí pre vedenie zmesi piesku a vzduchu proti opotrebeniu,
- schválenie použitia pre aplikáciu v zubárstve (norma ČSN EN ISO 7153-1).

Okrem vyššie uvedených požiadaviek, je pri návrhu materiálu braný ohľad aj na jeho dostupnosť na trhu a rozmery polotovarov v ktorých je vyrábaný. Materiálom zvoleným na základe vyššie uvedených požiadaviek je austenitická oceľ s označením ČSN 17240. Daný typ austenitickej ocele je využívaný najmä vo farmaceutickom a potravinárskom priemysle pre výrobu napríklad chirurgických nástrojov alebo sanitárnych zariadení. Medzi ďalšie oblasti využitia patria chemické zariadenia vrátane tlakových nádob. Materiál je vhodný do oxidačných prostredí, prostredí s nízkymi koncentraciami kyselín za normálnych teplôt a prostredí s prítomnosťou vody, vzdušnej vlhkosti alebo vodnej pary. Pri obrábaní je nutné používať nástroje s ostrou reznou hranou vyrobené z vysokolegovanej rýchloreznej ocele, spekaných karbidov alebo kubického nitridu bóru. [36,37].

3.2.1.2 Obrobiteľnosť hliníkových zliatin

Hliník je v dnešnej dobe najpoužívanejším ľahkým kovom. Medzi ostatnými zliatinami má hliník zvláštne postavenie dané nasledujúcimi vlastnosťami [38]:

- hustota 2700 kg m^{-3} ,
- dobrá tepelná a elektrická vodivosť,
- dobré mechanické vlastnosti,
- chemickou odolnosťou,
- dobrá zlievateľnosť a zvárateľnosť.

V praxi sú využívané najmä zliatiny hliníka. Pridaním prísad ako sú hlavne meď, horčík, kremík alebo zinok a v malých množstvách nikel a mangán dochádza k podstatnému zvýšeniu mechanických vlastností. Podobne ako u zliatin medi tak aj zliatiny hliníka sú delené na zliatiny tvárnené a zliatiny na odliatky. Najrozšírenejšou skupinou zliatin sú takzvané duraly. Jedná sa o vytvrditeľné zliatiny s dosahovanou pevnosťou po vytvrdení na úrovni 400-420 MPa. Medzi hlavné zložky týchto zliatin patrí hliník (90-96 %), meď (4-6 %) a menšie prídavky horčíka alebo mangánu [38].

Z hľadiska obrobiteľnosti je možné konštatovať, že medzi obrobiteľnosťou čistého hliníka a hliníkových zliatin existujú rozdiely. Tieto rozdiely sú spôsobené štruktúrou daných materiálov. Vplyv mäkkých častíc, precipitátov, konštitučných fáz a stupňa deformačného spevnenia je z hľadiska obrobiteľnosti hliníkových zliatin pozitívny. Vo všeobecnosti je obrobiteľnosť týchto zliatin v porovnaní s ostatnými konštrukčnými kovovými materiálmi lepšia. Pri porovnaní s oceľami s rovnakými hodnotami pevností sú rezné sily výrazne menšie. Z hľadiska obrobiteľnosti je ďalej možné zliatiny hliníka rozdeliť medzi zlievarenské, tvárnené a automatové. Pri zlievarenských zliatinách, ktoré obsahujú meď, horčík alebo zinok ako hlavný legujúci prvok je ich obrobiteľnosť dobrá a nevznikajú

významnejšie problémy. Pri tvárnených zliatinách je možné hovoriť o ich výbornej obrobitelnosti. Predpokladmi pre dosiahnutie požadovaných vlastností obrobku sú správne nastavenie parametrov obrábania a geometrie rezného nástroja. Nevytvrditeľné zliatiny majú sklon k tvorbe dlhej a spojitej triesky. Pri tomto type zliatin je ich obrobitelnosť lepšia po tvárnení za studena. Vytvrditeľné zliatiny sú vo všeobecnosti obrábatel'né veľmi dobre s výbornou kvalitou povrchu. Vo vytvrdenom stave tvoria dlhú a stočenú triesku, ktorá sa v niektorých prípadoch ľahko láme. V stave nevytvrdenom je ich obrobitelnosť, podobne ako je tomu u nevytvrditeľných zliatin, horšia [39].

Pri návrhu materiálu súčastí zariadenia z hliníkových zliatin (viď prílohy 1 a 2), pri ktorých nedochádza k priamemu styku s vodou alebo so zmesou abrazíva a vzduchu sú uvažované nasledujúce predpoklady [1]:

- jednoduchá obrobitelnosť materiálu,
- možnosť povrchovej úpravy materiálu,
- nízka hmotnosť s ohľadom na používanie,
- dostupnosť polotovarov na trhu.

Na základe uvedených kritérií je volený materiál s označením ČSN 42 4400 (značenie podľa normy ČSN EN 573-3, označenie európskou normou EN AW-6082). Jedná sa o materiál na báze hliníka prídavkami horčíka, kremíka a mangánu. Tento typ materiálu je dobre obrábatel'ný [39].

Uvedený typ hliníkovej zliatiny je okrem dobrej obrobitelnosti vhodný aj pre povrchovú úpravu – anodickú oxidáciu hliníku (eloxovanie). Eloxovanie je proces, pri ktorom je vytváraný tvrdý a odolný povrch s možnosťou farebných úprav. Princípom tejto metódy je uvoľnenie umelo pripraveného oxidu hlinitého pomocou anodickej oxidácie, ktorá prebieha v kyseline sírovej pomocou jednosmerného prúdu. Pred samotným eloxovaním je nutné povrch súčastí odmastiť a vyleštiť. Najlepšie eloxovateľným materiálom je čistý hliník. Ďalej sú to zliatiny hliníka s horčíkom, alebo s horčíkom a kremíkom [40].

Dôvody pre anodickú oxidáciu hliníka a jeho zliatin sú [39]:

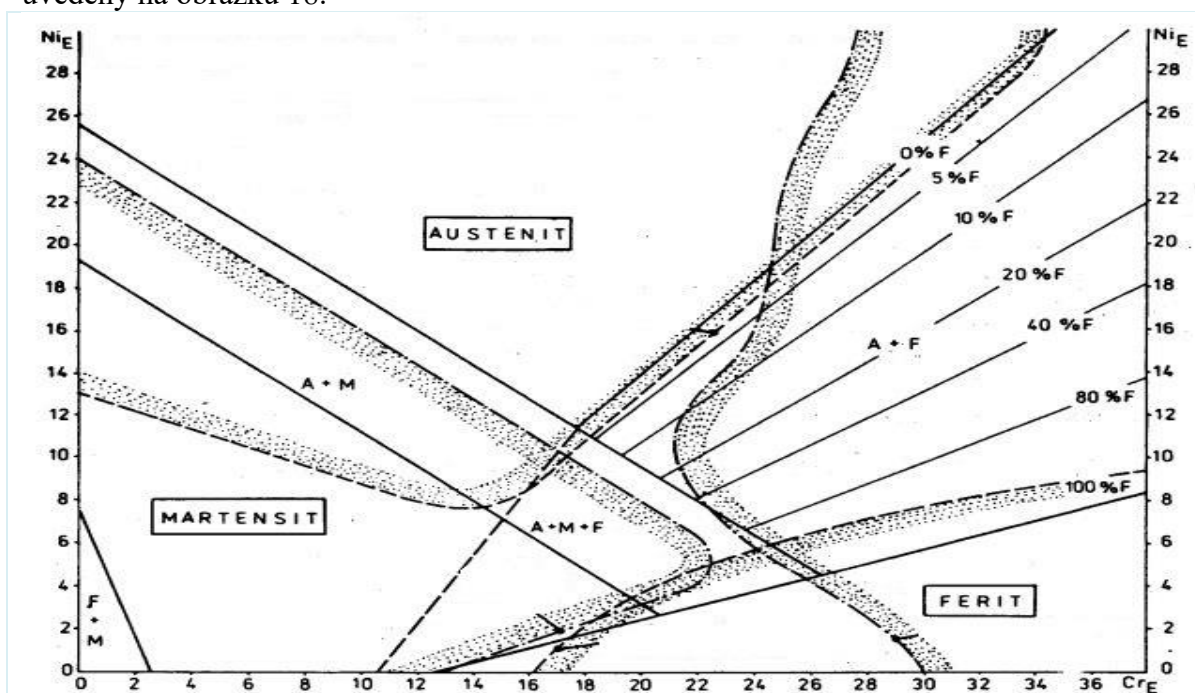
- zlepšenie odolnosti proti koróziám,
- zvýšenie odolnosti proti opotrebeniu,
- zvýšená tvrdosť výsledného povrchu,
- vytváranie lesklých povrchov,
- jednoduché ošetrovanie výsledného povrchu,
- získanie jemného povrchu po predchádzajúcom trieskovom obrábaní.

3.3 Zvárateľnosť austenitických ocelí

Austenitické ocele spolu s ďalšími typmi koróziivzdorných ocelí sú význačné vysokým obsahom legujúcich prvkov ako sú chróm, mangán, molybdén alebo nikel. Pomocou týchto prvkov sú ovplyvňované vlastnosti ocele ako napríklad odolnosť proti korózii, žiaruvzdornosť, žiarupevnosť, fyzikálne vlastnosti a iné. Uvedené kovy spolu

s ďalšími ovplyvňujú štruktúru ocelí po ochladení. Chróm, molybdén alebo kremík sú zaradené medzi prvky rozširujúce oblasť feritu a naopak nikel, mangán alebo uhlík sú prvky rozširujúce oblasť austenitu smerom k nízkym teplotám. Výslednú štruktúru zvaru je pri austenitických oceliach závislá na množstve a vzájomnom pomere jednotlivých prísad [41].

Túto štruktúru je možné určiť napríklad pomocou Schaefflerovho diagramu, ktorý je uvedený na obrázku 18.



Obr. 18 Schaefflerov diagram – podľa [41].

Vo všeobecnosti je možné považovať austenitické ocele za dobre zvarateľné. Medzi problémy, ktoré môžu pri ich zváraní vzniknúť patria náchylnosť k tvorbe teplých trhlín, precipitácia karbidov chrómu – dôsledkom tejto precipitácie je vznik medzikryštálovej korózie a skrehnutie vplyvom vzniku σ -fáze. Oproti feritickým oceliam majú austenitické cca o 50 % väčšiu tepelnú rozťažnosť a cca o 30 % nižšiu tepelnú vodivosť a oproti uhlíkovým a nízkolegovaným oceliam je u austenitických ocelí dosahovaná lepšia ťažnosť a húževnatosť zvaru [42,43].

Oceľ 17240, ktorá je použitá na výrobu súčasti (viď kapitola 3.2.1.1) je zaradená medzi austenitické ocele a jej chemické zloženie je uvedené v tabuľke 3.4.

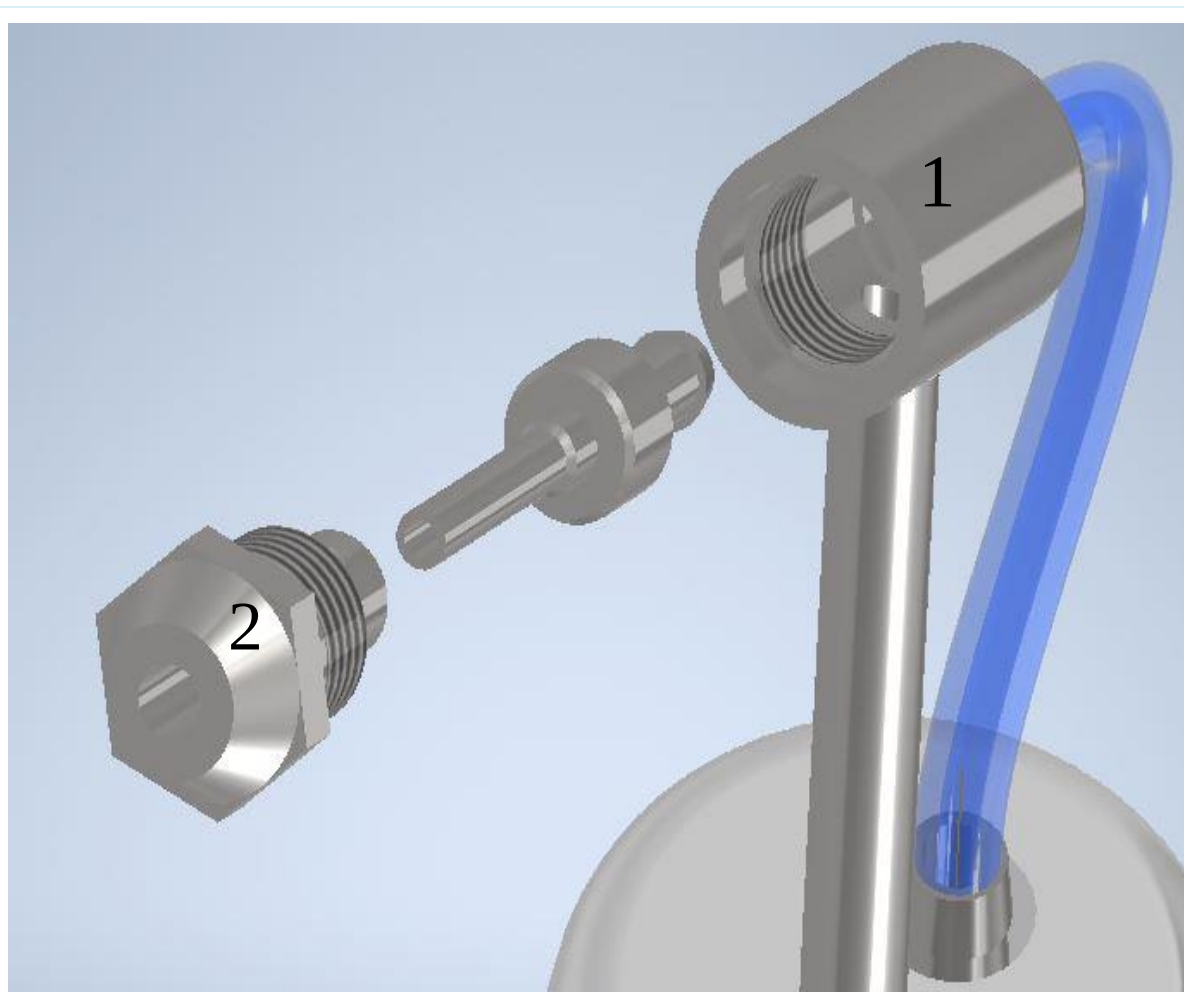
Tab. 3.4 Chemické zloženie austenitickej ocele 17240 [44].

Označenie podľa ČSN	Chemické zloženie [hm %]						
	C	Cr	Ni	Mn	Si	S	P _{max}
17240	≤ 0,07	17-19,5	8-10,5	≤ 2	≤ 1	≤ 0,03	≤ 0,045

Na základe chemického zloženia je tento typ austenitickej ocele možné zaradiť medzi chrómnikové austenitické ocele, ktoré sú dobre zvarateľné s dobrou ťažnosťou a húževnatosťou [43].

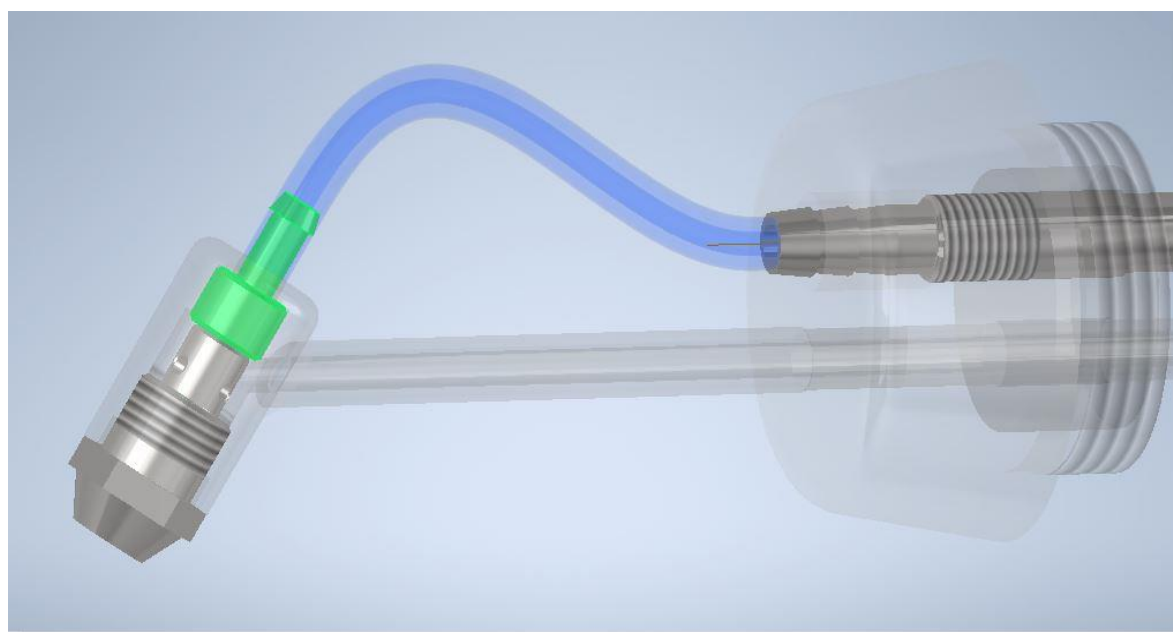
4 VÝROBA VÝSTUPNEJ TRYSKY

Úlohou výstupnej trysky je v návrhu prototypu zubárskeho pieskovacieho zariadenia zabezpečiť výstup zmesi abrazíva so vzduchom a rovnako zabezpečiť obalenie tejto zmesi vodou aby nedochádzalo k rozptylu abrazíva a častíc plaku do okolitého prostredia. Samotná tryska je v kontakte so súčiastkou „Objímka trysky“, ktorá je na obrázku 19 označená číslom 1 a „Kryt trysky“, ktorá je označená číslom 2. Pre lepšiu predstavu o jednotlivých súčiastkach a ich vzájomnom kontakte sú ich väzby v zostave uvoľnené a súčiastky sú vysunuté do priestoru. Výkresová dokumentácia k daným prvkom je uvedená v prílohe 2.



Obr. 19 Súčiastky vysunuté do priestoru.

Rozmery trysky sú volené s ohľadom na požiadavky dentistu a ako je uvedené v kapitole 2.3.3, zvolený priemer diery je 1 mm. Pri výrobe a voľbe rozmerov trysky je nutné zohľadniť jej uloženie medzi ostatnými súčiastkami. Na obrázku 20 je zobrazená časť zariadenia „Koncovka“, ktorej výkres je uvedený v prílohe 2. Samotná výstupná tryska je zobrazená rovnako na obrázku 20. Zvýraznená je zelenou farbou. Stav na obrázku 20 predstavuje spojenie všetkých súčiastok koncovky. Pre lepšiu predstavu o uložení súčiastok sú vybrané časti uvedené do priehľadného stavu aby bolo možné vidieť aj vnútorné rozloženie.



Obr. 20 Uloženie výstupnej trysky v časti koncovka

Pre správnu funkciu koncovky je nutné zabezpečiť správne vedenie výstupnej trysky v súčiastke objímka trysky, ktorá je na obrázku 19 označená číslom 1. Pre tento účel je zvolené uloženie H7/h6. Jedná sa o uloženie s nepatrnou vôľou, ktoré je po namazaní možné posúvať rukou [45].

Hodnoty odchýlok H7 pre dieru s menovitým priemerom 4 mm a h6 pre hriadeľ s menovitým priemerom 4 mm sú uvedené v tabuľke 4.1 podľa výberu z normy ČSN 01 4202.

Tab. 4.1 Hodnoty odchýlok H7 a h6 – podľa [45].

Menovitý rozmer J (mm)	H7 (μm)	h6 (μm)
cez 3 do 6	+12 0	0 -8

Výpočty medzných rozmerov a tolerančných polí sú získané aplikáciou vzťahov (4.1 až 4.6) [45]:

$$D_{max} = J + ES = 4 + 0,012 = 4,012 \text{ mm} \quad (4.1)$$

$$D_{min} = J + EI = 4 + 0 = 4 \text{ mm} \quad (4.2)$$

$$T = D_{max} - D_{min} = 4,012 - 4 = 0,012 \text{ mm} \quad (4.3)$$

$$d_{max} = J + es = 4 + 0 = 4 \text{ mm} \quad (4.4)$$

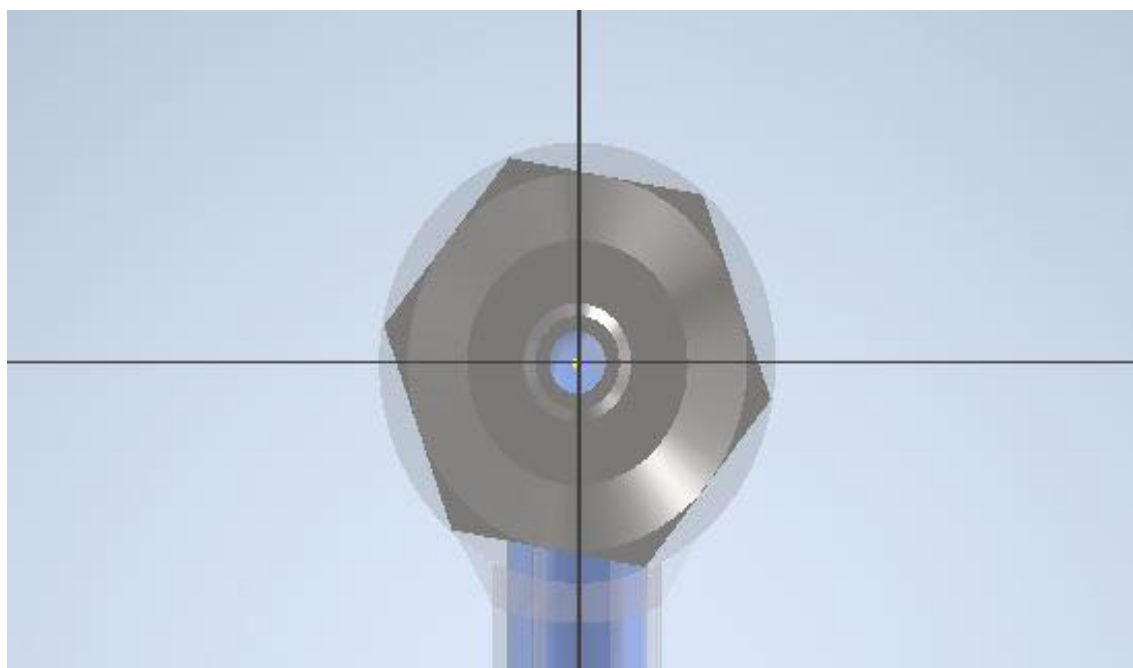
$$d_{min} = J + ei = 4 + (-0,008) = 3,992 \text{ mm} \quad (4.5)$$

$$t = d_{max} - d_{min} = 4 - 3,992 = 0,008 \text{ mm} \quad (4.6)$$

Kde [46]:

$D_{\max}$ [mm]	– horný medzný rozmer diery
J [mm]	– menovitý rozmer
ES [mm]	– horná odchýlka rozmeru diery
$D_{\min}$ [mm]	– dolný medzný rozmer diery
EI [mm]	– dolná odchýlka rozmeru diery
T [mm]	– rozmerová tolerancia diery
$d_{\max}$ [mm]	– horný medzný rozmer hriadeľa
es [mm]	– horná odchýlka rozmeru hriadeľa
$d_{\min}$ [mm]	– dolný medzný rozmer hriadeľa
ei [mm]	– dolná odchýlka rozmeru hriadeľa
t [mm]	– rozmerová tolerancia hriadeľa

Na základe uvedených výpočtov je možné konštatovať, že pri výrobe súčiastok objímka trysky a výstupná tryska existuje interval pre vôľu od 0-0,02 mm. V prípade vôľe 0 mm je možné na spojenie súčiastok použiť napríklad ručné kladívko, nakoľko by medzi súčiastkami neexistovala vôľa. Ďalšou súčiastkou s ktorou je výstupná tryska v kontakte je kryt trysky. Zaskrutkovaním krytu trysky do objímky trysky je dosiahnuté konečné uloženie výstupnej trysky. Pre kontaktné plochy spomenutých súčiastok sú predpísané hodnoty drsností povrchu Ra 1,6 z dôvodu ich utesnenia nakoľko počas prevádzky pieskovacieho zariadenia je tento priestor vyplnený vodou. Spojením vyššie spomenutých troch súčiastok vzniká priestor pre usmernenie výtoky vody von z koncovky a tak aj ku zabezpečeniu funkcie minimalizovania rozptylu nežiadúcich častíc do okolia. Na obrázku 21 je zobrazený kolmý pohľad na os trysky a spomenutý priestor v tvare medzikružia pre odtok vody.



