



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

---

**FAKULTA BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ**

**Katedra biomedicínské techniky**

**Fantom pro flexibilní endoskopii**

**Flexible endoscopy phantom**

Bakalářská práce

Studijní program: Biomedicínská technika  
Vedoucí práce: doc. Ing. Jiří Hozman, Ph.D.

**Jan Strachota**

---

**Kladno 2023**

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Strachota** Jméno: **Jan** Osobní číslo: **483412**  
Fakulta: **Fakulta biomedicínského inženýrství**  
Garantující katedra: **Katedra biomedicínské techniky**  
Studijní program: **Biomedicínská technika**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Fantom pro flexibilní endoskopii**

Název bakalářské práce anglicky:

**Flexible endoscopy phantom**

Pokyny pro vypracování:

Realizujte konečnou podobu fantomu pro flexibilní endoskopii technologií 3D tisku s tím, že využijete rozdělení fantomu na segmenty z hlediska lepší přístupnosti a efektivnějšího využití a též vhodnějšího sledování vlastního endoskopu kamerou. Dále začleňte možnost ověření geometrické rozlišovací schopnosti endoskopu a využití různých doplňků a materiálů pro simulace použití instrumentaria (např. odstranění polypu apod.). Součástí fantomu bude také simulace režimu, kdy se používá omezené spektrum světelného záření pro detekci vybraných onemocnění (viz režimy jednotlivých výrobců jako NBI, iScan či FICE). Vypracujte dokumentaci včetně vzorového protokolu pro využití ve výuce a diskutujte výsledky na základě předběžného testování.

Seznam doporučené literatury:

- [1] Eds. Jeffrey M. MARKS, Brian J. DUNKIN. , Principles of Flexible Endoscopy for Surgeons., ed. 1, New York: Springer. , 2013, 282 s., <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-6330-6>, ISBN 978-1-4614-6329-0
- [2] Eds. Didier BUTHIAU, David KHAYAT, Virtual endoscopy, ed. 1, Paris: Springer, 2003, 220 s., ISBN 2287596585
- [3] Kol., CIRS - Tissue Simulation and Product Technology. Ultrasound, 1.1.2019, [Citováno 28.6.2019], <http://www.cirsinc.com/product-category/ultrasound/>

Jméno a příjmení vedoucí(ho) bakalářské práce:

**doc. Ing. Jiří Hozman, Ph.D.**

Jméno a příjmení konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **14.02.2023**

Platnost zadání bakalářské práce: **20.09.2024**

doc. Ing. Martin Rožánek, Ph.D.  
vedoucí katedry

prof. MUDr. Jozef Rosina, Ph.D., MBA  
děkan

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem „*Fantom pro flexibilní endoskopii*“ vypracoval samostatně a použil k tomu úplný výčet citací použitých pramenů, které uvádím v seznamu přiloženém k bakalářské práci.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů.

V Kladně dne 18. 05. 2023

.....

Jan Strachota

## **PODĚKOVÁNÍ**

Rád bych poděkoval vedoucímu své bakalářské práce, doc. Ing. Jiřímu Hozmanovi, Ph.D., za veškerou pomoc, cenné rady, podporu, a především čas věnovaný této práci.



## **ABSTRAKT**

### **Fantom pro flexibilní endoskopii:**

Fantom slouží jako náhrada vyšetřovaných objektů a umožňuje tak testovat parametry a charakteristiky zdravotnické přístrojové techniky. Předložená bakalářská práce se zaměřuje na vytvoření konceptu a následně funkčního vzorku fantomu pro flexibilní endoskopii, který bude vhodný pro využití ve výuce.

Hlavním cílem bakalářské práce bylo jak zhotovení fantomu pro flexibilní endoskopii s využitím metody 3D tisku, tak tvorba dokumentace včetně vzorového protokolu. Realizace fantomu se dělila na podcíle, které pojednávaly o rozdělení fantomu na segmenty pro lepší přístupnost a efektivnější využití, a o velikosti tlustého střeva nepřesahující délky endoskopů. Dalším podcílem bylo vytvoření doplňků pro využití instrumentária (odstranění polypů), realizování situací pro ověření geometrické rozlišovací schopnosti endoskopu či simulace režimu pro využití omezeného spektra světelného záření pro detekci vybraných onemocnění. Součástí fantomu byla tvorba snímání distálního konce endoskopu za pomoci miniaturní televizní kamery s využitím mikropočítače Raspberry Pi. Doplňkové části pro fantom byly, stejně jako celý projekt, navrženy v programu Fusion 360.