Obr. 21 Pohľad kolmý na os trysky.

4.1 Voľba výrobných strojov

Vzhľadom na tvar vyrábanej súčiastky je možné zvažovať jej výrobu napríklad pomocou hrotového univerzálneho sústruhu alebo CNC sústruhu. Pre ďalšie potreby práce ako je technicko-ekonomické hodnotenie výroby danej súčiastky je zvolený CNC sústruh s označením CNC Spinner TC32-MC. Vďaka využitiu CNC sústruhu je možné vytvoriť program na obrábanie výstupnej trysky a tak získať presnú hodnotu času potrebného na jej výrobu. Uvedený sústruh je zobrazený na obrázku 22 a jeho technické parametre sú uvedené v tabuľke 4.2.



Obr. 22 CNC Spinner TC32-MC.

Tab. 4.2 Technické parametre CNC sústruhu CNC Spinner TC32-MC.

Parameter	Hodnota	Jednotka
Obežný priemer nad lôžkom	290	mm
Maximálny priemer sústruženia	120	mm
Maximálna dĺžka sústruženia	245	mm
Pojazd osy X	96	mm
Pojazd osy Z	245	mm
Rýchloposuv osy X	15	$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$
Rýchloposuv osy Z	24	$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$
Otáčky vretena	6000	min^{-1}
Priemer skľučovadla	125	mm
Vrtanie vretena	32	mm
Celkový počet nástrojov	12	-
Počet rotujúcich nástrojov	6	-
Rozmery stroja	2000x2000x2200	mm
Hmotnosť stroja	1400	kg

Ďalšou metódou zvolenou na výrobu výstupnej trysky je elektroerozívne obrábanie. Táto metóda je bližšie popísaná v kapitole 3.1.8. Elektroerozívne obrábanie je v tomto prípade využité na výrobu diery, ktorá prechádza celou súčiastkou. Jedná sa o dieru s priemerom 1 mm a dĺžkou 16,5 mm. Priemer najtenšej časti výstupnej trysky, do ktorej je táto diera vŕtaná dosahuje len 1,5 mm (viď výkresová dokumentácia v prílohe 2). Použitie konvenčnej metódy ako je vŕtanie pomocou vŕtákov je v tomto prípade ťažko realizovateľné vzhľadom na malý priemer trysky a požadovanú dieru kedy jej rozmer dosahuje hodnotu až 16D. Stroj použitý na výrobu diery je uvedený na obrázku 23 a jeho parametre uvedené v tabuľke 4.3. Jedná sa o „*Electric Discharge Machining*“ (voľný preklad elektroerozívnu vŕtačku) od spoločnosti PENTA s označením P-2030 CNC. Výroba daného otvoru je realizovaná v kooperácii.

Tab. 4.3 Technické parametre EDM vŕtačky P-2030 CNC [47].

Parameter	Hodnota	Jednotka
Pojazd X osy	300	mm
Pojazd Y osy	200	mm
Pojazd Z osy	345	mm
Veľkosť pracovného stola	210x460	mm
Svetlosť vodítko-stôl	200	mm
Priemer elektródy	0,2-3	mm
Vonkajšie rozmery	1000x1020x2070	mm
Maximálna dĺžka elektródy	400	mm
Hmotnosť stroja	600	kg
Presnosť polohovania	0,005	mm



Obr. 23 EDM zariadenie P-2030 CNC [47].

Z údajov uvedených v tabuľke 4.3 je možné konštatovať, že dané zariadenie je schopné vyrobiť aj diery s menšími priermi a väčšími dĺžkami, ako je požadované pri výrobe diery v súčiastke výstupná tryska.

4.2 Voľba výrobných nástrojov

Rezný nástroj pre výrobu výstupnej trysky je volený na základe typu obrábaného materiálu a rozmerov súčiastky. Pri sústružení je potrebné zohľadniť jej najmenší priemer, ktorý činí len 1,5 mm. Z tohto dôvodu je zvolený nástroj s nástrojovým uhlom nastavenia hlavného ostria (κ_r) blízky hodnote 90° , aby výsledná pasívna sila pôsobiaca na obrobok bola čo najnižšia. Zvolený nástroj je v tomto prípade sústružnícka nástrojová doštička od firmy SANDVIK Coromant s označením DCMX 11 T3 04-WM 2015. Nástroj je zo spekaného karbidu a povlakovaný CVD povlakom. Je vhodný pre dokončovanie a pre ľahké hrubovanie austenitických ocelí. Údaje o nástroji sú uvedené v tabuľke 4.4 a samotný nástroj je zobrazený na obrázku 24.

Tab. 4.4 Údaje o nástroji.

Parameter	Popis/Hodnota
účinná dĺžka reznej hrany	11,2279 mm
polomer rohu (špičky)	0,3969 mm
uhol chrbta	7°
základný materiál	spekaný karbid
povlak	CVD TiCN+Al ₂ O ₃ +TiN
hmotnosť	0,0045 kg
uhol hlavnej reznej hrany nástroja	93°



Obr. 24 Sústružnícka nástrojová doštička DCMX 11 T3 04-WM 2015 [48].

Rezný nástroj je upnutý do stopkového sústružníckeho držiaku s označením SDJCL 1212F 07 a SDJCR 1212F 07 rovnako od firmy SANDVIK Coromant. Na upichnutie obrobku je zvolený nástroj s označením N123T3-0140-0000-GS 1125, ktorý je vhodný pre upichovanie súčiastok s priemerom do 5,4 mm. Daný nástroj je upnutý v držiaku s označením LF123U023-08BM. Nástroj spolu s držiakom sú výrobkami firmy SANDVIK Coromant.

4.3 Technologický postup

Technologický postup obsahuje nutný sled operácií pre zamýšľané zmeny na pracovnom predmete [49].

Technologický postup súčiastky výstupná tryska je uvedený v tabuľke 4.5.

Tab. 4.5 Technologický postup výroby výstupnej trysky.

VUT FSI ÚST BRNO		Technologický postup		Názov súčiastky: Výstupná tryska 02	Číslo výkresu: A4/02			
Dňa: 16.5.2021		Vyhotožil: Ján Husár		Polotovár: Ø4,5x-1000 ČSN 42 5510.10				
Číslo op. poradové:	Názov, označenie stroja, zariadenia, pracovisko:	Dielňa	Popis práce v operácii:	Výrobné nástroje, prípravky, meradlá, pomôcky:	v_c [m.min ⁻¹]	f [mm]	a_p [mm]	n [min ⁻¹]
01/01	Sklad	Sklad	Pripraviť prírezy s tyčoviny	Pásová píla, zverák, posuvné meradlo	-	-	-	-
02/02	CNC Sústruh CNC Spinner TC32-MC	Obrobňa	Prírez zasunúť do skľučovadla ponechať dĺžku 35 vonku a upnúť za Ø4,5. Chladiť	Posuvné meradlo	-	-	-	-
				Trojčelust'ové skľučovadlo				
				Mikrometer				
			Zarovnať čelo	VBD DCMX 11 T3 04-WM 2015	-	0,15	0,5	6000
				Držiak SDJCL 1212F 07				

02/02	CNC Sústruh CNC Spinner TC32-MC	Obrobňa	Sústružiť Ø1,5, Ø1,9h7 a ponechať prídavok 0,5 na Ø1,9h7 na dokončenie	VBD DCMX 11 T3 04-WM 2015	-	0,15	1.5	6000
				Držiak SDJCL 1212F 07				
			Dokončiť Ø1,9h7,Ø4h6 a zraziť 0,2x45°	VBD DCMX 11 T3 04-WM 2015	-	0,12	0,5	6000
				Držiak SDJCL 1212F 07				
			Sústružiť kužeľovú plochu, Ø2 a zraziť 0,2x45°	VBD DCMX 11 T3 04-WM 2015	-	0,15	1	6000
				Držiak SDJCR 1212F 07				
03/03	CNC Sústruh CNC Spinner TC32-MC	Obrobňa	Upichnúť súčiastku v dĺžke 16,5	VBD N123T3-0140-0000-GS 1125	-	0,05	2,7	500
				Držiak LF123U023-08BM				
04/04	Kontrola	Kontrola	Kontrola rozmerov Ø1,9h7,Ø4h6 a celková dĺžka	Mikrometer	-	-	-	-
05/05	EDM vrtáčka P-2030 CNC	EDM Kooperácia	Elektroerozí vne vrtanie diery 1 mm v dĺžke 16 mm	Grafitová elektróda Ø1 dĺžka 16,5	-	3,5	-	-
06/06	Kontrola	Kontrola	Kontrola priemeru diery 1 mm	Kontrolný kaliber na diery	-	-	-	-

Pozn.: Pri grafitovej elektróde je hodnota posuvu uvedená ako stredná rýchlosť posuvu v_s v jednotkách $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$.

Hodnoty jednotlivých parametrov uvedených v technologickom postupe vychádzajú z hodnôt pre rezný nástroj, ktoré sú odporúčané výrobcom. Pre nástroj použitý na sústruženie sú hodnoty nasledovné:

- šírka záberu hlavného ostria (a_p) – 0,5-4 mm, odporúčaná hodnota 1,5 mm,
- posuv na otáčku (f) – 0,12-0,4 mm, odporúčaná hodnota 0,25 mm,
- rezná rýchlosť (v_c) – 290-180 m min^{-1} , odporúčaná hodnota 230 m min^{-1} .

Rozmery súčiastky výstupná tryska sú rádovo v jednotkách milimetrov. Preto je nutné využiť maximálnych otáčok vretena CNC sústruhu. CNC sústruh použitý na výrobu súčiastky je vybavený riadiacim systémom SINUMERIK 810d od spoločnosti Siemens. V prílohe 5 sú uvedené časti programu vytvorené v softvéri SinuTrain, ktorý slúži na plánovanie operácií, tréning a školenia a je určený pre SINUMERIK. Dokončovacia operácia z tabuľky 4.5, kedy je využitý minimálny posuv na otáčku f , je uvedená v prílohe 5. Hodnota posuvu na otáčku pri dokončovacej operácii je nastavená na základe výpočtu.

Výpočet teoretickej hodnoty drsnosti povrchu R_{at} pre dokončovanie je uvedený vo vzťahoch (4.7) a (4.8) [50].

$$R_{at} = \frac{10^3 \cdot r_\varepsilon^2 \cdot (2 \cdot \alpha_A - \sin 2\alpha_A)}{f} \quad (4.7)$$

$$\alpha_A = \arccos \left[\frac{r_\varepsilon}{f} \cdot \left(\arcsin \frac{f}{2r_\varepsilon} + \frac{f}{4r_\varepsilon^2} \cdot \sqrt{4r_\varepsilon^2 - f^2} \right) \right] \quad (4.8)$$

Kde [49]:

R_{at} [μm]	– teoretická priemerná aritmetická odchýlka profilu drsnosti,
r_ε [mm]	– polomer špičky,
α_A [rad]	– uhol pre výpočet R_{at} ,
f [mm]	– posuv na otáčku.

$$R_{at} = \frac{10^3 \cdot r_\varepsilon^2 \cdot (2 \cdot \alpha_A - \sin 2\alpha_A)}{f} = \frac{10^3 \cdot 0,4^2 \cdot (2 \cdot 0,09337 - \sin 2 \cdot 0,09337)}{0,12} = 1,4446 \mu\text{m}$$

$$\begin{aligned} \alpha_A &= \arccos \left[\frac{r_\varepsilon}{f} \cdot \left(\arcsin \frac{f}{2r_\varepsilon} + \frac{f}{4r_\varepsilon^2} \cdot \sqrt{4r_\varepsilon^2 - f^2} \right) \right] \\ &= \arccos \left[\frac{0,4}{0,12} \cdot \left(\arcsin \frac{0,12}{2 \cdot 0,4} + \frac{0,12}{4 \cdot 0,4^2} \cdot \sqrt{4 \cdot 0,4^2 - 0,12^2} \right) \right] \\ &= 0,09337 \text{ rad} \end{aligned}$$

Z uvedeného výpočtu vyplýva, že pomocou rezného nástroja DCMX 11 T3 04-WM 2015 je pri minimálnom odporúčanom posuve na otáčku 0,12 mm teoreticky možné dodržať hodnotu priemernej aritmetickej odchýlky profilu drsnosti R_a 1,6 μm . Hotová súčiastka výstupná tryska je zobrazená na obrázku 25 a 26.



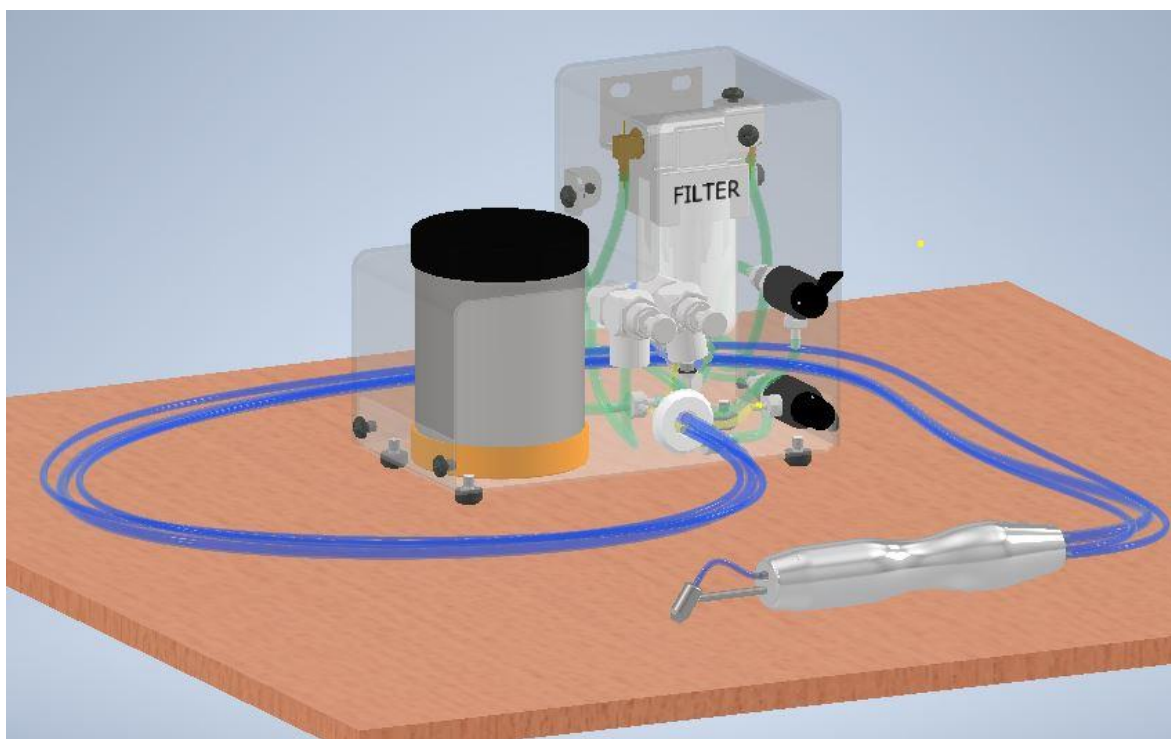
Obr. 25 Hotová súčiastka výstupná tryska 1.



Obr. 26 Hotová súčiastka výstupná tryska 2.

5 TECHNICKO-EKONOMICKÉ HODNOTENIE

V rámci tejto kapitoly sú uvedené technické a ekonomické hodnotenia pre dané zariadenie. Z technického hľadiska je súčiastka výstupná tryska určením stupňa využitia a normy spotreby materiálu. Na základe týchto ukazovateľov je možné posudzovať náročnosť výroby súčiastky. Ďalej je posudzované technicko-ekonomické hľadisko pre celé zariadenie. Nakoľko je pri tvorbe práce vyrobená len vybraná súčiastka, technicko-ekonomické hodnotenie celého prototypu je realizované na základe približných cien vyrábaných komponentov a cien reálnych súčiastok sprostredkovaných dodávateľmi. Kompletný model prototypu je vytvorený v programe Autodesk Inventor Professional 2021 v študentskej verzii a je uvedený na obrázku 27. Pre lepšiu predstavu o vnútornej dispozícii zariadenia sú súčiastky kryt1 a základňa1 (viď príloha 3) uvedené do priehľadného stavu.



Obr. 27 Celkový pohľad na prototyp zubárskeho pieskovacieho zariadenia.

5.1 Technické hodnotenie súčiastky výstupná tryska

Technické hodnotenie výstupnej trysky je založené na norme spotreby materiálu, ktorá je daná vzťahom 5.1 a stupňom využitia materiálu daným vzťahom 5.2. V bežnej praxi sú hodnoty využitia materiálu pri obrábacích procesoch v intervale od 0,4-0,8 [49].

$$N_m = Q_s + z_m \quad (5.1)$$

$$k_m = \frac{Q_s}{N_m} \quad (5.2)$$

Kde [49]:	N_m [kg · ks ⁻¹]	– norma spotreby materiálu
	Q_s [kg]	– čistá hmotnosť súčiastky
	z_m [kg · ks ⁻¹]	– celkové straty pri výrobe súčiastky obrábaním
	k_m [-]	– koeficient využitia materiálu

Hmotnosť uvedenej súčiastky je určená pomocou vyššie spomenutého programu a jej hodnota je 0,000983 kg pri hustote austenitickej nerezovej oceli 8 g · cm⁻³. Bežne dostupné dĺžky polotovarov od výrobcov sú 3000 mm a 6000 mm. Existuje možnosť narezania polotovaru na požadovanú dĺžku. Spravidla je minimálna dĺžka dodávaného polotovaru 1000 mm. Pre zhodnotenie využitia materiálu pre výrobu výstupnej trysky je počítané práve s dĺžkou 1000 mm, nakoľko sa jedná o výrobu prototypu zariadenia a nie o jeho kusovú prípadne sériovú výrobu. Zvoleným polotovarom je austenitická oceľ s označením ČSN 17240. Polotovar je ťahaná guľatina o priemere 4,5 mm a už spomenutej dĺžke 1000 mm. Celková dĺžka súčiastky je 16,5 mm. Po pripočítaní prídavkov na zarovnanie čela (0,5 mm) a upichnutie (1,4 mm) je celková výsledná dĺžka 18,4 mm. Počet kusov, ktoré je možné z uvedeného polotovaru vyrobiť je daný vzťahom (5.3).

$$n = \frac{1000}{18,4} = 54,3 \rightarrow 54 \text{ ks} \quad (5.3)$$

Celkové straty pri výrobe súčiastky obrábaním sú dané vzťahmi (5.4) až (5.8) [49].

$$z_m = q_k + q_u + q_o \quad (5.4)$$

$$q_k = \frac{Q_k}{n} \quad (5.5)$$

$$Q_k = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot l_k \cdot \rho \quad (5.6)$$

$$q_u = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot l_u \cdot \rho \quad (5.7)$$

$$q_o = Q_p - Q_s \quad (5.8)$$

$$Q_k = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot l_k \cdot \rho_{austenit} = \frac{\pi \cdot 0,0045^2}{4} \cdot 0,0184 \cdot 8000 \doteq 2,340 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$$

Straty z nevyužitého konca tyče sú vypočítané dosadením do vzťahu (5.5).

$$q_k = \frac{Q_k}{n} = \frac{0,00234}{54} = 4,333 \cdot 10^{-5} \text{ kg}$$

$$q_u = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot l_u \cdot \rho_{austenit} = \frac{\pi \cdot 0,0045^2}{4} \cdot 0,0014 \cdot 8000 \doteq 1,781 \cdot 10^{-4} \text{ kg}$$

$$q_o = Q_p - Q_s = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot l_p \cdot \rho_{austenit} - Q_s = \frac{\pi \cdot 0,0045^2}{4} \cdot 0,0165 \cdot 8000 - 0,000983 \\ = 1,116 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$$

Celkové straty vzniknuté obrábaním je možné vypočítať dosadením do vzťahu (5.4).

$$z_m = q_k + q_u + q_o = 4,333 \cdot 10^{-5} + 1,781 \cdot 10^{-4} + 1,116 \cdot 10^{-3} = 1,337 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$$

Konečnými výsledkami výpočtov je dosadenie do vzťahov (5.1) a (5.2).

$$N_m = Q_s + z_m = 0,000983 + 0,001337 = 2,320 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$$

$$k_m = \frac{Q_s}{N_m} = \frac{0,000983}{0,002320} = 0,424$$

Kde [49]:

q_k [kg]	– straty vzniknuté z nevyužiteľného konca tyče
q_u [kg]	– straty vzniknuté delením tyče
q_o [kg]	– straty vzniknuté obrábaním polotovaru
Q_k [kg]	– hmotnosť polotovaru s prídavkami
l_k [m]	– dĺžka polotovaru s prídavkami
l_u [m]	– dĺžka upichnutia
Q_p [kg]	– hmotnosť polotovaru
l_p [m]	– dĺžka čistého polotovaru

Na základe vypočítaného koeficientu využitia materiálu je možné konštatovať, že výroba danej súčiastky pri daných rozmeroch a zvolenom polotovare spadá do intervalu uvedeného na začiatku tejto kapitoly.

5.2 Technicko-ekonomické hodnotenie prototypu pieskovacieho zariadenia

Technicko-ekonomické hodnotenie kompletného prototypu zariadenia je založené na výkresovej dokumentácii a 3D modeloch, ktoré dokopy tvoria celé zariadenie. Ceny súčiastok, ktoré sú vyrábané sústružením, frézovaním a vŕtaním sú vytvorené v spolupráci s firmou Mechen Production s.r.o. Ceny súčiastok pri ktorých sú využívané technológie delenia materiálu laserom, zvarovania laserom, elektroerozívne obrábanie a ohýbanie plechu sú uvedené po konzultáciách s firmami, ktoré disponujú danými technológiami. Ceny hotových komponentov ako sú napríklad regulačné ventily alebo odlučovač vlhkosti sú uvedené po ich nadopytovaní od výrobcov, ktorý nimi disponujú v ich portfóliu. Jednotlivé časti zariadenia je podľa ich zaobstarania možné rozdeliť na:

- súčiastky vyrábané,
- súčiastky vyrábané v kooperácii,
- komponenty zakúpené.

V tabuľke 5.1 sú uvedené jednotlivé súčiastky, spôsob ich zaobstarania, počty a cena za 1 kus a pri vyrábaných súčiastkach číslo výkresu.

Pre lepšiu prehľadnosť je tabuľka farebne rozlíšená podľa spôsobu ich zaobstarania na:

- vyrábané súčiastky – modrá,

- súčiastky vyrábané v kooperácií – zelená,
- súčiastky zakúpené – oranžová.

Tab. 5.1 Súčiastky, číslo výkresu, spôsob obstarania, počty, ceny za kus.

Názov súčiastky	Číslo výkresu/kódové označenie	Spôsob obstarania	Počet	Cena za kus
Drziak	A4/16	výroba	1	890 CZK
Kryt trysky	A4/01	výroba	1	635 CZK
Kuzelova koncovka 1	A4/06	výroba	1	635 CZK
Kuzelova spojka	A4/15	výroba	1	254 CZK
Mala trubka koncovky	A4/07	výroba	1	254 CZK
Nadoba piesok	A4/18	výroba	1	890 CZK
Objimka 2 diery	A4/17	výroba	2	584 CZK
Objimka trysky	A4/04	výroba	1	508 CZK
Spojka hubica hadice	A3/05	výroba	1	254 CZK (montáž)
Spojka telo	A4/10	výroba	1	890 CZK
Tyc hruba	A4/08	výroba	1	203 CZK
Tyc tenka	A4/09	výroba	1	127 CZK
Velka trubka koncovky	A4/03	výroba	1	203 CZK
Vodna trubicka 2	A4/12	výroba	1	76 CZK
Vodna trubicka	A4/14	výroba	2	76 CZK
Vrchnak nadoby	A4/19	výroba	1	635 CZK
Vystupna tryska 02	A4/02	výroba	1	762 CZK
Vzduch piesok trubicka	A4/13	výroba	1	152 CZK
Zmiesavac spojky	A4/11	Výroba	1	254 CZK
Koncovka+hubica	A3/08	Výroba	1	127 CZK (montáž)
Kryt 1	A3/02	kooperácia	1	380 CZK
L zakladna1 kryt1	A4/20	kooperácia	3	64 CZK
Zakladna 1	A3/01	kooperácia	1	508 CZK
Zvarena trubka objimka	A4/05	kooperácia	1	381 CZK
Odlučovač vlhkosti	EIF 2000-02	nákup	1	400 CZK

Upevňovací uholník	W EI2000	nákup	1	91 CZK
Regulačný ventil	Jfc-2b	nákup	2	1224 CZK
Výpust kondenzátu	M-MAV-2	nákup	1	632 CZK
Pneumatický prepínač	M-TV-2S	nákup	1	722 CZK
Pneumatický T spoj	T33-3-PKG	nákup	2	635 CZK
Spojka stomatologickej sústavy	Midwest konektor	nákup	1	445 CZK
Gumené tesnenie	510391	nákup	1	20 CZK
Protišmyková noha	RI-TB-4	nákup	4	25 CZK
Uhlové skrutkovanie	302.02.04.14	nákup	2	Spolu 1270 CZK
Priame skrutkovanie	302.01.04.M5	nákup	6	
Skrutky s valcovou hlavou	ISO 7045 – M4x5 – 4.8 - H	nákup	10	32 CZK / 100ks
Spojovacie hadice	Hadica silikónová d4x2 – 3000 mm	nákup	1	140 CZK

Pri súčiastkach vyrábaných sú v uvedených cenách započítané aj náklady na nástrojové vybavenie. Jedná sa o výsledné ceny výroby bez zisku firmy. Rovnako je tomu aj u súčiastkach vyrábaných v kooperácii. Ceny nakupovaných komponentov sú uvedené bez nákladov na ich dopravu. Rozloženie nákladov z hľadiska ich rozdelenia medzi výrobu, kooperáciu a nákup je uvedené v grafe na obrázku 28.



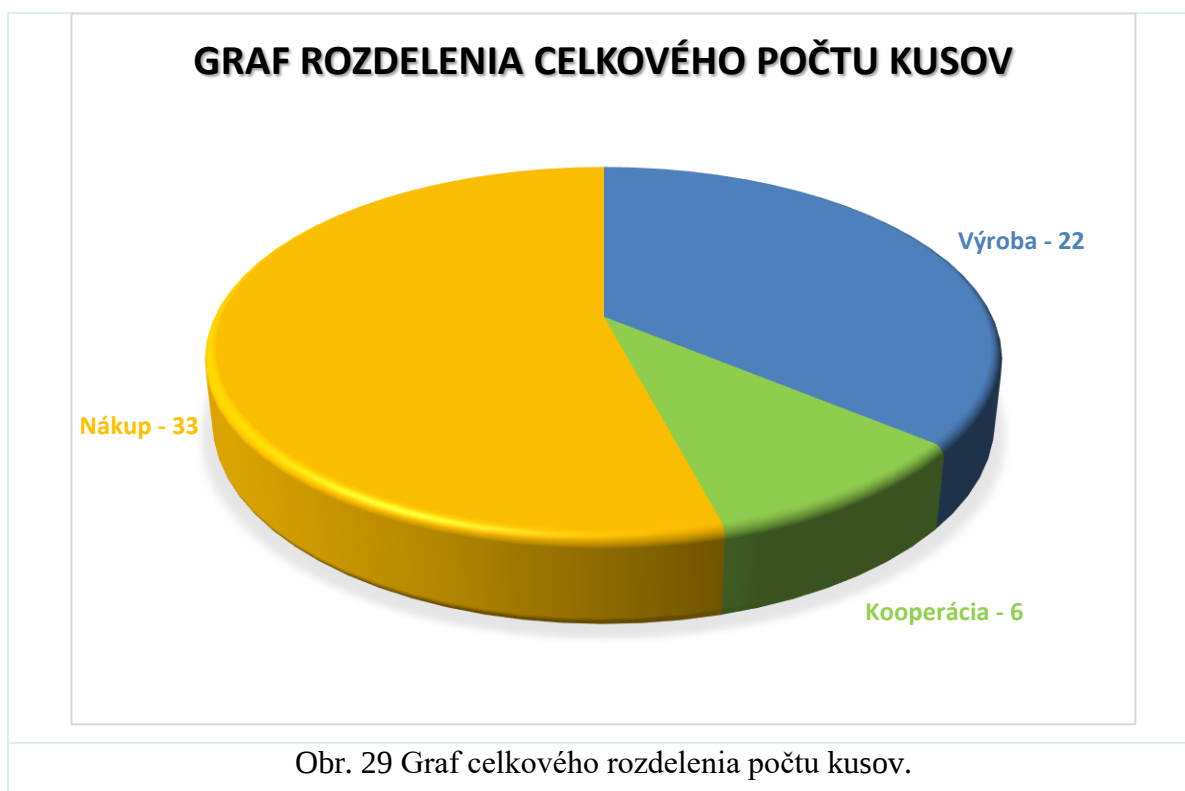
Obr. 28 Graf rozdelenia nákladov.

Náklady na výrobu rozdelené medzi výrobu, kooperáciu a nákup v celkových sumách a počtoch kusov vrátane celkovej sumy za celé zariadenie sú uvedené v tabuľke 5.2. Ceny komponentov sú uvedené v CZK. Pôvodné ceny v eurách sú prepočítané podľa kurzu České Národní Banky zo dňa 17.5.2021 kedy 1 € = 25,495 CZK.

Tab. 5.2 Celkové náklady.

Dodanie	Celkový počet kusov	Celková suma
Výroba	22	9069 CZK
Kooperácia	6	1461 CZK
Nákup	33	7570 CZK
Spolu		18100 CZK

Počty kusov, ktoré sú zabezpečované výrobou, kooperáciou a nákupom sú zobrazené v grafe na obrázku 29.



Z uvedených grafov a tabuliek vyplýva, že najvyššie náklady (50 %) na výrobu zariadenia tvorí výroba súčiastok. Významnú položku tvoria nakupované komponenty (42 %) a najmenšiu časť nákladov tvoria komponenty vyrábané v kooperácii. Z hľadiska počtu je najviac komponentov nakupovaných. Vyrábaných kusov je o tretinu menej a kooperácia tvorí približne 10 % všetkých kusov potrebných na výrobu dentálneho pieskovacieho zariadenia.

6 DISKUSIA

Navrhnutý prototyp zubárskeho pieskovacieho zariadenia je z pohľadu cien uvedených pri ostatných zariadeniach (viď kapitola 1.3) na nadpriemernej úrovni. Treba však podotknúť, že spomenuté zariadenia sa medzi sebou líšia z hľadiska ich používania (viď kapitola 1.2). Je preto nutné uviesť, že zariadenie navrhnuté v tejto práci, je určené na pieskovanie priamo v ústnej dutine pacienta, prípadne technikou „In House“ (viď kapitola 1.2). Pri tomto type je potrebné použiť okrem prívodu zmesi vzduchu a abrazíva aj prívod vody, čo celé zariadenie komplikuje a tým rastie aj jeho cena. Ďalším faktorom ovplyvňujúcim výslednú cenu pri vyrábaných súčiastkach je nutnosť použitia ocele, ktorá je normou ČSN EN ISO 7153-1 (Chirurgické nástroje – Časť 1: Kovy) daná, ako vhodná pre využitie na dentálne pomôcky a chirurgické nástroje. V prípade spracovávaného prototypu je to austenitická oceľ s označením ČSN 17240. Cena nerezových ocelí je všeobecne vyššia ako napríklad konštrukčných ocelí, ktoré by pri využití mimo ústnu dutinu pacienta mohli byť využité na výrobu častí zubárskeho pieskovacieho zariadenia. Významný vplyv na výslednú cenu majú nakupované položky (viď obrázok 28 a tabuľka 5.1). Jedná sa hlavne o prvky zabezpečujúce reguláciu médií podieľajúcich sa na procese pieskovania. Rovnako pomerne vysoké náklady sú pri prvkoch zabezpečujúcich spojenie systému pomocou hadíc ako sú redukčné T fitinky alebo priame a uhlové skrútkovania. Možnosť zníženia nákladov na dané prvky je napríklad v ich nákupe vo väčších množstvách alebo zmene dodávateľa. Nakoľko sa ale jedná o súčiastky rádovo v jednotkách až desiatkach milimetrov určených na presnú reguláciu malých pneumatických systémov, množstvo výrobcov s portfóliom určeným na danú oblasť je pomerne malé.

6.1 Návrh ďalšieho postupu

Na základe výkresovej dokumentácie, ktorá je uvedená v prílohách 1 až 5 je možné konštatovať, že všetky súčiastky, ktoré sú nutné pre zostavenie prototypu zariadenia sú vyrobiteľné. Rovnako sú dostupné a dohľadané aj potrebné regulačné prvky a ostatné komponenty potrebné pre správne fungovanie. Preto v nadväznosti na túto prácu sa ako vhodná voľba javí vyrobenie ostatných súčiastok a zaobstaranie nakupovaných komponentov. Možnosť vytvorenia jednotlivých častí zariadenia ako sú hubica, koncovka a zariadenie je overené pomocou zostavenia 3D modelov. Po výrobe celého prototypu je dôležité odskúšať správnosť jeho fungovania a funkčnosť jednotlivých prvkov. Toto odskúšanie je nutné realizovať v spolupráci s dentistou pri vhodných aplikáciách, kde nedochádza k interakcii s pacientom. V prípade úspešných skúšok zariadenia a jeho správneho fungovania je nevyhnutnou požiadavkou pre používanie v zubárskej praxi jeho certifikácia príslušnými orgánmi. V prípade funkčného a certifikovaného zariadenia sa ako ďalšia voľba javí jeho kusová, prípadne sériová výroba kvôli zníženiu celkových nákladov a následný predaj na trhu s dentálnymi pieskovacími zariadeniami.

ZÁVER

Predmetom diplomovej práce na tému návrh prototypu zubárskeho pieskovacieho zariadenia je zostavenie kompletného 3D modelu. Celkový model je rozdelený do troch podzostáv. Všetky tri podzostavy a nároky na nich kladené sú podrobne rozobrané vrátane popisu technológií potrebných na ich realizáciu. Práca je doplnená o technicko-ekonomické hodnotenie zvoleného variantu. Pri navrhovaní prototypu zariadenia je braný dôraz na požiadavky zubného lekára a jeho skúsenosti z praxe. Súčiastka, ktorej technologický postup a výroba je v práci spracovaná je rovnako navrhnutá v spolupráci so zubným lekárom.

Medzi hlavné výstupy tejto práce je možné zaradiť:

- prototyp zubárskeho pieskovacieho zariadenia bol kompletne navrhnutý a jeho zmontovateľnosť overená pomocou 3D CAD softvéru,
- na výrobu kompletného zariadenia je potrebné využiť technológie sústruženia, frézovania, rezania závitov, vŕtania, zvarovania a delenia materiálu pomocou laseru, ohýbania plechov a elektroerozívneho obrábania,
- pre súčiastku „Výstupná tryska 02“ bol vytvorený výrobný postup, CNC program a následne bola realizovaná jej výroba,
- koeficient využitia materiálu navrhutej výstupnej trysky je 0,424,
- na kompletnú realizáciu prototypu je potrebných celkovo 61 komponentov, z toho 33 je možné zabezpečiť výrobou na sústružníckych a frézovacích strojoch, 8 je nutné vyrobiť v kooperácii a ostatných 22 je nakupovaných,
- najvyššie náklady na zariadenie tvoria vyrábané súčiastky (50 %), nasledujú náklady na nakupované komponenty (42 %) a nakoniec súčiastky vyrábané v kooperácii (8 %),
- celkové odhadované náklady na zariadenie predstavujú 18100 CZK.

ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV

1. CHORVÁT, Juraj. *Problematika zubného pieskovania* [rozhovor] 5.2.2021.
2. JOHNSON, T., D. G. PATRICK, Ch. W. STOKES, D. G. WILDGOOSE a D. J. WOOD. *Basics of dental technology: a step by step approach*. Second edition. Hoboken, NJ, USA: John Wiley, 2015. ISBN 978-111-8886-212.
3. SVOBODOVÁ, Kamila. *Estetické výkony v ordinaci dentální hygienistky*. Praha, 2018. Bakalářská práce. UNIVERZITA KARLOVA 3. LÉKAŘSKÁ FAKULTA. Vedoucí práce MUDr. Olga Jiroutová.
4. Practice Tips 36: Handpiece Couplers- The ABC's Of ISO. *Adai: American Dental Accessories. INC.* [online]. 28.7.2011 [cit. 2021-03-28]. Dostupné z: <https://www.amerdental.com/blog/tech-tips-36/>
5. Pieskovače. *STOMANET.EU* [online]. Poprad [cit. 2021-03-28]. Dostupné z: <https://stomanet.eu/pieskovace-100>
6. Dental Sandblasters. *VANIMAN* [online]. Murrieta, 2020, 2020 [cit. 2021-03-28]. Dostupné z: <https://www.vaniman.com/dental-micro-abrasive-sand-blasters/>
7. Opracovanie, čistenie a dezinfekcia. *JARIDENT: Zubná technika 2020* [online]. Poprad, 2020 [cit. 2021-03-28]. Dostupné z: <https://www.jarident.sk/wp-content/uploads/2019/07/Zubna-technika-2020.pdf>
8. Dental Lab Cleaning Sandblasting Tank Scaler Polishing Unit 4 Holes Connection. *DentaLinBox* [online]. Albany [cit. 2021-03-28]. Dostupné z: <https://www.dentalinbox.com/product/dental-lab-cleaning-sandblasting-tank-scaler-polishing-unit-4-holes-connection/>
9. AQUACARE SINGLE. *Dentonet* [online]. Prešov, 2021 [cit. 2021-5-16]. Dostupné z: <https://www.dentonetsro.sk/tovar/392/aquacare-single>
10. Pneumatic micro-sandblasters. *Medical EXPO* [online]. [cit. 2021-03-28]. Dostupné z: <https://www.medicalexpo.com/medical-manufacturer/pneumatic-micro-sandblaster-32348.html>
11. KOPÁČEK, Jaroslav. *Pneumatické mechanismy*. 2. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita, 2005. ISBN ISBN978-80-248-0879-6.
12. Eric R. W. Sandblasting 101: The Basics of Sandblasting. *Sandblasterinfo* [online]. 2014, 2014 [cit. 2021-03-29]. Dostupné z: <https://www.sandblasterinfo.com/sandblast-101-free.pdf>
13. ŠOB, František. *Hydromechanika*. Brno: Akademické nakladatelství CERM s.r.o, 2002, 238 s. : il. ISBN 80-214-2037-5.
14. Building a Pressure Sandblaster. In: *HobbyZeal* [online]. Irvine [cit. 2021-03-29]. Dostupné z: <https://hobbyzeal.com/how-to-build-sandblaster>
15. ŠUPÁK, Marian a Jitka ALMÁŠIOVÁ. *Pneumatické mechanismy* [online]. Bratislava: Metodicko-pedagogické centrum v Bratislave, 2012 [cit. 2021-03-29]. ISBN 978-80-8052-427-2. Dostupné z: https://encyklopediapoznania.sk/data/eknihy/pneumatika/pneumaticke_mechanizmy.pdf

16. S320TR: Advanced dental machine. *STERN WEBER* [online]. Imola, 2017 [cit. 2021-04-06]. Dostupné z: <https://www.sternweber.it/en/integrated-treatment-centres/serie-tr/s320tr/>
17. STERN WEBER: downloads. *STERN WEBER* [online]. Imola, 2017-03 [cit. 2021-04-06]. Dostupné z: <https://www.sternweber.it/en/downloads/>
18. TAHA, Zahari, Hassan ALLI a Salwa Hanim Abdul RASHID. Users Involvement in New Product Development Process: A Designers' Perspectives. *Industrial Engineering and Management Systems* [online]. 2011, 10(3), 191-196 [cit. 2021-04-06]. ISSN 1598-7248. Dostupné z: doi:10.7232/iems.2011.10.3.191
19. BABJAK, Štefan. *Základy navrhovania výrobkov pre automobilový priemysel* [online]. Košice: Technická univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta, 2010 [cit. 2021-04-06]. ISBN 978-80-553-0564-6. Dostupné z: https://www.sjf.tuke.sk/kav/images/skript_stud_mat/znv.pdf
20. KOCMAN, Karel a Jaroslav PROKOP. *Technologie obrábění*. Brno: CERM, 2001. ISBN 80-214-1996-2.
21. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.
22. ŘASA, Jaroslav a Vladimír GABRIEL. *Strojírenská technologie 3*. 2. vyd. Praha: Scientia, 2005. ISBN 80-718-3337-1.
23. LENFELD, Petr. *Technologie II*. Vyd. 2. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2009. ISBN 978-80-7372-466-5.
24. MARCINIAK, Zdzisław. *Teorie tváření plechů*. Praha: STÁTNÍ NAKLADATELSTVÍ TECHNICKÉ LITERATURY, 1964. 2-526.
25. DVOŘÁK, Milan. *Technologie II*. Vyd. 3., dopl., v Akademickém nakl. CERM 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2683-7.
26. Rezanie Laserom. *MIGOLI* [online]. Raslavice, 2021, 2021 [cit. 2021-04-12]. Dostupné z: <https://www.rezanielaser.sk/>
27. KUBÍČEK, Jaroslav. TECHNOLOGIE II ČÁST SVAŘOVÁNÍ - 2: SPECIÁLNÍ METODY TAVNÉHO SVAŘOVÁNÍ. *ODBOR SVAŘOVÁNÍ: ODBOR TECHNOLOGIE SVAŘOVÁNÍ A POVRCHOVÝCH ÚPRAV* [online]. Brno: VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ, 2018 [cit. 2021-04-13]. Dostupné z: <http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/5te technologie II opora svarovani 20 18 II kubicek.pdf>
28. Rezanie plechu laserom, rezanie konštrukčnej a nerezovej ocele, hliníka. *PMR* [online]. Martin, 2019, 2019 [cit. 2021-04-13]. Dostupné z: <https://www.pmr.sk/rezanie-plechu-laserom-rezanie-konstrukcnej-a-nerezovej-oceli-hlinika/>
29. KOVAŘÍK, Rudolf a František ČERNÝ. *Technologie svařování*. 2. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000. ISBN 80-708-2697-5.
30. SIGMUND, Marian. *3. Šíření tepla ve svarovém spoji*. FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ, 2021.

31. ERDEM, Mehmet, Mehmet ALTUĞ a Mustafa KARABULUT. Investigation of mechanical, microstructural, and machining properties of AISI 420 martensitic stainless steel welded by laser welding. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* [online]. London: Springer London, 2016, 85(1-4), 481-492 [cit. 2021-04-17]. ISSN 0268-3768. Dostupné z: doi:10.1007/s0170-015-7924-2
32. ŘASA, Jaroslav, Přemysl POKORNÝ a Vladimír GABRIEL. *Strojírenská technologie* 3. 2. vyd. Praha: Scientia, 2005. ISBN 80-718-3336-3.
33. NĚMEC, Dobroslav. *Základy výrobních technologií*. Vyd. 4., nezměn. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2005. ISBN 80-731-8358-7.
34. NEREZOVÁ OCEL A ROVNOVÁHA KLÍČOVÝCH FAKTORŮ PŘI JEJÍM OBRÁBĚNÍ. *SECO* [online]. 2020 [cit. 2021-04-19]. Dostupné z: <https://www.secotools.com/article/21497?language=cs>
35. KOROZIVZDORNÁ OCEL. DORMER PRAMET [online]. [cit. 2021-04-19]. Dostupné z: <https://www.dormerpramet.com/cs-cz/newssite/Documents/Korozivzdorn%C3%A1%20ocel.pdf>
36. DORAZIL, Eduard. *Kovové materiály*. Praha: Československá redakce VN MON, 1991. ISBN 80-214-0239-3.
37. HRUBÝ, Vojtěch, Petr JONŠTA a Arnošt SILBERNAGEL. *Navrhování kovových materiálů pro různé výrobky*. Ostrava: Kovosil, 2008. ISBN 978-80-903694-2-9.
38. HLUCHÝ, Miroslav a Jan KOLOUCH. *Strojírenská technologie 1*. 4., rev. vyd. Praha: Scientia, 2007. ISBN 978-80-86960-26-5.
39. MICHNA, Štefan. *Encyklopedie hliníku*. Prešov: Adin. ISBN 80-890-4188-4.
40. KUBÍČEK, Jaroslav. ANODICKÁ OXIDACE HLINÍKU - ELOXOVÁNÍ. *ODBOR TECHNOLOGIE SVAŘOVÁNÍ A POVRCHOVÝCH ÚPRAV* [online]. Brno: Fakulta strojního inženýrství, 2018 [cit. 2021-04-22]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/hpu_renovace_a_povrchove_upravy_eloxace_2018_kubicek.pdf
41. AMBROŽ, Oldřich. SVAŘITELNOST MATERIÁLU: SVAŘITELNOST VYSOKOLEGOVANÝCH OCELÍ FERITICKÝCH A AUSTENITICKÝCH. *ODBOR SVAŘOVÁNÍ: ODBOR TECHNOLOGIE SVAŘOVÁNÍ A POVRCHOVÝCH ÚPRAV* [online]. Brno [cit. 2021-04-22]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/fsm_svaritelnost_materialu_ambroz.pdf
42. SIGMUND, Marian. *9 Svařitelnost mikrolegovaných, nízko a vysoko legovaných ocelí*. . FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ, 2021.
43. ŠMARDA, Vladimír. Svařování austenitických ocelí Brno, 2019. 45 s, 13 příloh, CD. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie svařování a povrchových úprav. Vedoucí práce Ing. Jaroslav Kubíček.