### **Klíčová slova**

Endoskopie, fantom, flexibilní endoskop, NBI, optické brány, Raspberry Pi

## **ABSTRACT**

### **Flexible endoscopy phantom:**

The phantom serves as a surrogate for the objects to be examined and thus allows testing the parameters and characteristics of medical instrumentation. The present bachelor thesis focuses on the development of a concept and then a prototype of a phantom for flexible endoscopy, which will be suitable for use in teaching.

The main objective of bachelor's thesis was both the fabrication of a phantom for flexible endoscopy using the 3D printing method and the creation of documentation including a sample protocol. The implementation of the phantom was divided into sub-objectives that addressed the division of the phantom into segments for better accessibility and more efficient use, and the size of the colon not exceeding the length of the endoscopes. Other sub-objectives were the creation of accessories for the use of the instrumentarium (polyp removal), the implementation of situations to verify the geometric resolution of the endoscope, or the simulation of a mode to use a limited spectrum of light radiation for the detection of selected diseases. The phantom included the creation of imaging of the distal end of the endoscope using miniature television camera using a Raspberry Pi microcomputer. The additional parts for the phantom, as well as the entire project, were designed in Fusion 360.

### **Keywords**

Endoscopy, Flexible Endoscope, NBI, Optical gates, Phantom, Raspberry Pi

# Obsah

<b>Seznam zkratk</b> .....	<b>8</b>
<b>1 Úvod</b> .....	<b>10</b>
<b>2 Přehled současného stavu</b> .....	<b>12</b>
<b>3 Cíle práce</b> .....	<b>16</b>
<b>4 Metody</b> .....	<b>17</b>
4.1 Parametry flexibilních endoskopů.....	17
4.2 Použité přístroje, materiály a součástky .....	20
4.3 Výrobní metody a software využitý při realizaci simulátoru .....	22
4.3.1 Manuální výroba konceptu fantomu.....	22
4.3.2 Metoda 3D tisku .....	23
4.3.3 Modelovací program Fusion 360.....	25
4.4 Metody použité pro realizaci snímání distálního konce endoskopu .....	25
4.4.1 Blokové schéma zapojení měřicího řetězce .....	25
4.4.2 Blokové schéma zapojení optických bran včetně zapojení do Raspberry Pi .....	26
4.4.3 Senzory polohy .....	26
4.4.4 Raspberry Pi .....	27
<b>5 Výsledky</b> .....	<b>28</b>
5.1 Realizace konceptu fantomu s využitím polystyrenové desky.....	28
5.2 Realizace funkčního vzorku fantomu metodou 3D tisku .....	35
5.3 Tvorba návodu pro využití ve výuce.....	47
<b>6 Diskuse</b> .....	<b>48</b>
<b>7 Závěr</b> .....	<b>53</b>
<b>Použitá literatura</b> .....	<b>54</b>
<b>Seznam obrázků</b> .....	<b>60</b>
<b>Seznam tabulek</b> .....	<b>62</b>
<b>Příloha A: Program pro ovládání optických bran včetně kamery</b> .....	<b>63</b>
<b>Příloha B: Návod fantomu pro využití ve výuce, český jazyk</b> .....	<b>64</b>
<b>Příloha C: Návod fantomu pro využití ve výuce, anglický jazyk</b> .....	<b>65</b>
<b>Příloha D: Výkresy, rozměry [mm]</b> .....	<b>66</b>