44. ČSN EN ISO 10088: Korozivzdorné oceli-Část 1: Přehled korozivzdorných ocelí. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2015.
45. VÁVRA, Pavel. A KOL. *STROJNICKÉ TABULKY: pro SPŠ strojnické*. Druhé, opravené vydání. Praha: STNL -Nakladatelství technické literatury, 1984, 661 s. 04-234-84.
46. SVOBODA, Pavel, Jan BRANDEJS a František PROKEŠ. *Základy konstruování*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007. ISBN ISBN978-80-7204-535-8.
47. P-2030 CNC. *PENTA TRADING: VÁŠ SVĚT ELEKTROEROZE* [online]. Praha, 2016, 2016 [cit. 2021-5-13]. Dostupné z: <https://www.penta-edm.cz/text-p-2030/>
48. DCMX 11 T3 04-WM 2015: Soustružnické břitové destičky CoroTurn® 107. *SANDVIK Coromant* [online]. [cit. 2021-5-16]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/pages/productdetails.aspx?c=DCMX%2011%20T3%2004-WM%20%20%20%202015>
49. ZEMČÍK, Oskar. Technologické procesy - část obrábění [online]. Brno: VUT FSI [cit. 2021-05-16]. Dostupné z: <http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/studijni-opory/TechnProcesy.pdf>
50. OSIČKA, Karel. *Technologická identifikace kvality povrchu obrobené plochy*. FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ, 2021. Dostupné také z: <https://moodle.vutbr.cz/course/view.php?id=229895>

ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK

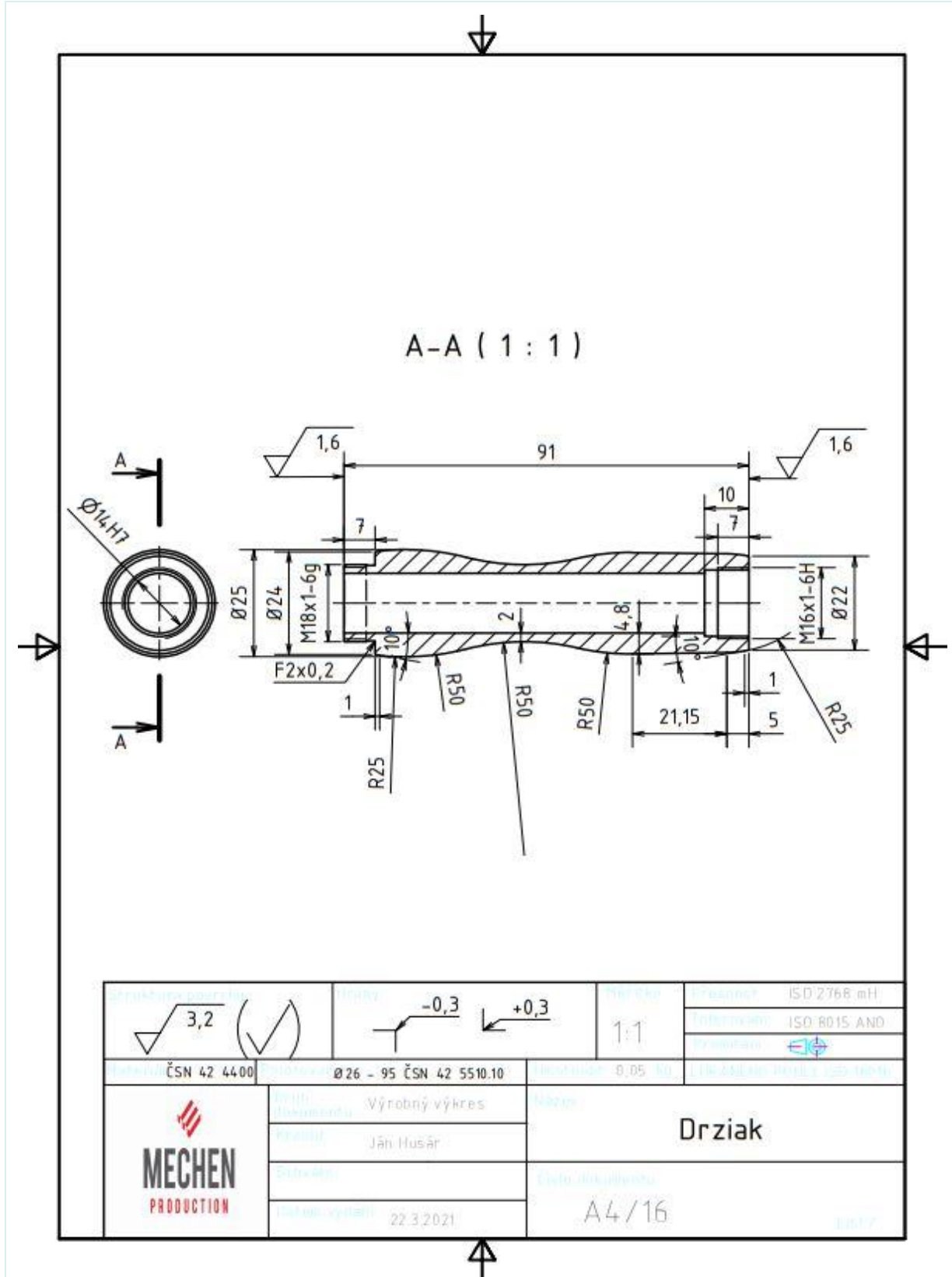
Skratka	Popis
CAD	Computer Aided Design
CNC	Computer Numeric Control
CVD	Chemical Vapor Deposition
ČSN	Česká technická norma
EN	Európska norma
ISO	International Organization for Standardization
MAG	Metal Active Gas
MIG	Metal Inert Gas
TOO	Tepelne ovplyvnená oblasť
WIG	Wolfram Inert Gas
ZM	Základný materiál
dxf	CAD formát súboru vyvinutý firmou Autodesk

Symbol	Jednotka	Popis
D	[mm]	priemer obrobku
I_e	[A]	stredný napájací prúd
N_m	$[\text{kg} \cdot \text{ks}^{-1}]$	norma spotreby materiálu
Q_i	$[\text{mm}^3]$	množstvo odobraného materiálu
Q_k	[kg]	hmotnosť polotovaru s prídavkami
Q_p	[kg]	hmotnosť polotovaru
Q_s	[kg]	čistá hmotnosť súčiastky
R_a	$[\mu\text{m}]$	stredná aritmetická odchýlka profilu drsnosti
R	[mm]	vnútorný polomer ohybu
U_e	[V]	stredné napájacie napätie
W_e	[J]	energia výboja
f	[mm]	posuv na otáčku
f_z	[mm]	posuv na zub
g	$[\text{m} \cdot \text{s}^{-2}]$	gravitačné zrýchlenie
k	[-]	súčiniteľ úmernosti pre katódu a anódu

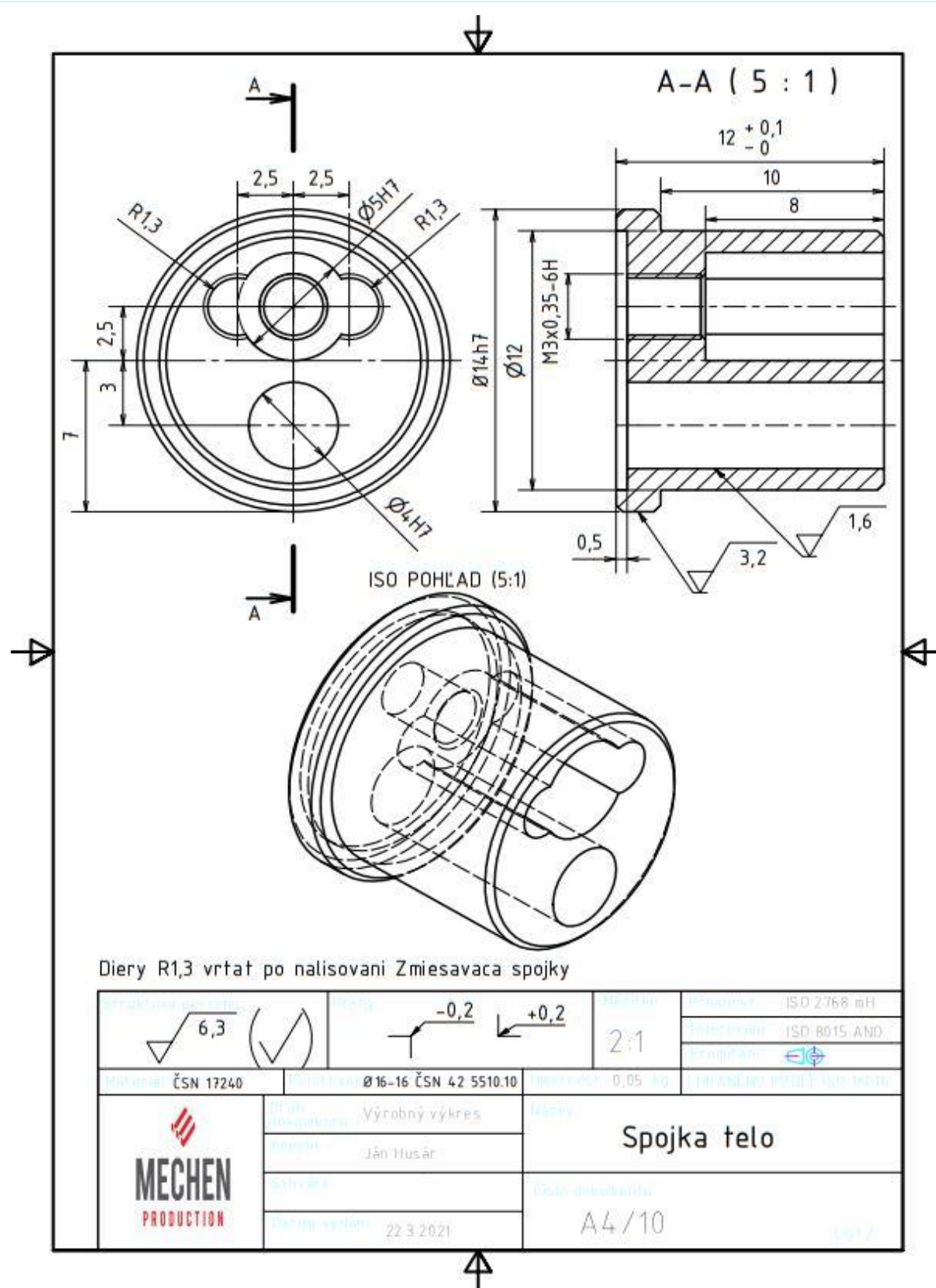
k_m	[-]	koeficient využitia materiálu
l_k	[m]	dĺžka polotovaru s prídavkami
l_p	[m]	dĺžka čistého polotovaru
l_u	[m]	dĺžka upichnutia
n	$[\text{min}^{-1}]$	otáčky
p	[kPa]	atmosférický tlak
Q_k	[kg]	straty vzniknuté z nevyužiteľného konca tyče
Q_o	[kg]	straty vzniknuté obrábaním polotovaru
Q_u	[kg]	straty vzniknuté delením tyče
t	[mm]	hrúbka materiálu
t_i	[s]	trvanie pulzu
v	$[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$	rýchlosť
v_c	$[\text{m} \cdot \text{min}^{-1}]$	rezná rýchlosť
v_e	$[\text{m} \cdot \text{min}^{-1}]$	efektívny výsledný pohyb
v_f	$[\text{m} \cdot \text{min}^{-1}]$	rýchlosť posuvu
x	[-]	súčiniteľ posunutia neutrálnej osy
z	[m]	výška
z_m	$[\text{kg} \cdot \text{ks}^{-1}]$	celkové straty pri výrobe súčiastky obrábaním
κ_r	°	uhol nastavenia hlavnej reznej hrany nástroja
ρ	$[\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}]$	hustota
ρ_{austenit}	$[\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}]$	hustota austenitickej ocele

ZOZNAM PRÍLOH

Príloha 1	Výkresová dokumentácia k časti Hubica
Príloha 2	Výkresová dokumentácia k časti Koncovka
Príloha 3	Výkresová dokumentácia k časti Zariadenie
Príloha 4	Výkresy zostáv hlavných častí zariadenia
Príloha 5	Časti CNC programu zo softvéru SinuTrain for SINUMERIK

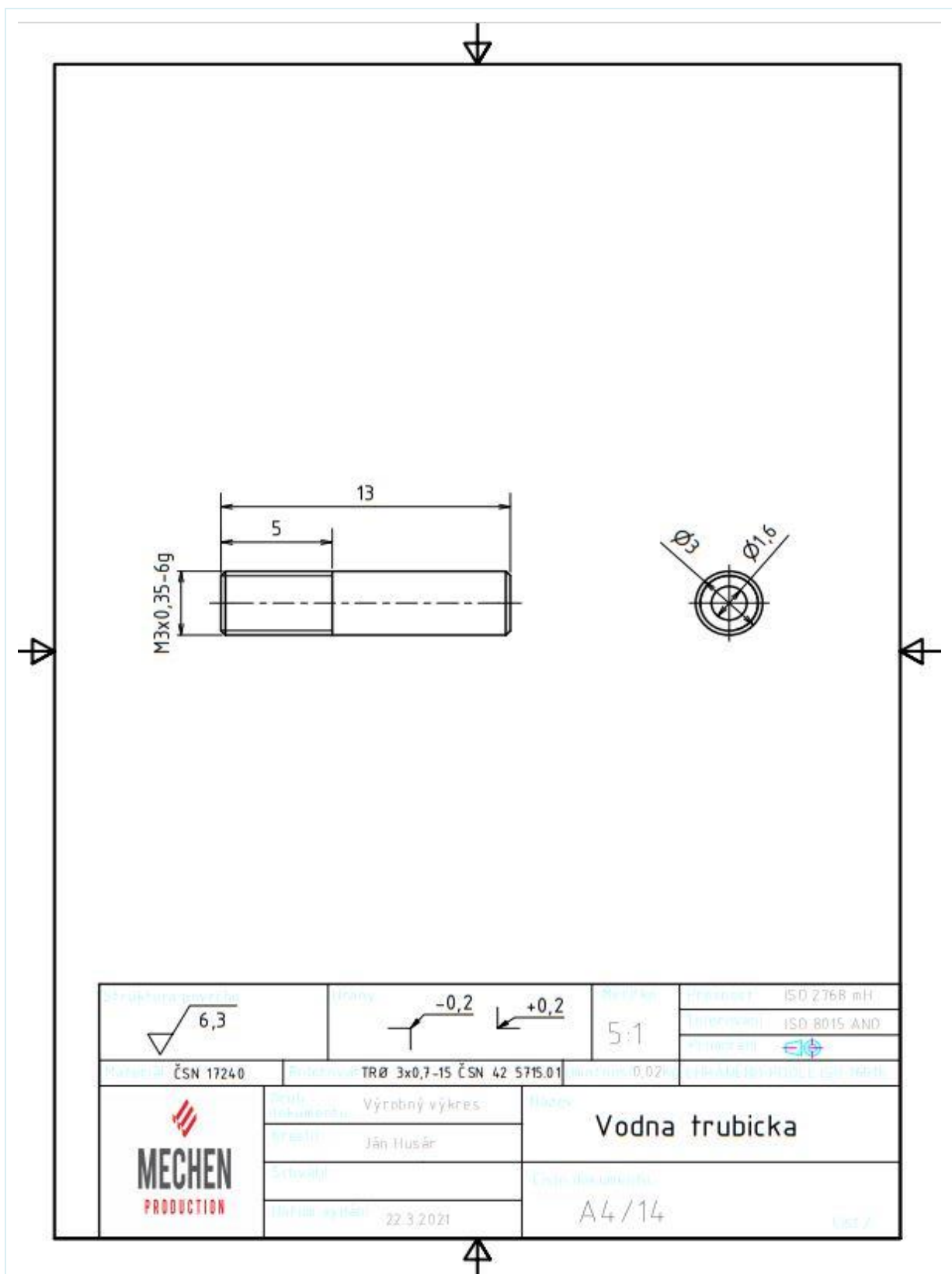


Výkres časti hubice – držiak.



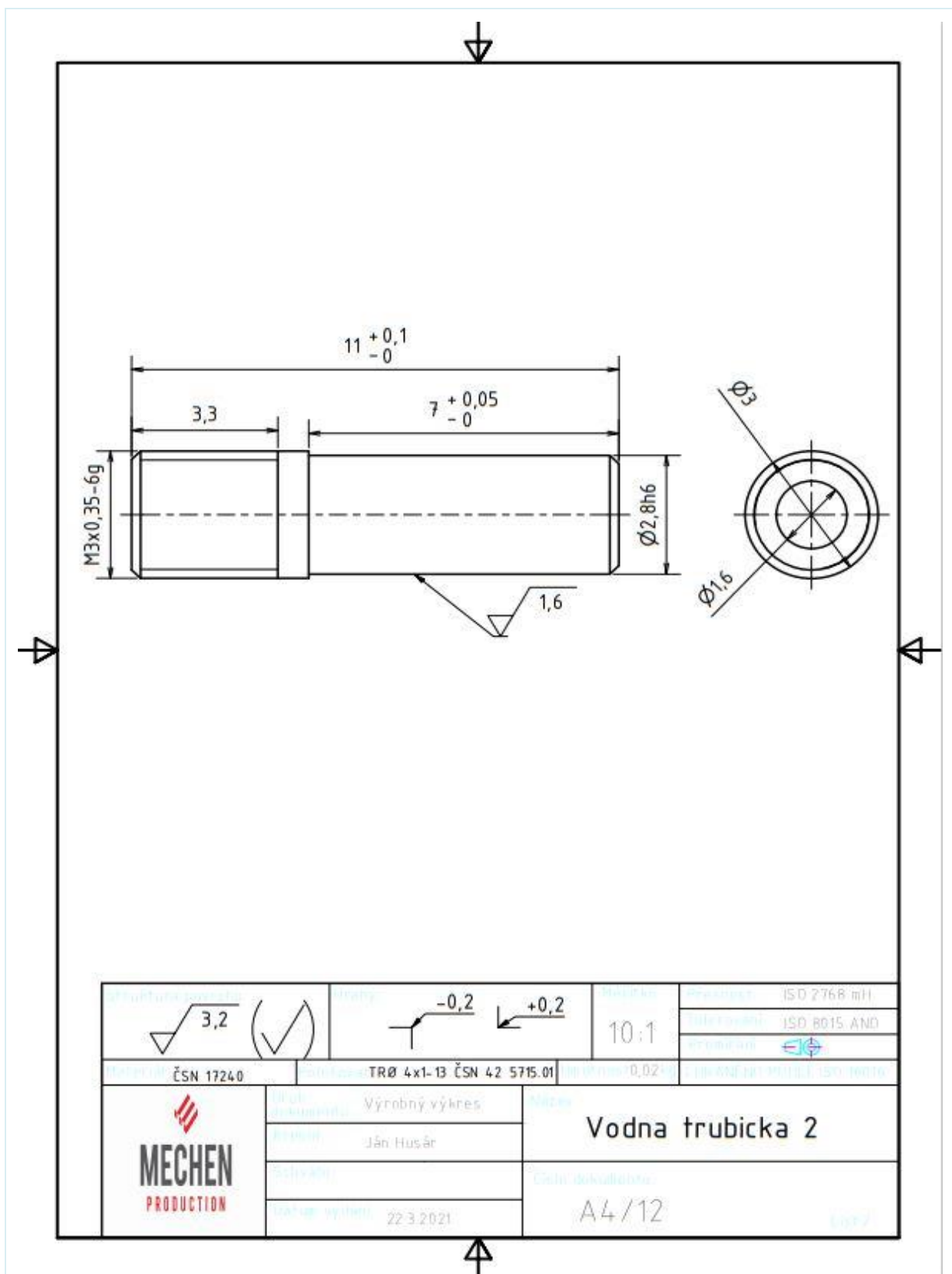
Výkres časti hubice – spojka telo.

PRÍLOHA 1



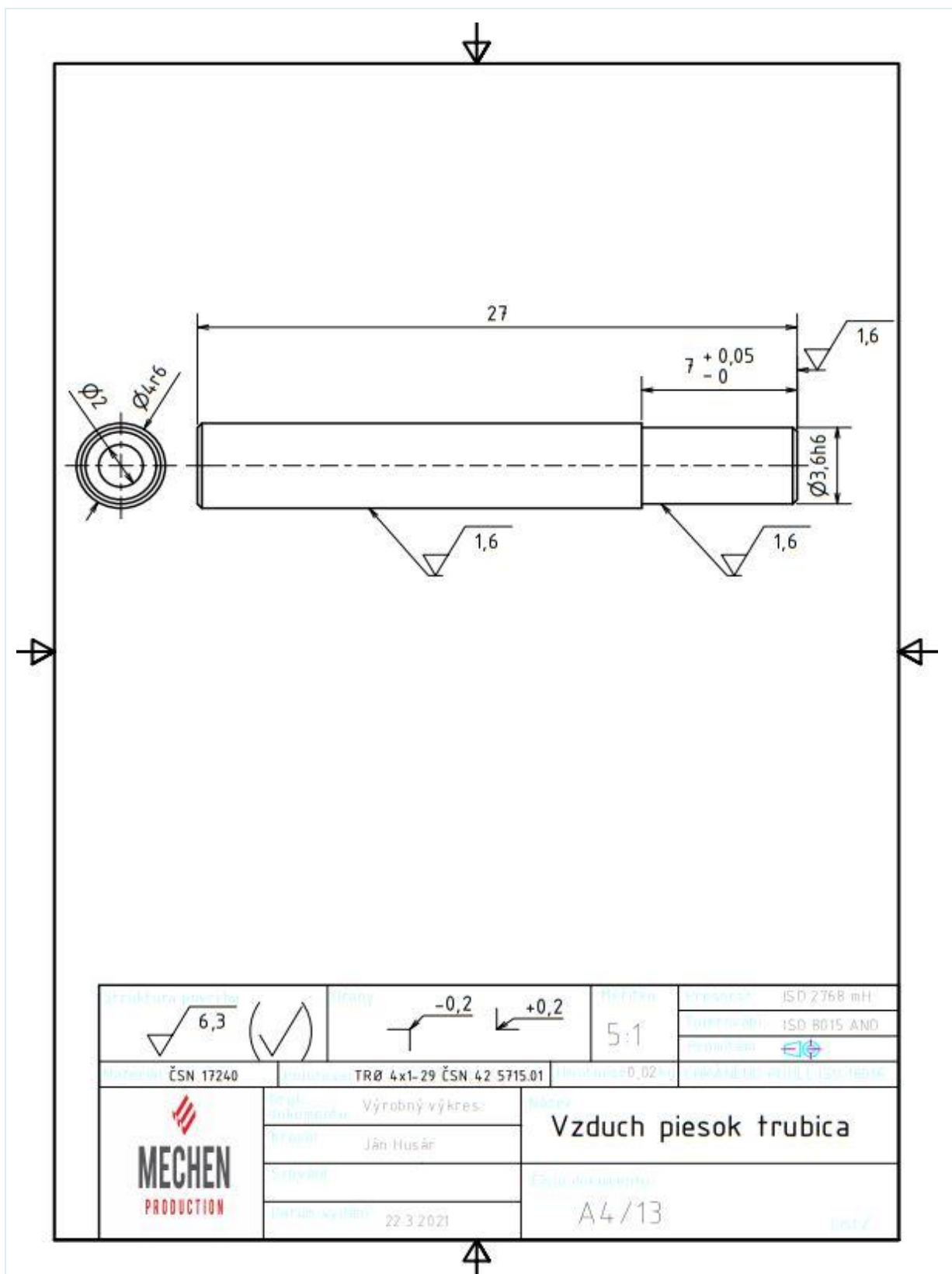
Výkres časti hubice – vodná trubička.

PRÍLOHA 1



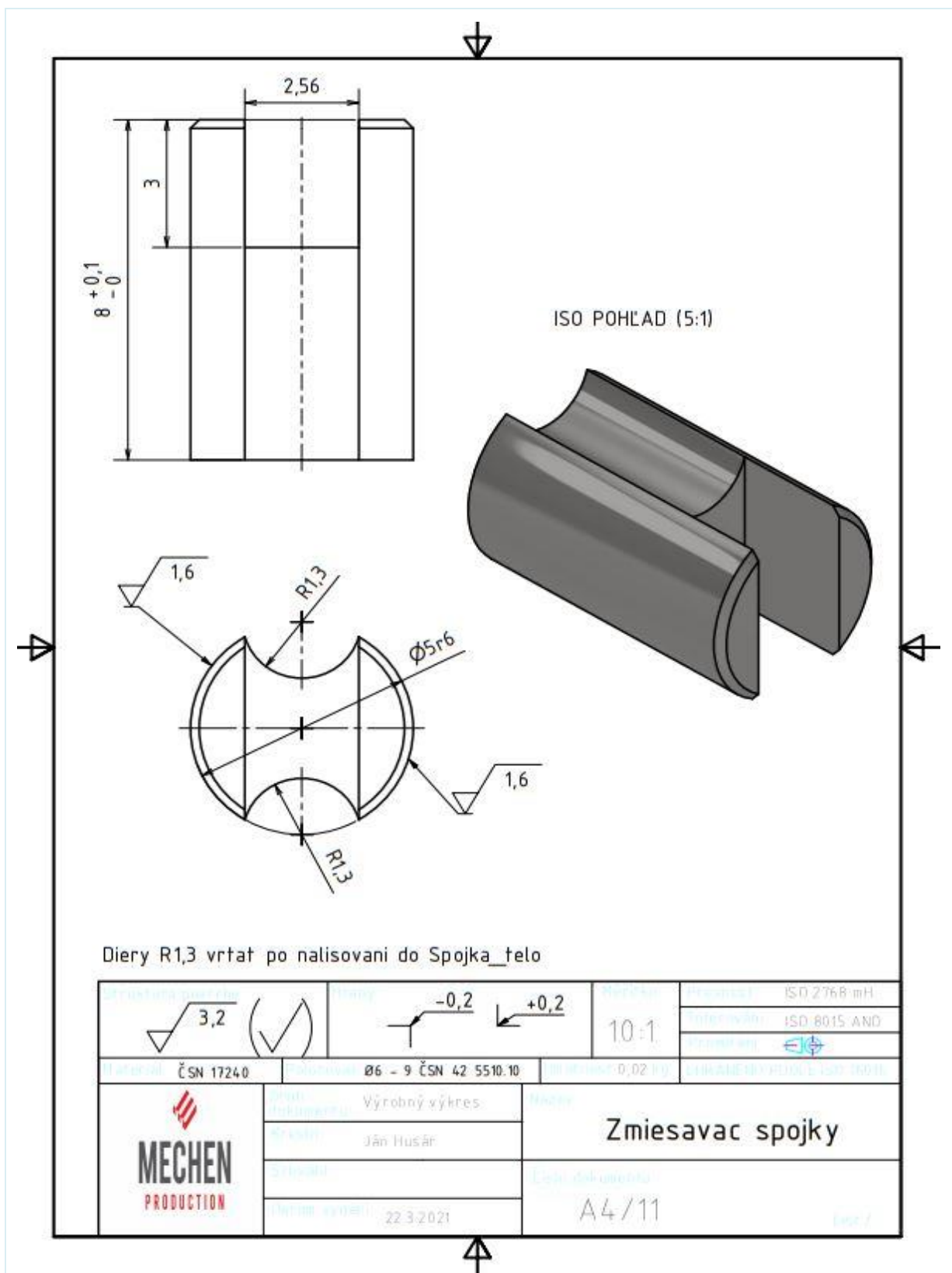
Výkres časti hubice – vodná trubička 2.

PRÍLOHA 1

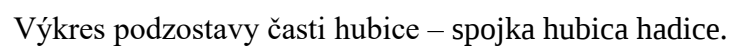


Výkres časti hubice – vzduch piesok trubica.

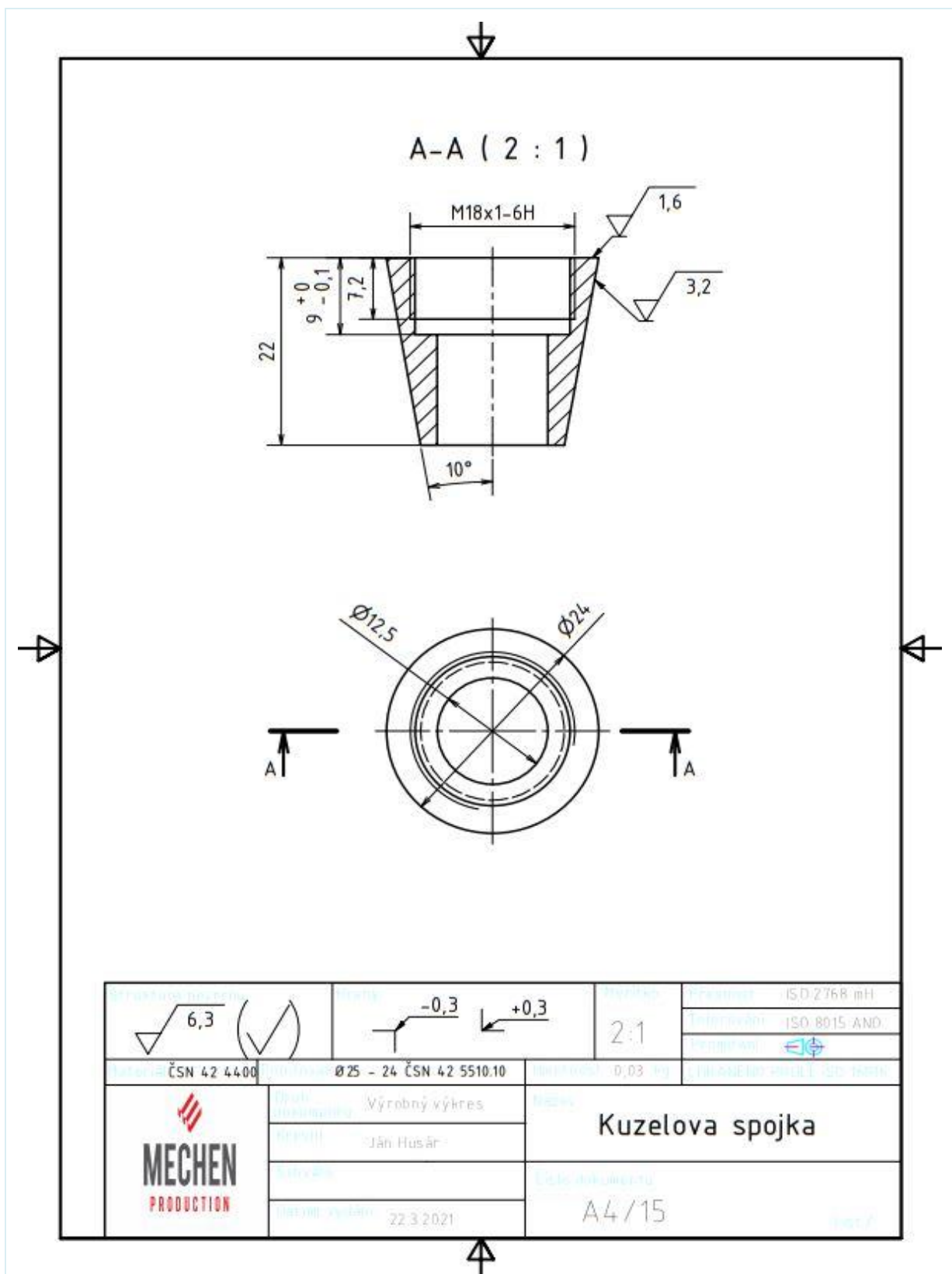
PRÍLOHA 1



Výkres časti hubice – zmiešavač spojky.

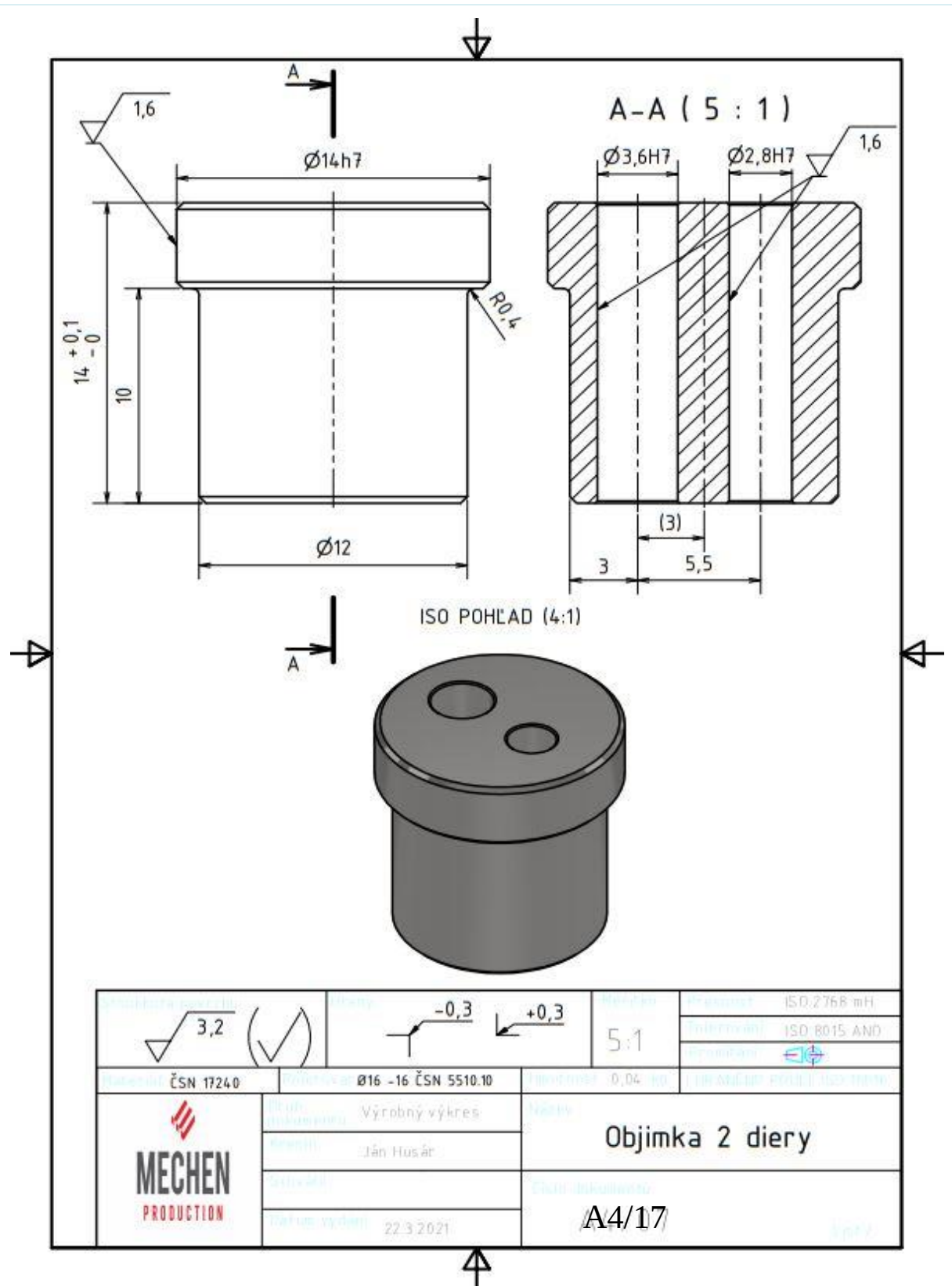


PRÍLOHA 1



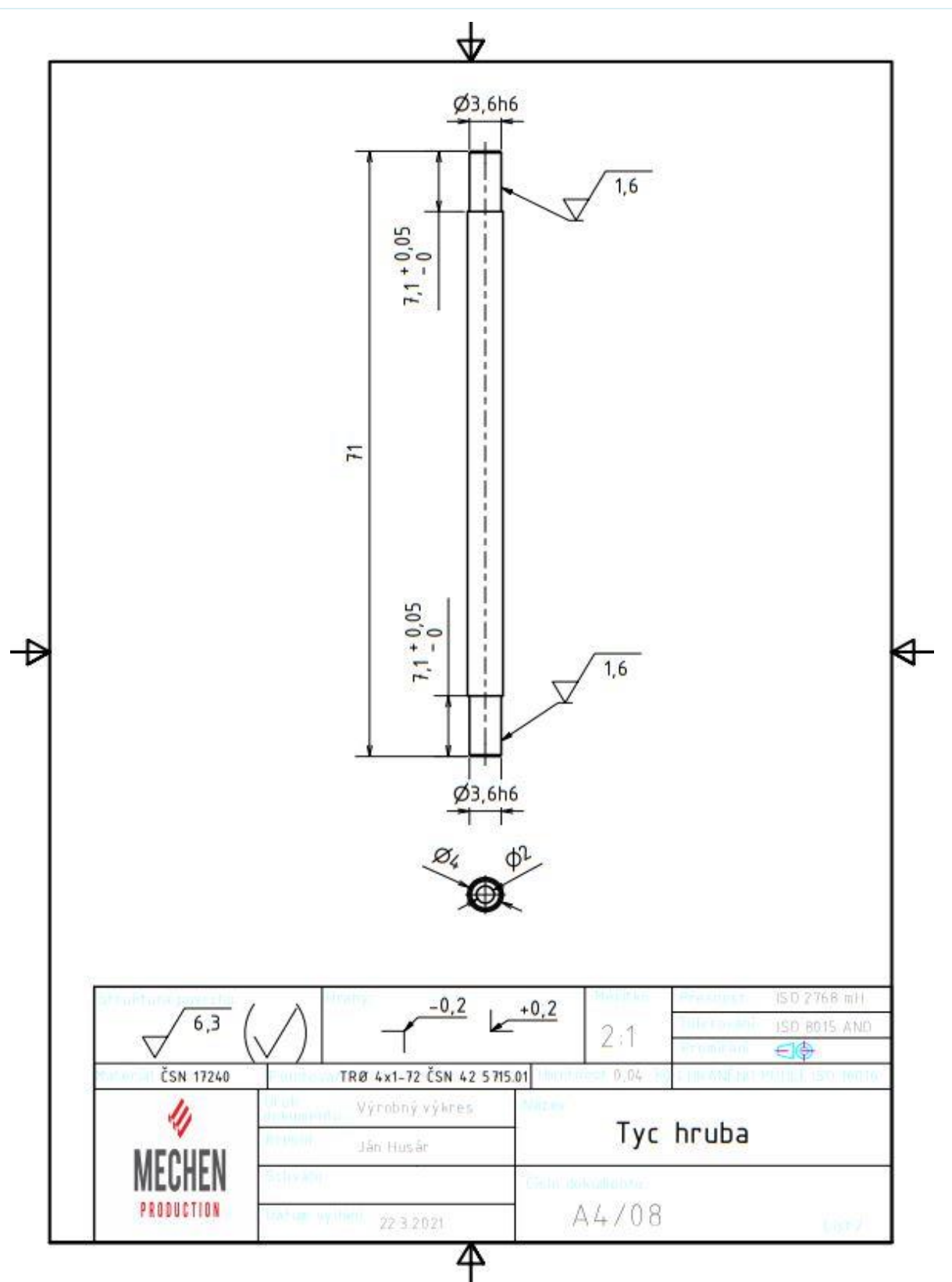
Výkres časti hubice – kužeľová spojka.

PRÍLOHA 1



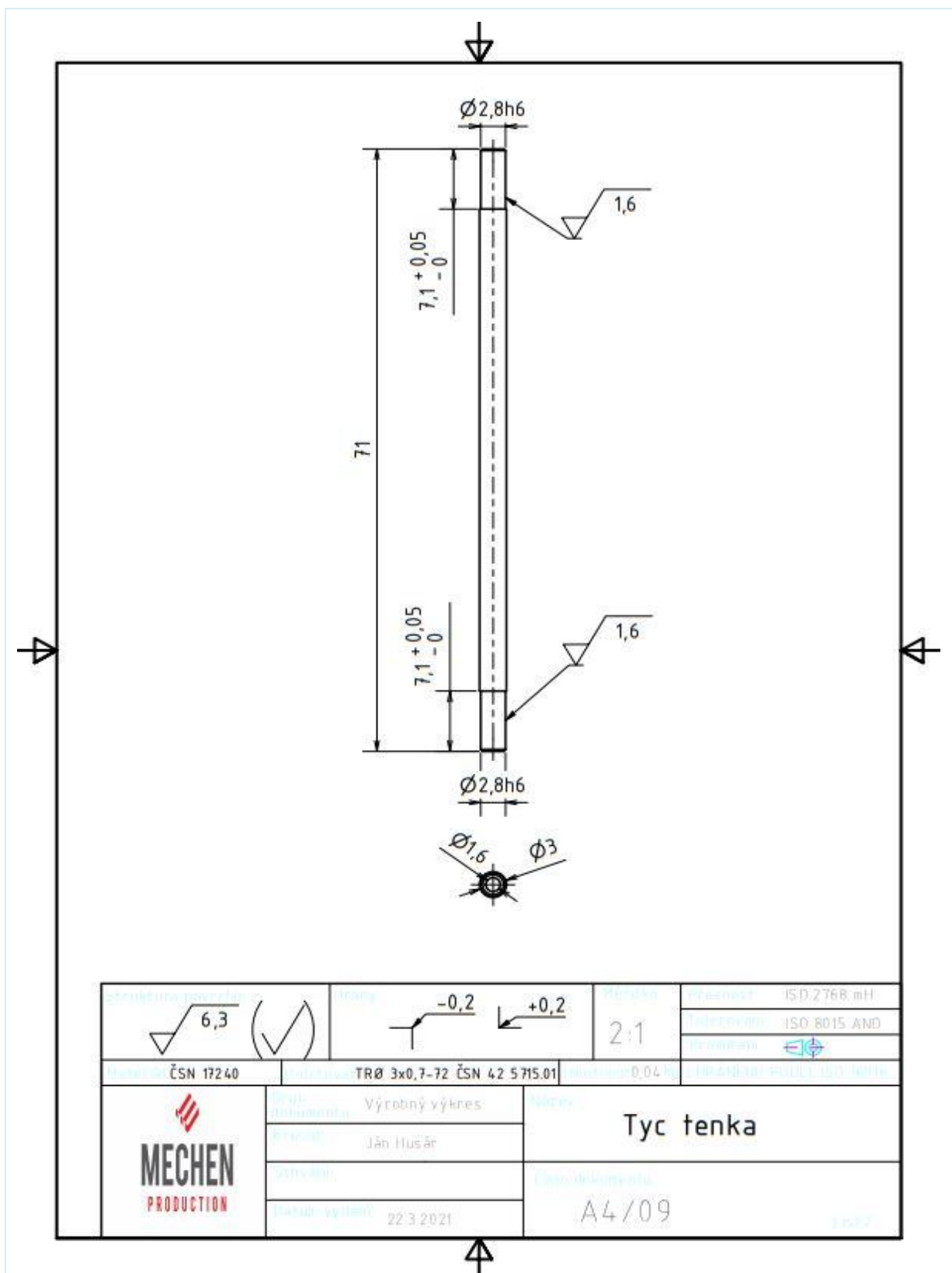
Výkres časti hubice – objímka 2 diery.

PRÍLOHA 1

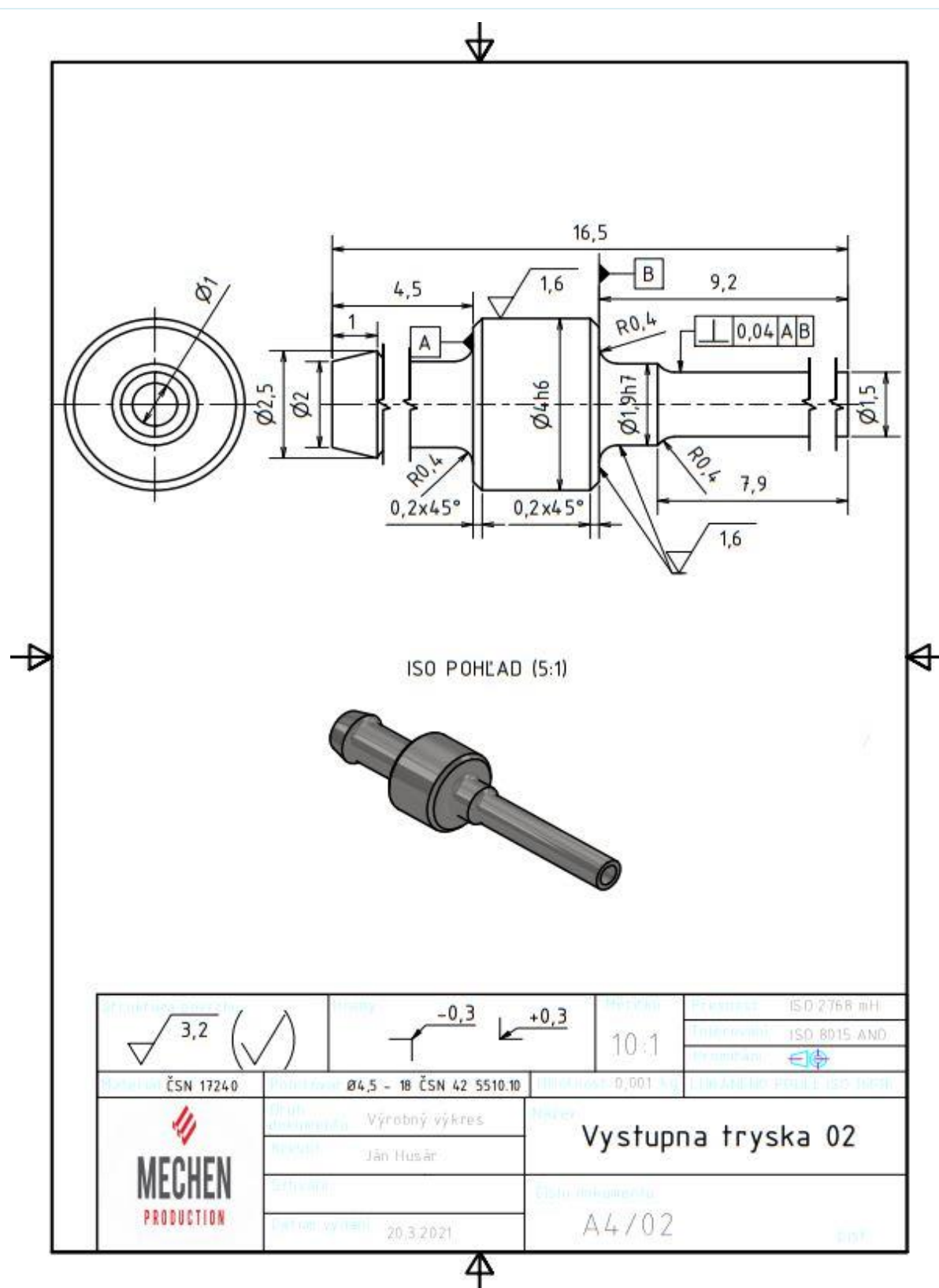


Výkres časti hubice – tyč hrubá.

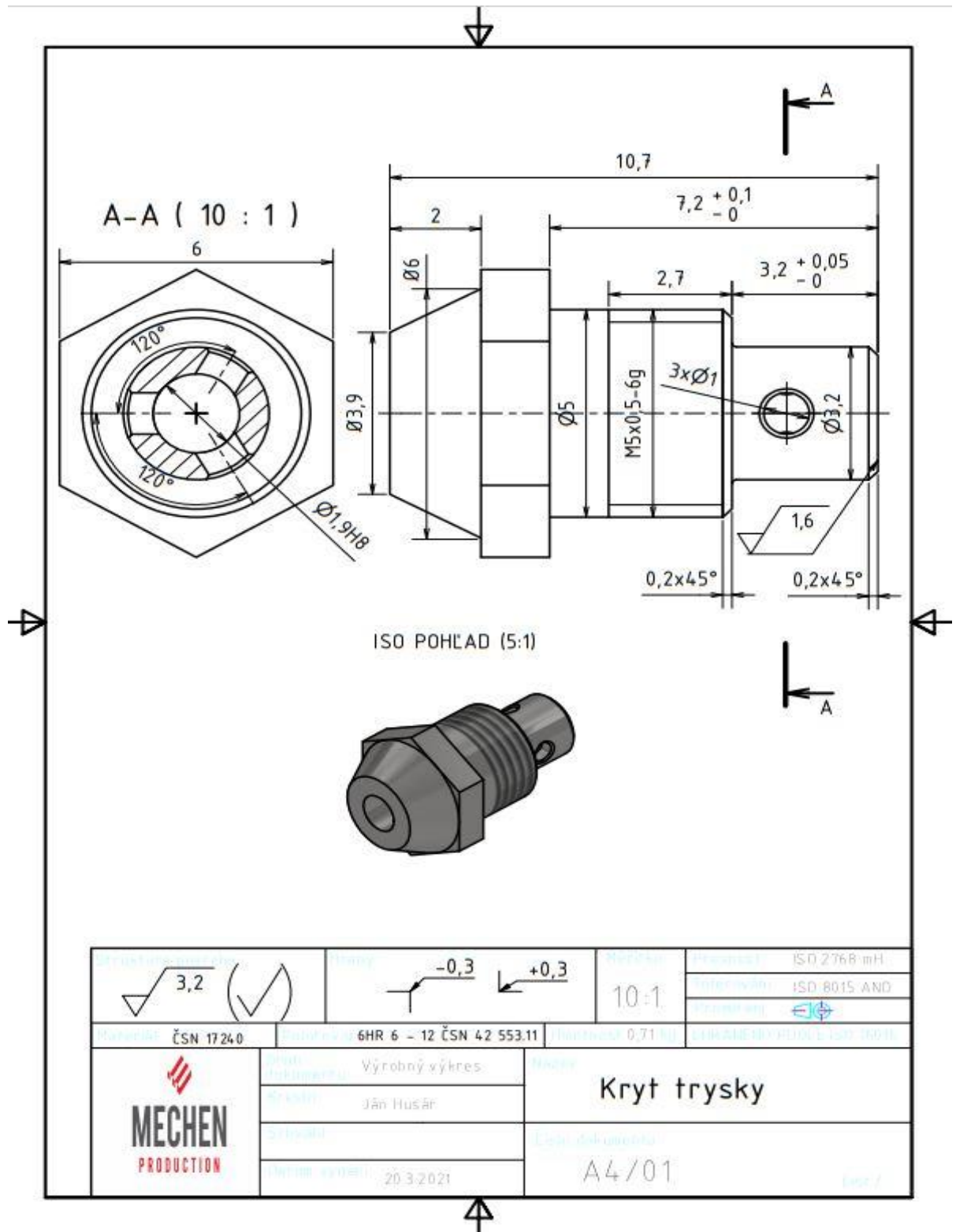
PRÍLOHA 1



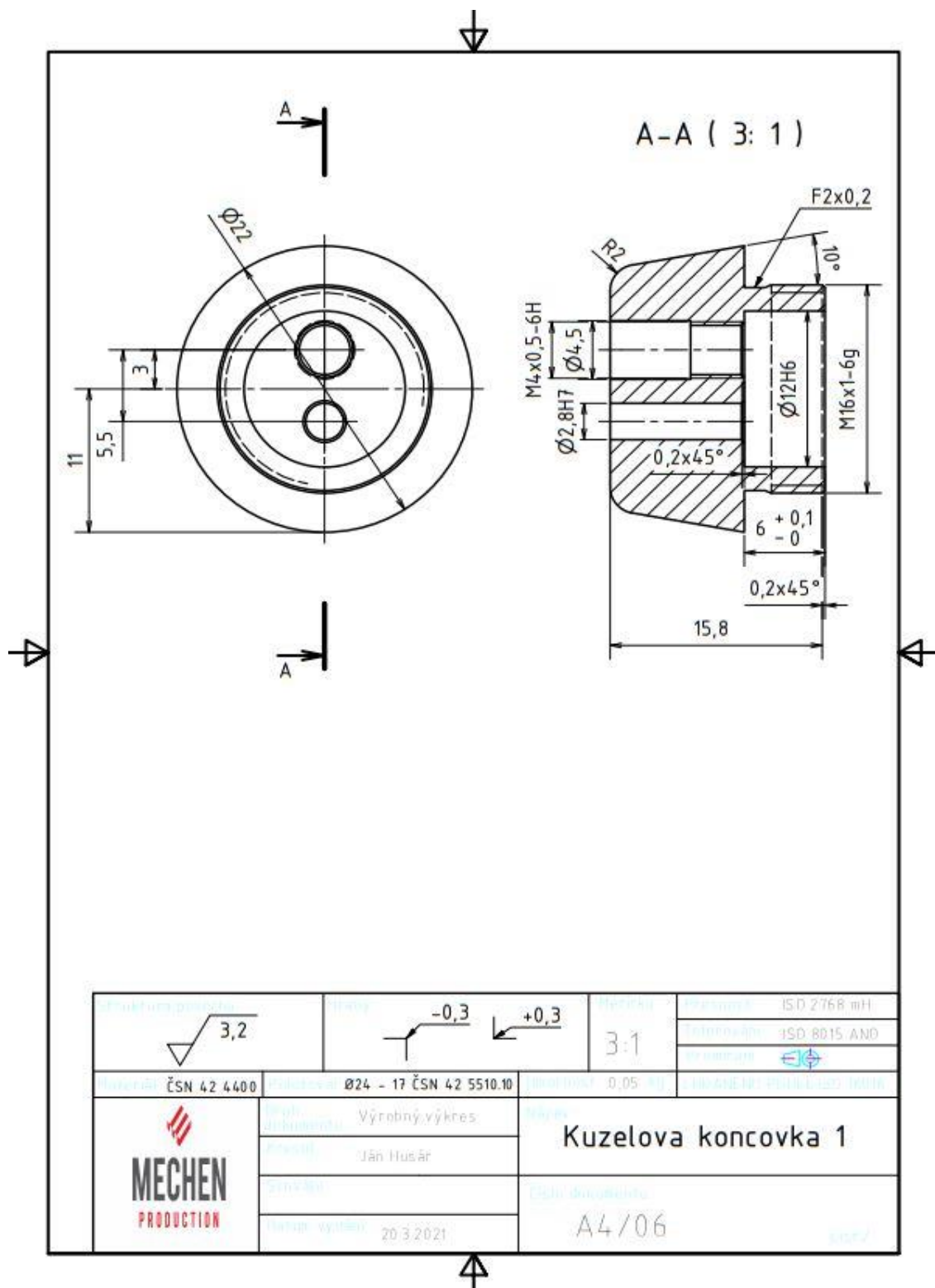
Výkres časti hubice – tyč tenká.



Výkres časti koncovky – výstupná tryska 02.

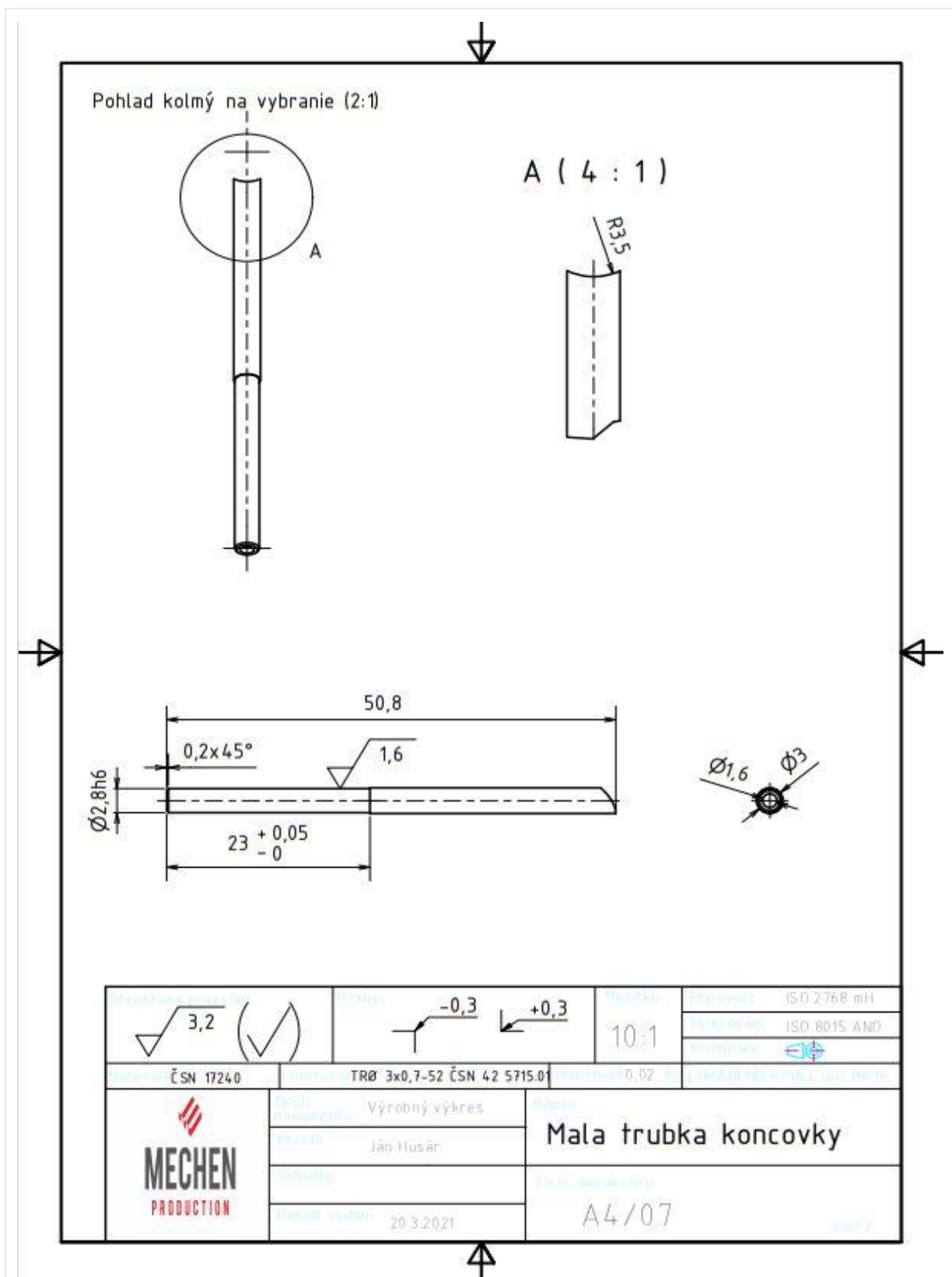


Výkres části koncovky – kryt trysky.

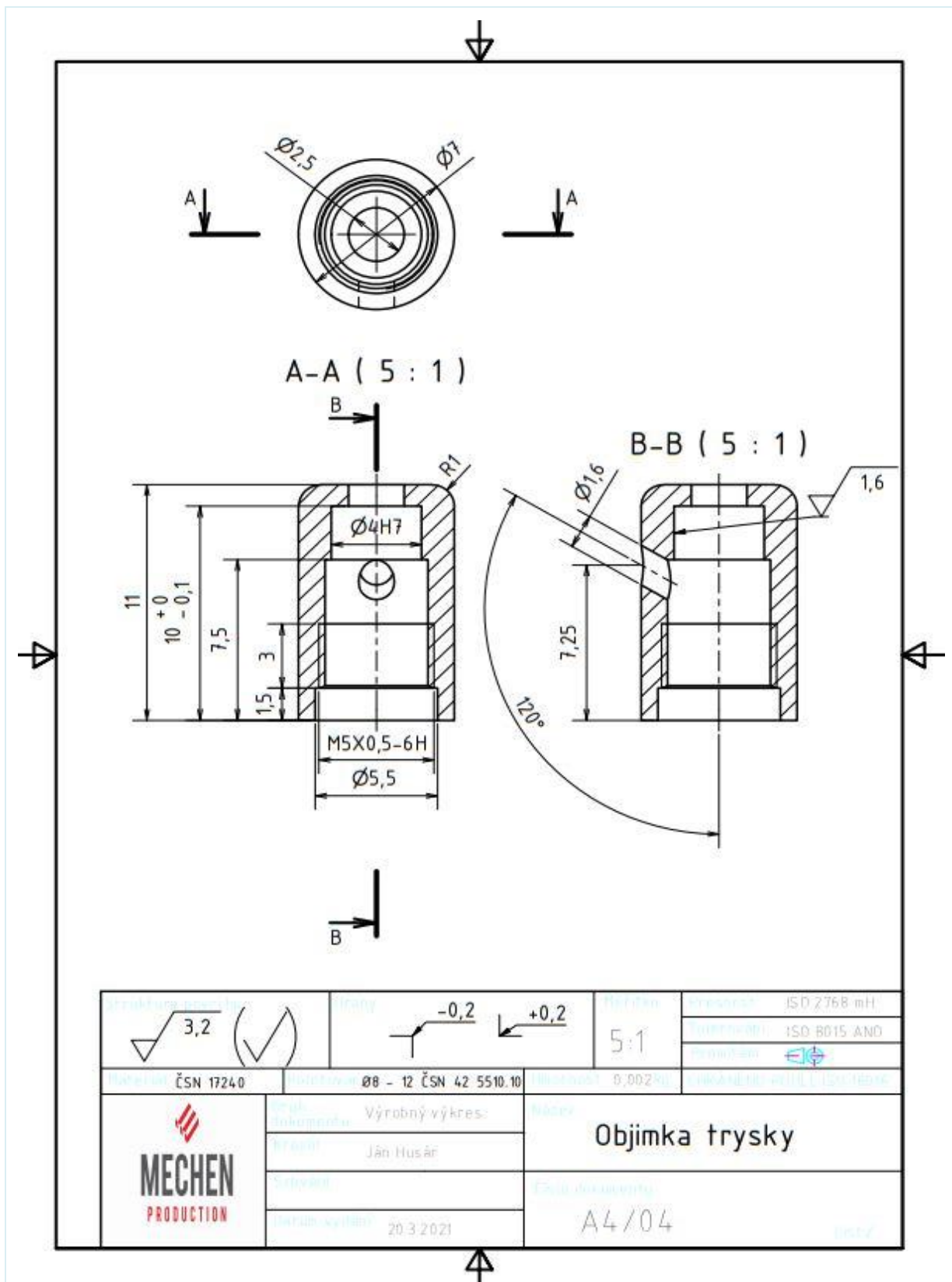


Výkres časti koncovky – kužeľová koncovka 1.

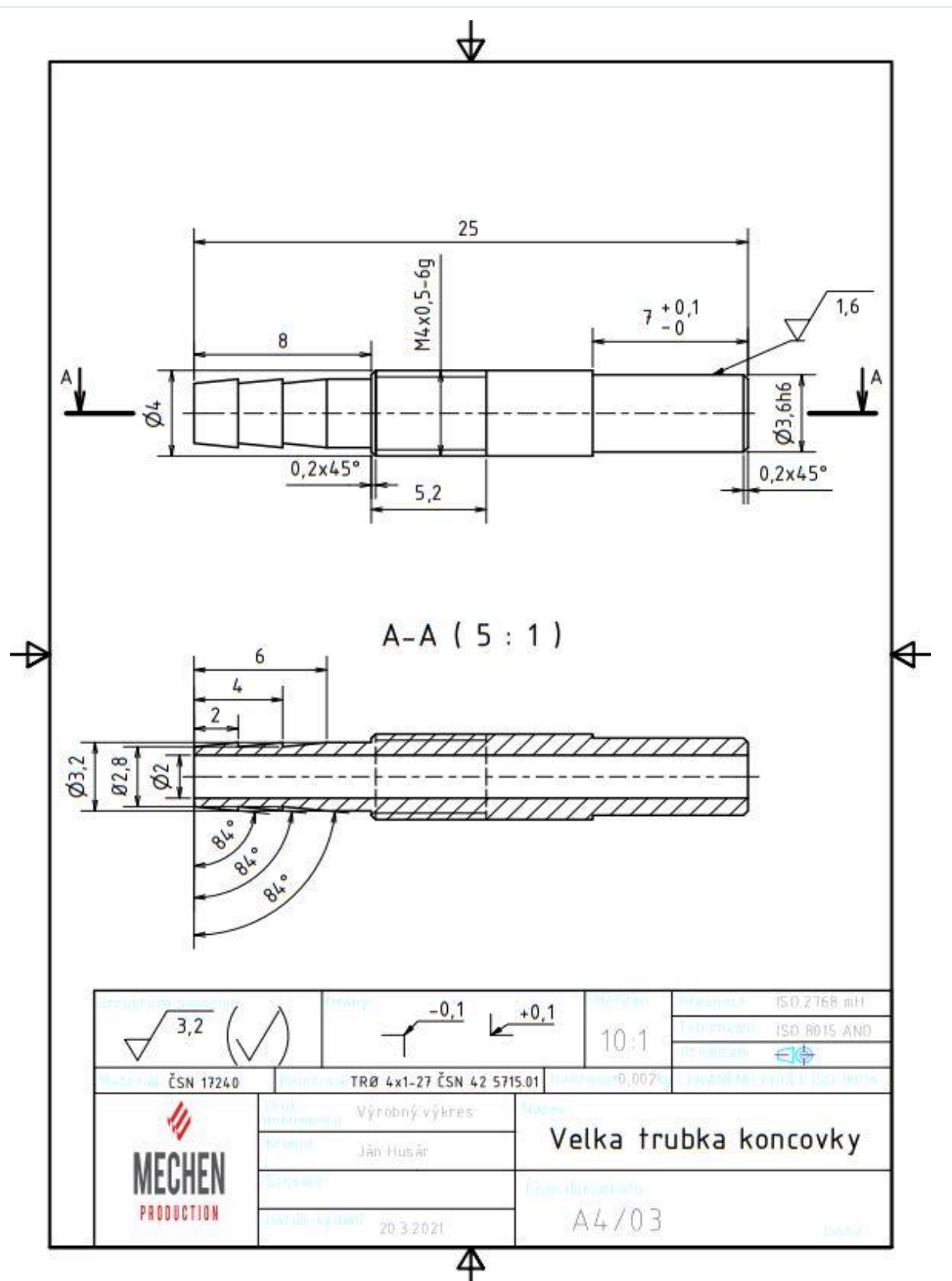
PRÍLOHA 2



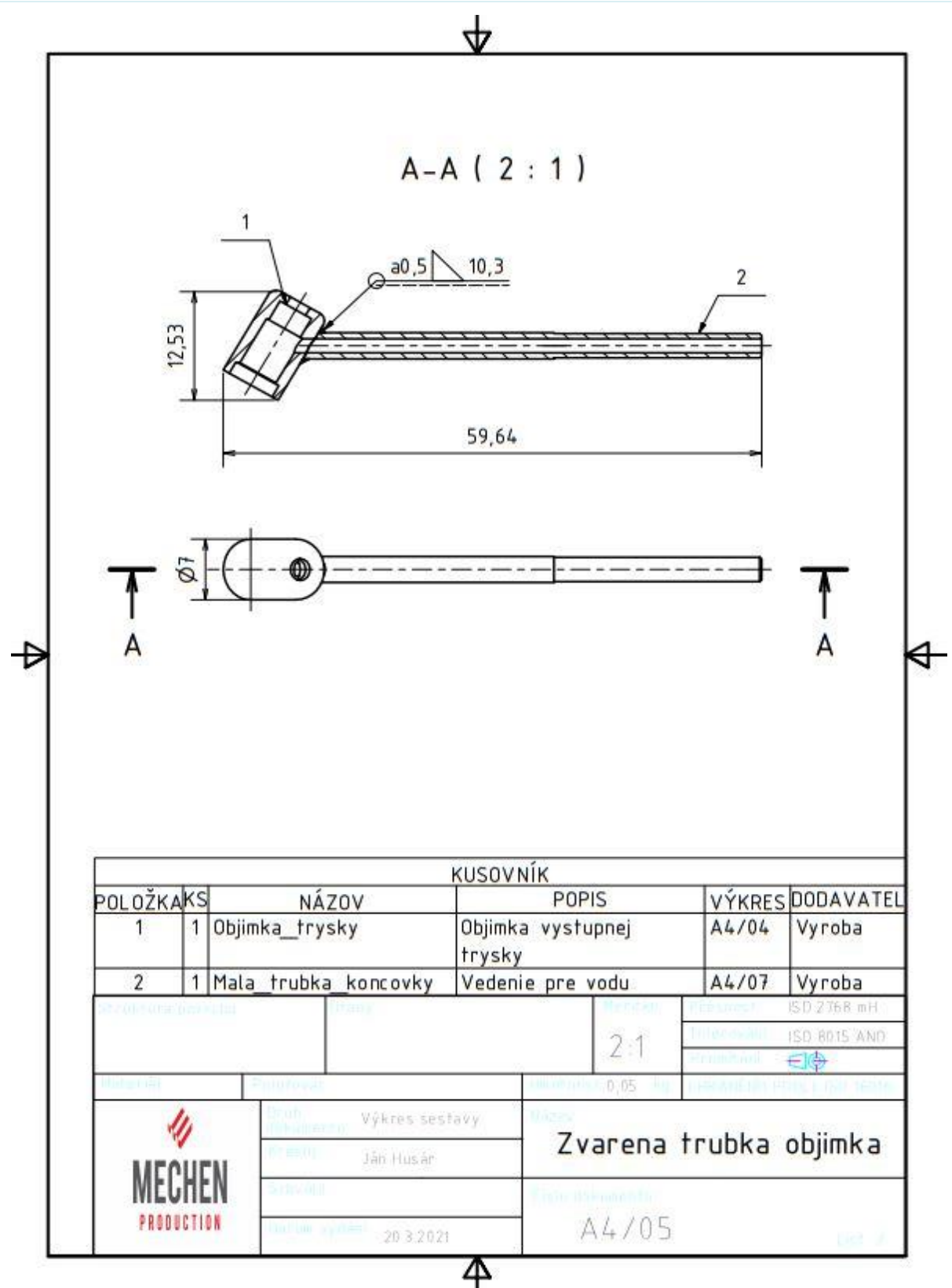
Výkres časti koncovky – malá trubka koncovky.



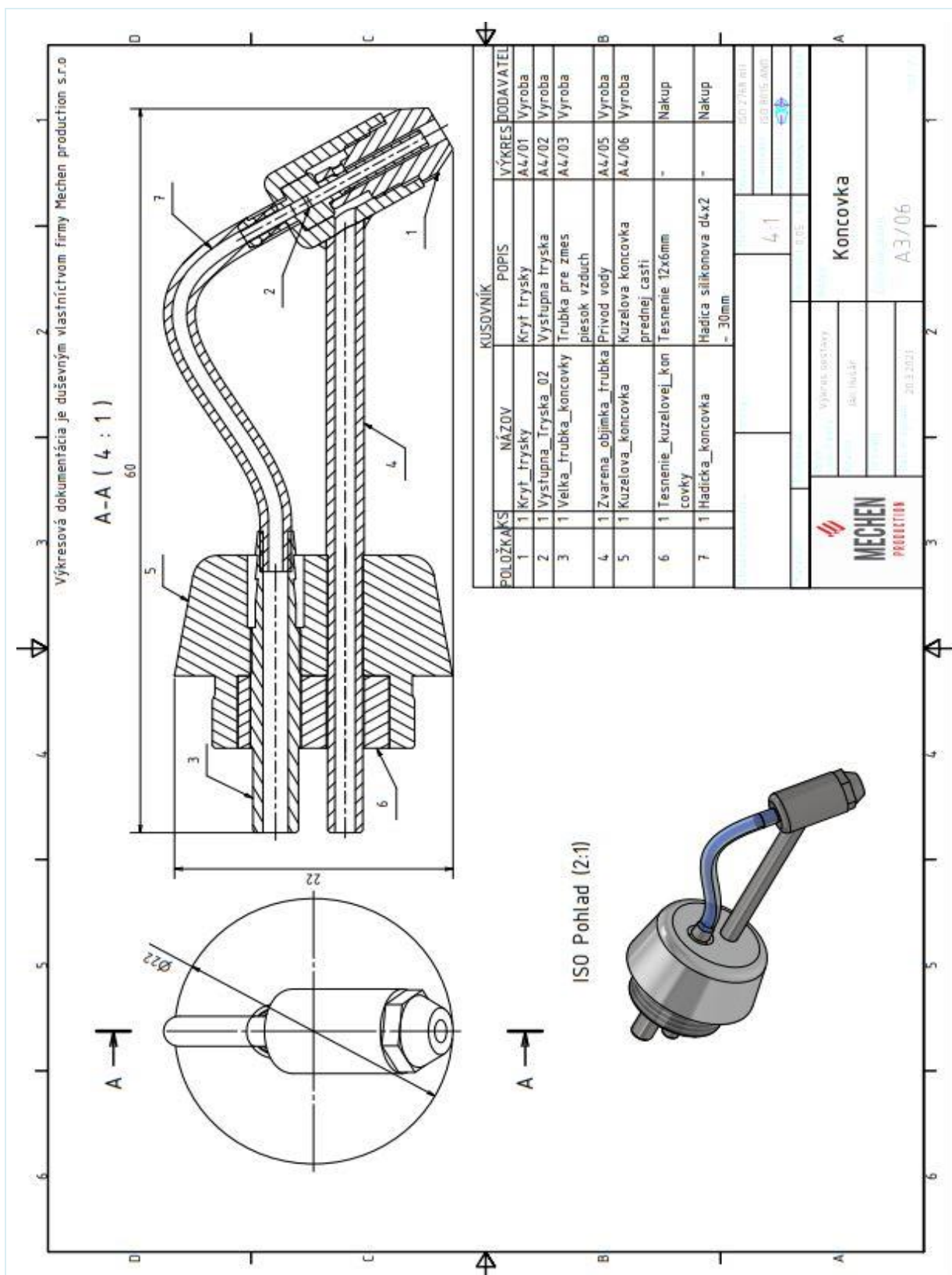
Výkres časti koncovky – objímka trysky.



Výkres časti koncovky – veľká trubka koncovky.

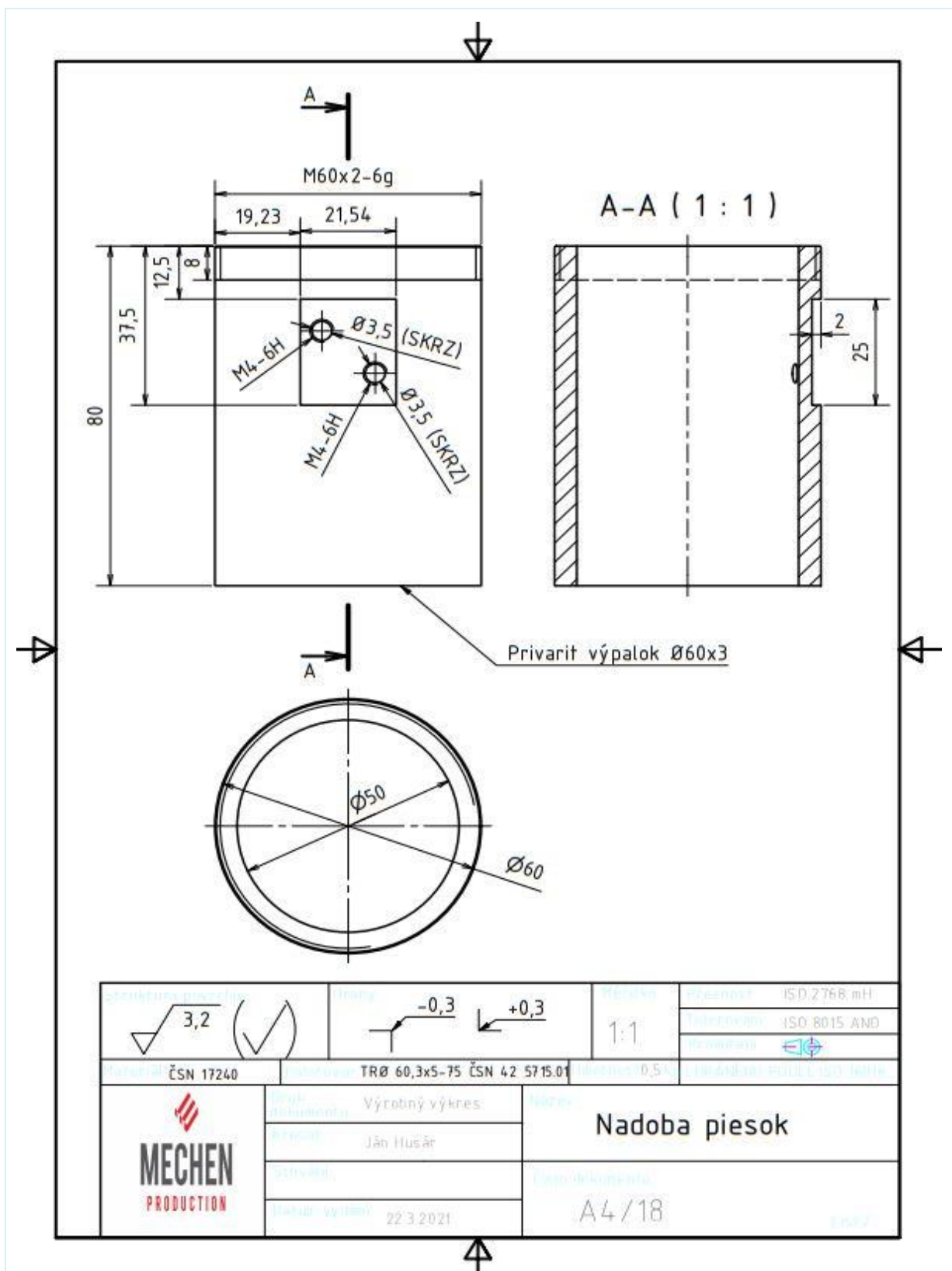


Výkres časti koncovky – zvarená trubka objímka.

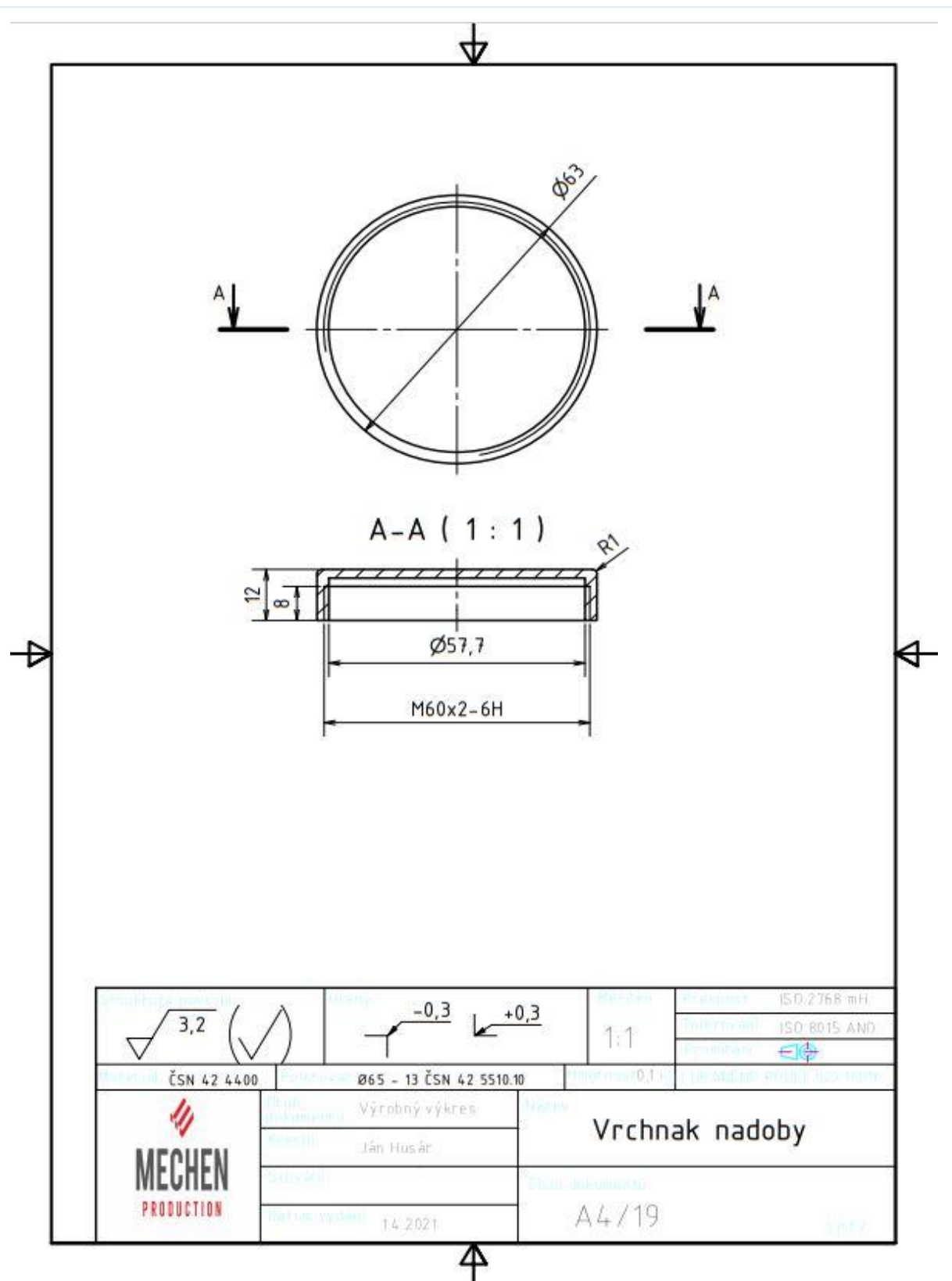


Výkres zostavy koncovky.

PRÍLOHA 3

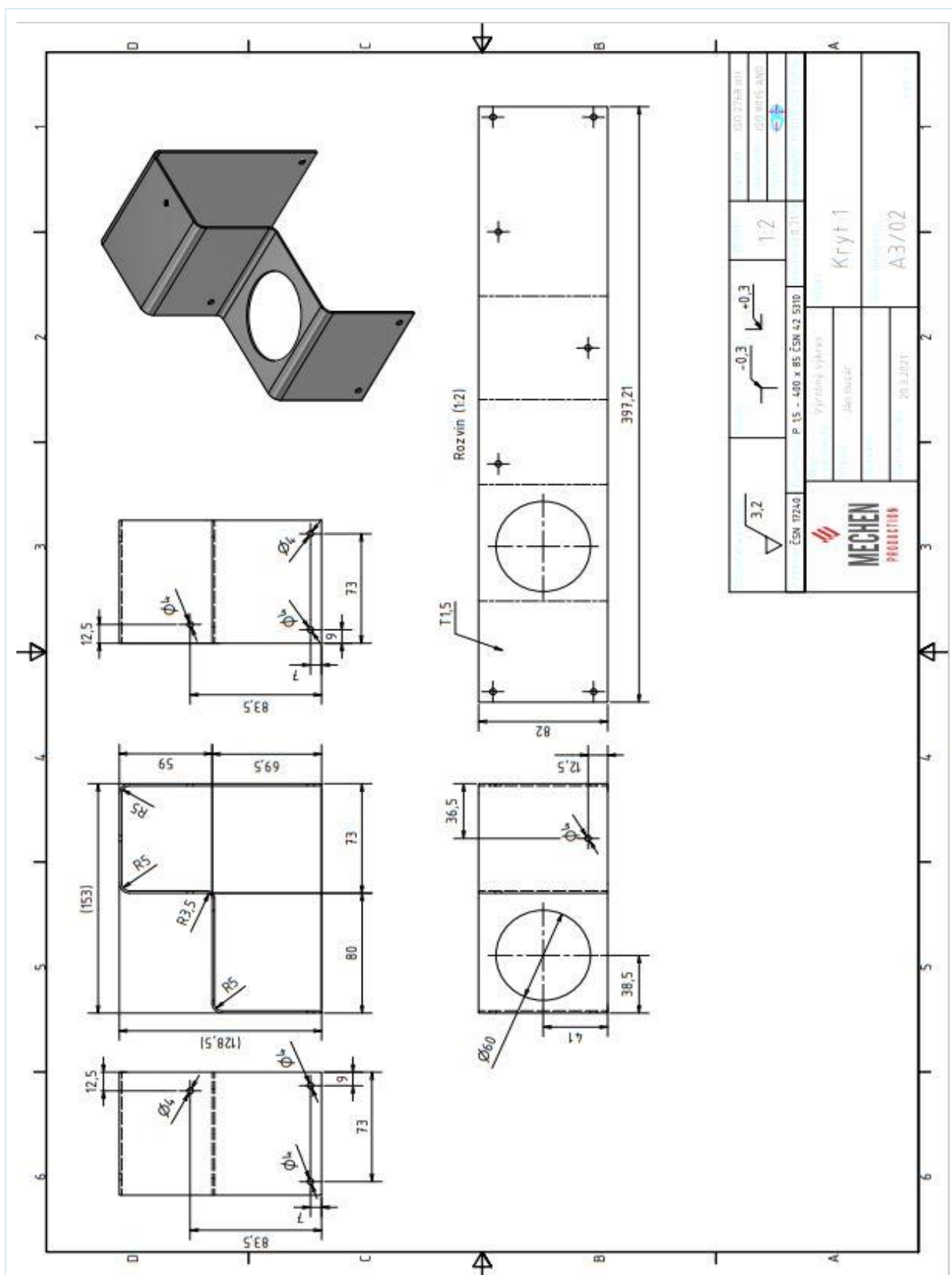


Výkres časti zariadenia – nádoba piesok.

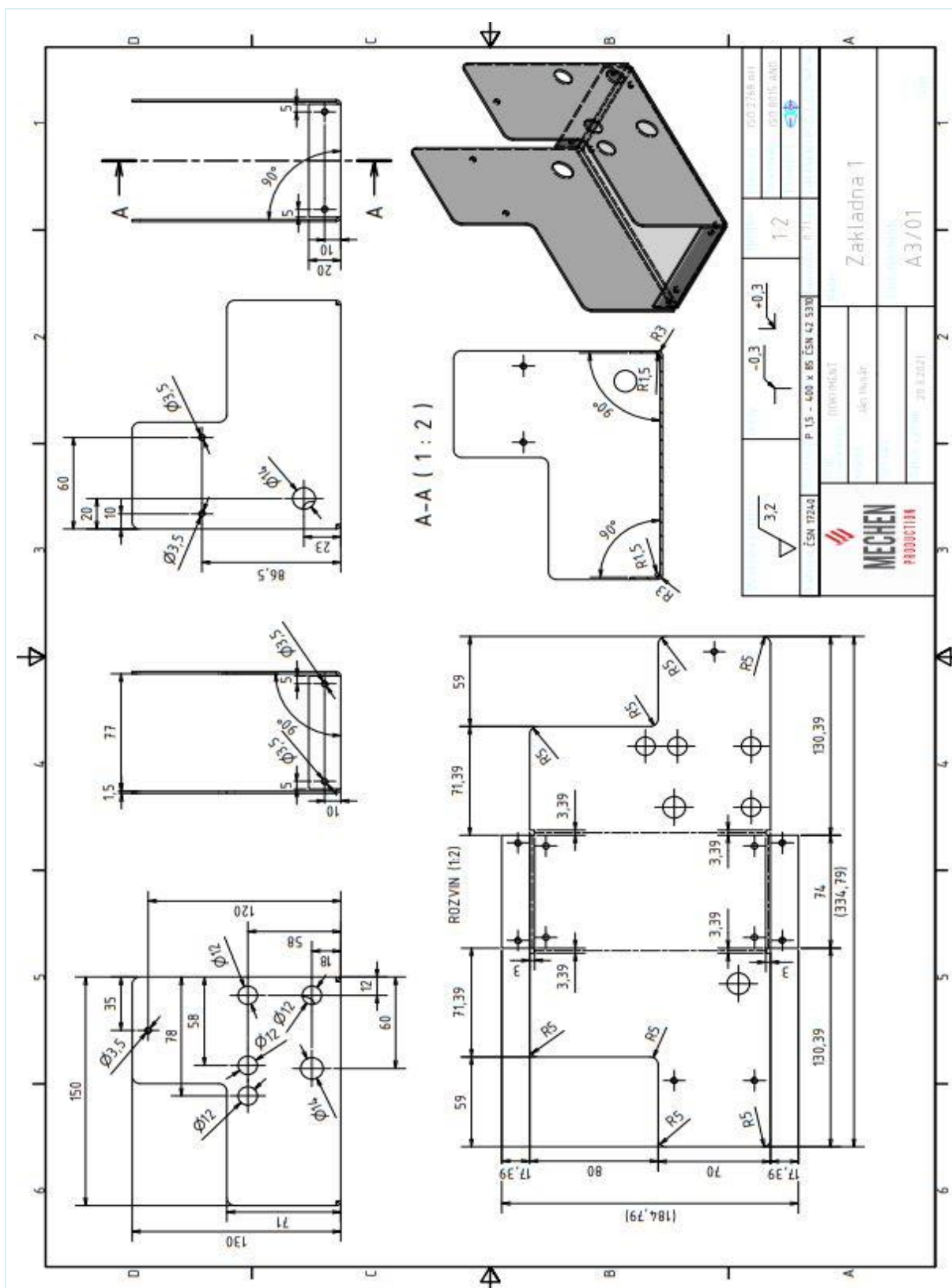


Výkres časti zariadenia – vrchnák nádoby.

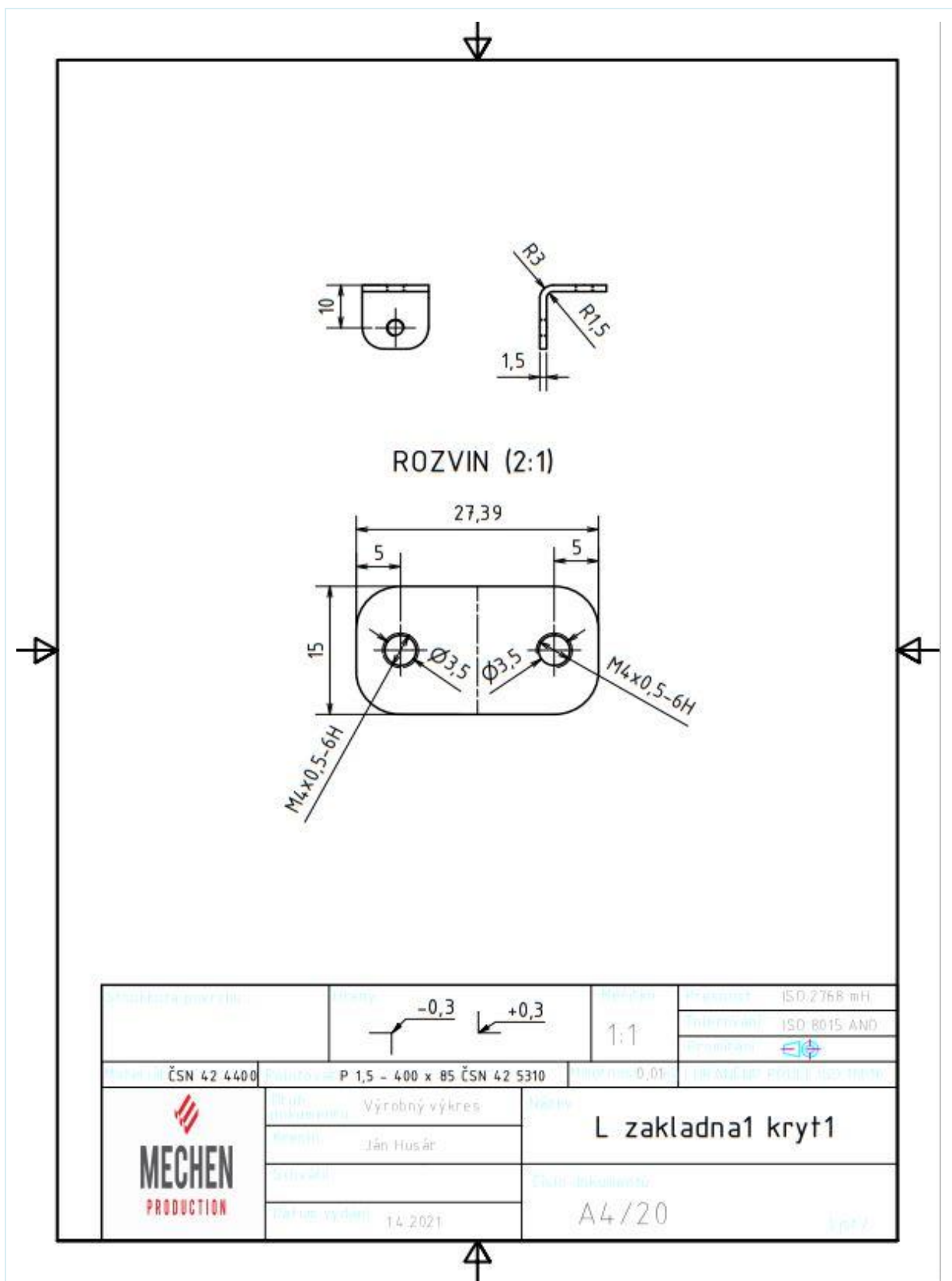
PRÍLOHA 3



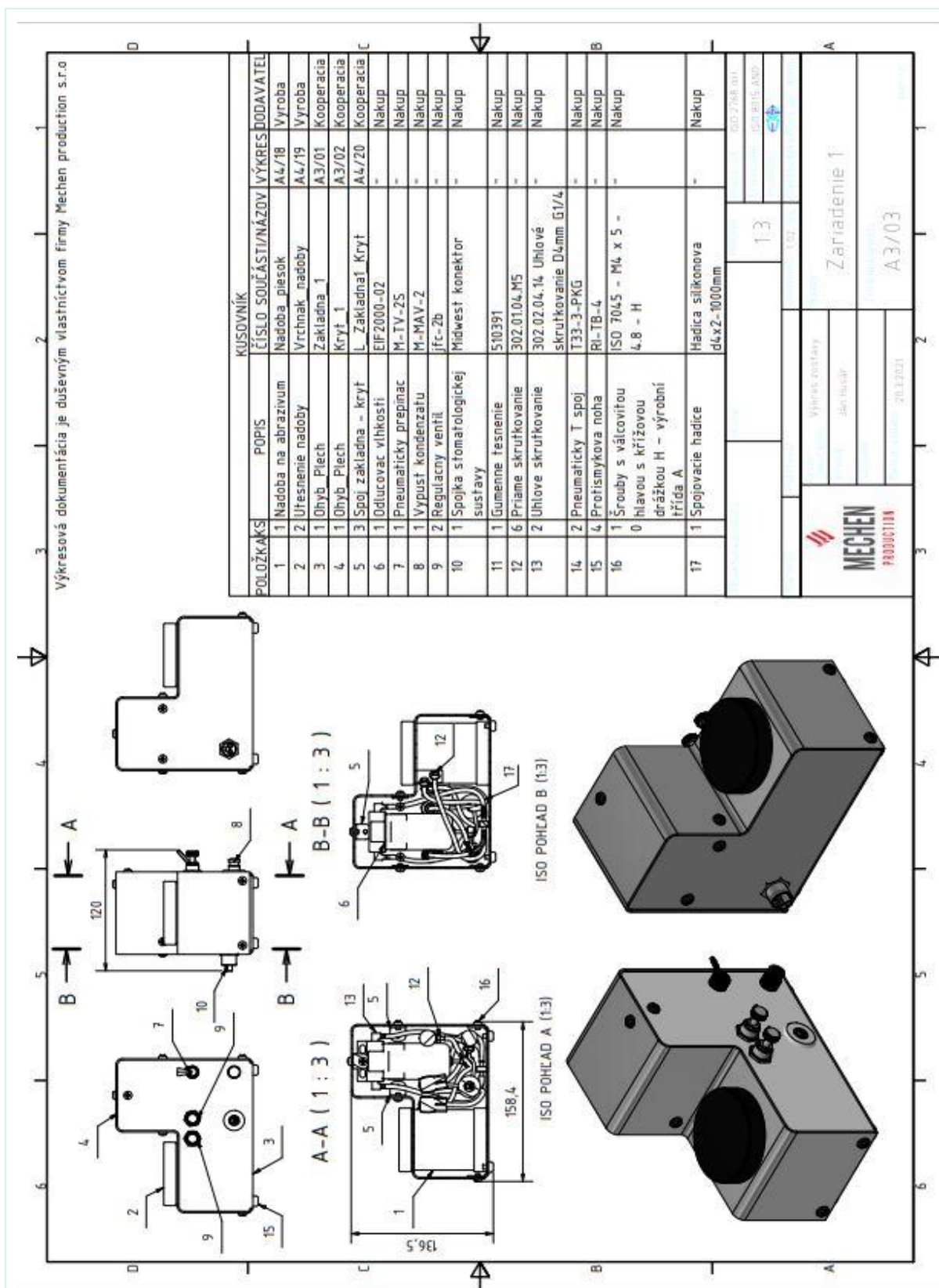
Výkres časti zariadenia – kryt1.



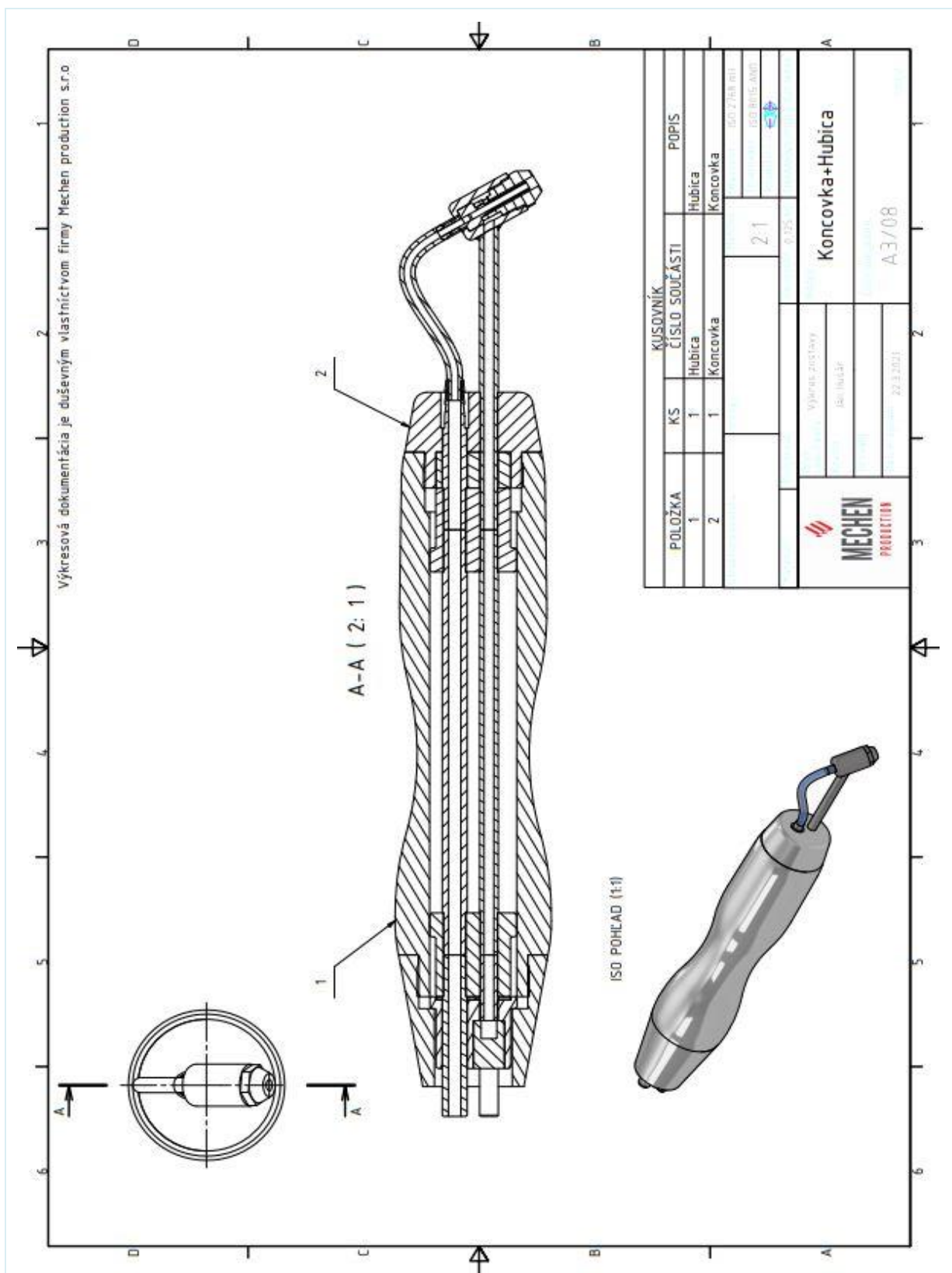
Výkres časti zariadenia – základňa1.



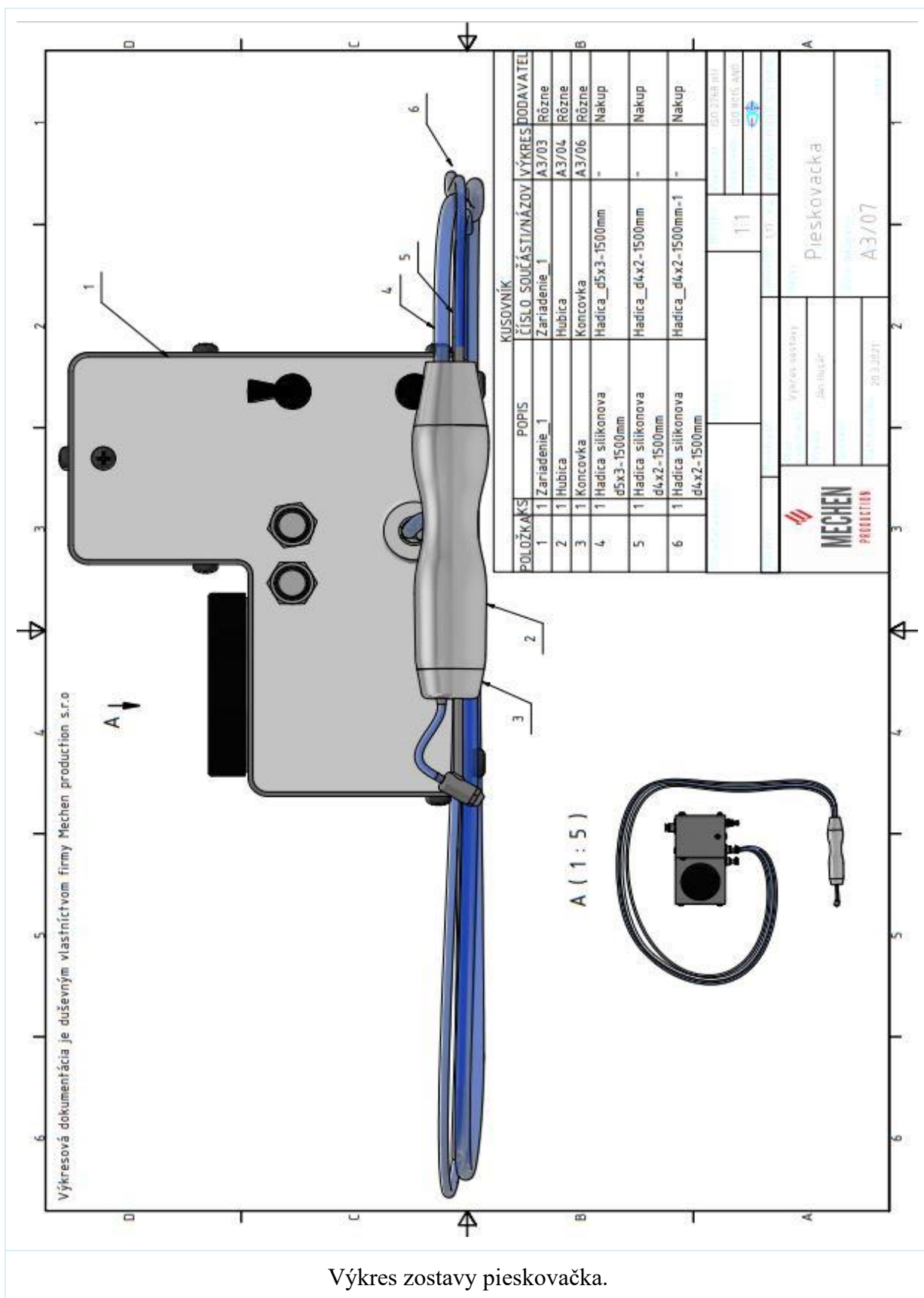
Výkres časti zariadenia – L základna1 kryt1.



Výkres zostavy zariadenie1.



Výkres zostavy koncovka+hubica.



Výkres zostavy pieskovačka.

PRÍLOHA 5

SIEMENS

SINUMERIK OPERATE

05/20/21
9:58 AM

NC/WKS/DIPLOMOUKA/DIPLOMOUKA27

```

;vystupna tryska
WORKPIECE(,,,"CYLINDER",0,0,-35,-35,4.5)
N10 G90 G54 G71 DIAMON G18 G95
N20 G0 X200 z 2
N30 T="DCMX 11 T3 04-UM 2015A L"
N40 G0 x10 z0
N50 G97 s6000 m4 m8
CYCLE62("CELO",0,,)
CYCLE952("CELO",,,"",2103122,0.25,0,0,1,0.1,0.1,0.5,0.1,0.1,0,1,1,0.5
CYCLE62("KONTURA1",0,,)
CYCLE952("KONTURA1",,,"",2101321,0.25,0,0,1,0.1,0.1,0.5,0.1,0.1,0,1,1
CYCLE62("DOKONCENIE_VPRAVO",0,,)
CYCLE952("DOKONCENIE_VPRAVO",,,"",2101321,0.12,0,0,1,0.1,0.1,0.5,0.1,
N60 G0 x200 z2
N70 T="DCMX 11 T3 04-UM 2015 R"
N80 G0 x45 z-17
N90 G97 s6000 m4 m8
CYCLE62("KONTURA2",0,,)
CYCLE952("KONTURA2",,,"",1101421,0.25,0.25,0,1,0.1,0.1,0.5,0.1,0.1,0,

```

Prvá časť programu v softvéri SinuTrain.

SIEMENS

SINUMERIK OPERATE

05/20/21
10:00 AM

NC/WKS/DIPLOMOUKA/DIPLOMOUKA27

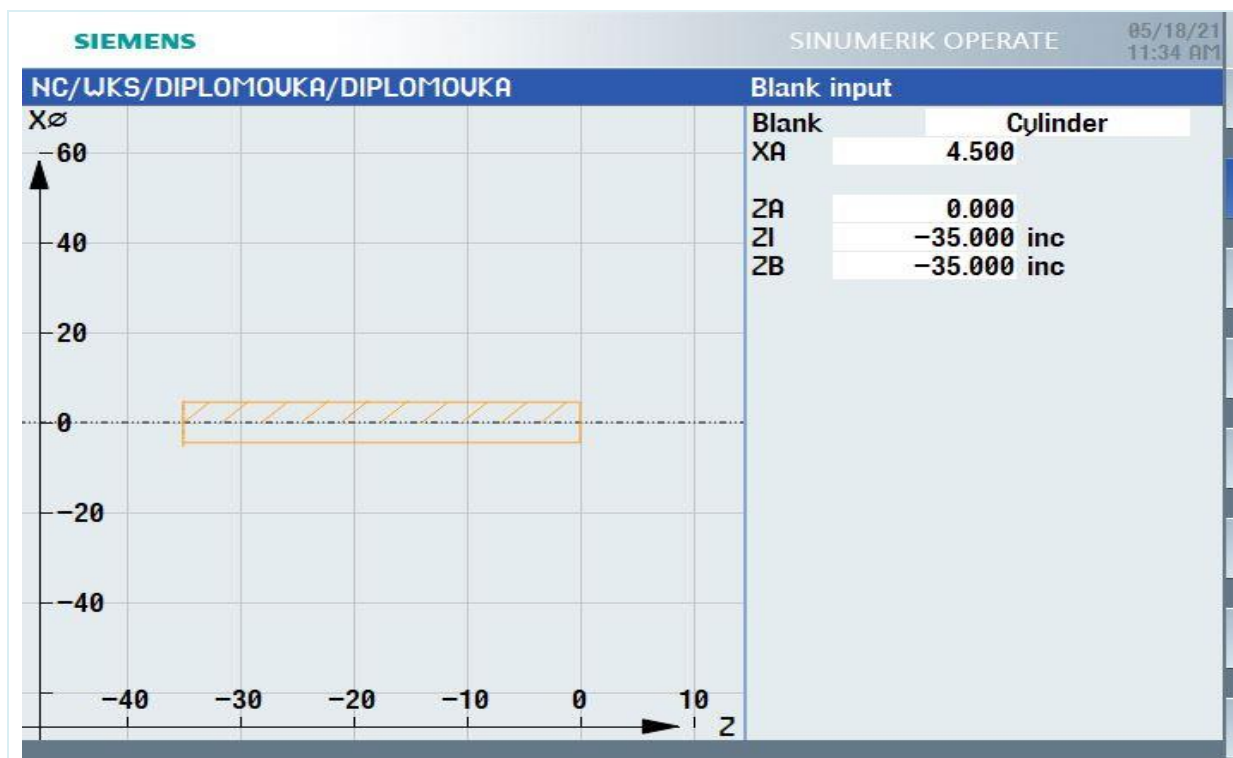
```

CYCLE62("KONTURA1",0,,)
CYCLE952("KONTURA1",,,"",2101321,0.25,0,0,1,0.1,0.1,0.5,0.1,0.1,0,1,1
CYCLE62("DOKONCENIE_VPRAVO",0,,)
CYCLE952("DOKONCENIE_VPRAVO",,,"",2101321,0.12,0,0,1,0.1,0.1,0.5,0.1,
N60 G0 x200 z2
N70 T="DCMX 11 T3 04-UM 2015 R"
N80 G0 x45 z-17
N90 G97 s6000 m4 m8
CYCLE62("KONTURA2",0,,)
CYCLE952("KONTURA2",,,"",1101421,0.25,0.25,0,1,0.1,0.1,0.5,0.1,0.1,0,
N100 G0 x200 z2
N110 T="N123T3-0140-0000-GS 1125"
N120 G0 x3 z-17.9
N130 G97 s500 m4 m8
N140 G1 x0 z-17.9
N150 G0 x3 z-17.9
N160 m5 m9
N170 m30
Total time: ☺14.92

```

Druhá časť programu v softvéri SinuTrain.

PRÍLOHA 5



Vytvorenie polotovaru.

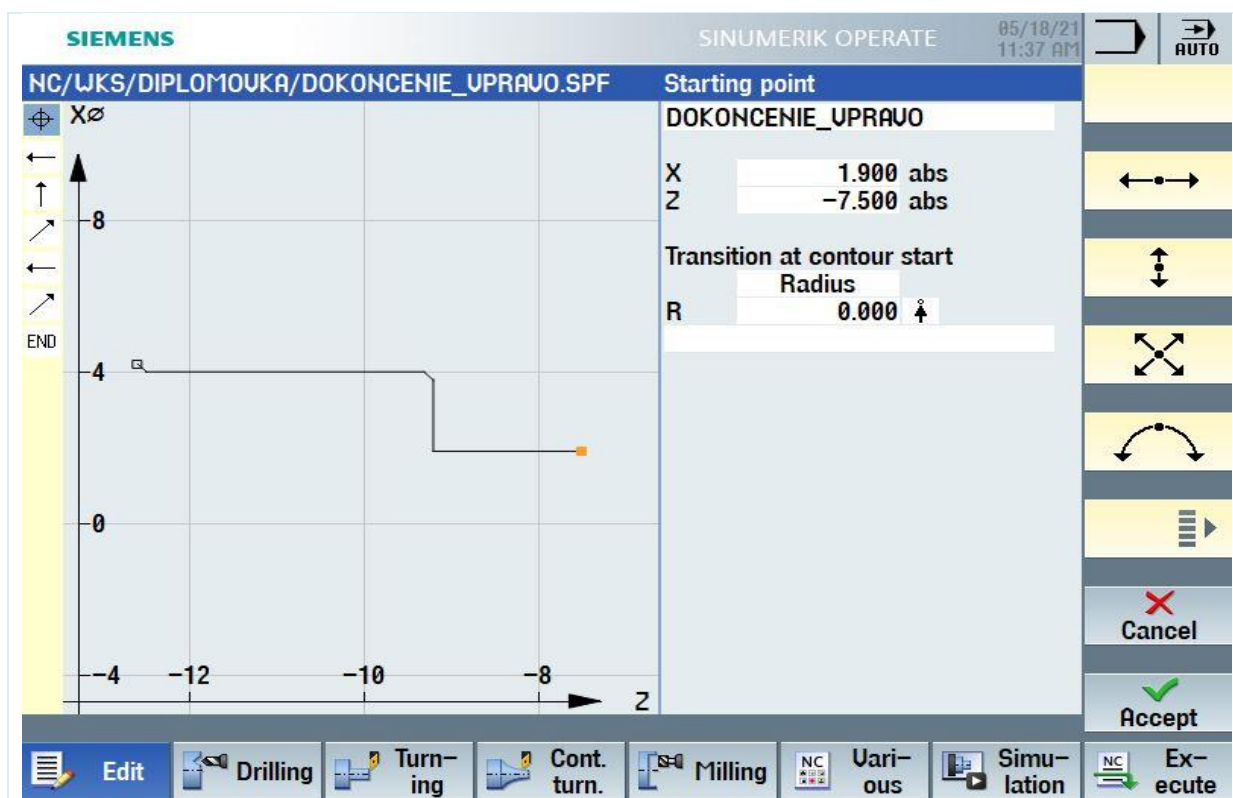


Kontúra pravej strany trysky podľa výkresovej dokumentácie.

PRÍLOHA 5

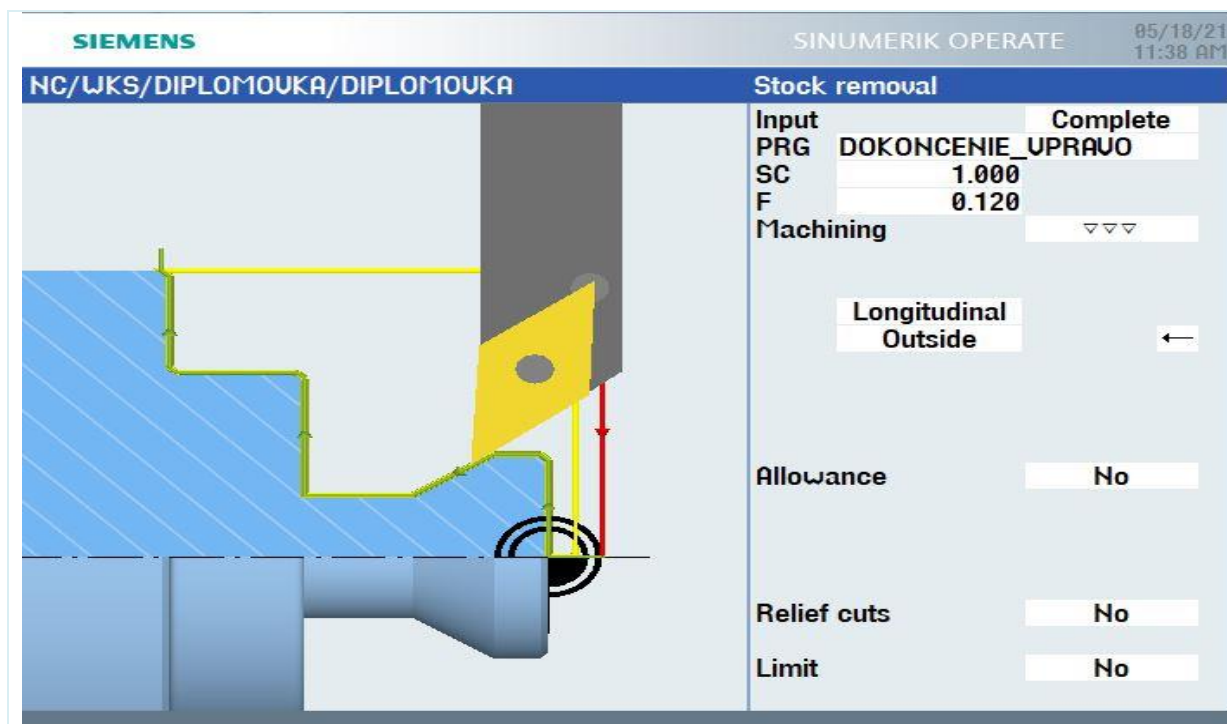


Kontúra ľavej strany trysky podľa výkresovej dokumentácie.

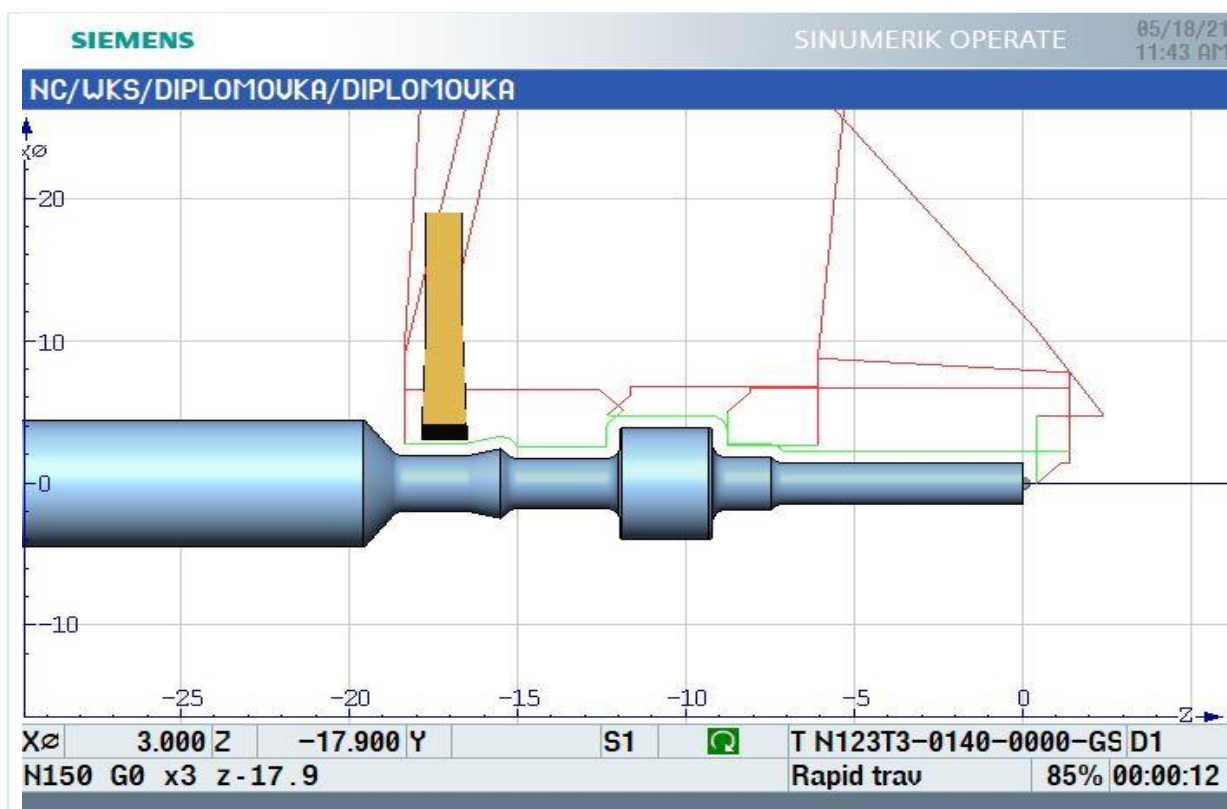


Kontúra určená na dokončenie priemeru 1,9 a priemeru 4.

PRÍLOHA 5



Nastavenie parametrov pre dokončenie.



Vizualizácia výstupnej trysky pred operáciou upichnutia (viď tabuľka 4.5).