# Seznam zkratek

## Seznam zkratek

Zkratka	Význam
2D	Dvourozměrný
3D	Trojrozměrný
ABS	Akrylonitrilin Butadien Styren
ASA	Acrylonitrile Styrene Acrylate
CE	Contrast Enhancement
CIRS	Computerized Imaging Reference Systems, Inc.
CSI	Konektor pro Raspeberry Pi
CT	Computed Tomography
ČVUT	České vysoké učení technické
ENDOSIM	Evidence-Based Simulation
FBMI	Fakulta biomedicínského inženýrství
FDM	Fused Deposition Modeling
HD	High Definition
HDMI	High-Definition Multimedia Interface
IR	Infračervené
IR LED	Infračervená led dioda
MRI	Magnetic Resonance Imaging
NE	North-East (severo-východ)
NIDDK	The National Institute of Diabetes and Digestive and Kidney Diseases
PCB	Printed Circuit Board
PETG	Polyethylentereftalát Glykol
PLA	PolyLactic Acid
SE	South-East (jiho-východ)

SE	Surface Enhancement
TE	Tone Enhancement
USB	Universal Serial Bus
VR	Virtual Reality

---

# 1 Úvod

Endoskopie se řadí mezi jednu z nejvyužívanějších lékařských a diagnostických metod, které mají v moderním zdravotnictví nenahraditelné místo. [1] Slouží nejen k vyšetření vnitřních orgánů u pacientů, ale i k odběru tkání, poživ a k samotným lékařským zákrokům, tj. k terapii. V dnešní uspěchané době často zapomínáme na různá preventivní vyšetření. Symptomy, kterými se nás tělo snaží upozornit na možný zdravotní problém občas zdárně přehlízíme. Důvodem, proč jsou právě tyto symptomy přehlíženy může být i obava z hrozících vyšetření, mezi která neodmyslitelně patří i endoskopie. Mnoho pacientů má z endoskopického vyšetření obavy. Dnes, ve 21. století, se již nemusí nutně jednat o nepříjemný lékařský zákrok. Samozřejmě existují i výjimky, kterými jsou například kolonoskopie, bronchoskopie či gastroskopie. Při těchto nepříjemných vyšetřeních je pacient uveden do celkové nebo do lokální anestezie. V případě kolonoskopického vyšetření lékař zavede sondu do pacientova konečníku, odkud je možné zkoumat vnitřní strukturu a stavbu střev. Pro takto specifická vyšetření je nutné, aby měl lékař bohaté zkušenosti, ideálně získané již po dobu studia na vysoké škole.

Vysoké školy, které vyučují lékařské obory, umožňují svým studentům praktický nácvik jednotlivých úkonů spojených s jejich lékařským zaměřením. Tato praktická cvičení probíhají po většinou na simulátorech, které jsou k tomu určené. Simulátory můžeme dělit na virtuální a fyzické. Synonymem pro slovo simulátor je slovo fantom. Virtuální fantom je tvořen ve virtuálním prostředí, které simuluje danou problematiku. Jsou zde nasimulovány i identické anatomické struktury. Fantomy, zaměřující se na endoskopii, vyrábí například firma CAE Healthcare. Jejich přístroj pro praktický virtuální trénink se jmenuje Endo VR. [2] Fyzickým fantomem se rozumí synteticky, záměrně vytvořený prostředek, který slouží jako náhrada pacienta, respektive vyšetřovaného objektu. Tento fantom pak umožňuje testovat parametry a charakteristiky zdravotnické přístrojové techniky.

Fantomů pro zdravotnickou techniku existuje nepřehledné množství. Můžeme nalézt fantomy pro diagnostickou výpočetní tomografii, elastografii, magnetickou rezonanci, radioterapii, endoskopii apod. [3]

Důvodem pro vytvoření této bakalářské práce byla absence fantomu pro flexibilní endoskopii na Fakultě biomedicínského inženýrství ČVUT v Kladně. Fakulta zatím bohužel nedisponuje fyzickým simulátorem pro výuku svých studentů. Navržený simulátor by se mohl posléze využívat při výuce, a to nejen biomedicínských techniků, ale i inženýrů. Fakulta disponuje pouze flexibilními endoskopy pro kolonoskopii, proto se práce zaměřila na vytvoření takového fantomu, který bude vhodný právě pro využívání těchto endoskopů. Fantom simuluje průchod tlustým střevem do dutiny, která slouží k uchycení držáků polypů a barevné dodatkové tabule pro rozlišovací schopnost endoskopu.

Na trhu existuje nepřeberné množství výrobců, kteří se zaměřují na výrobu simulátorů pro endoskopii. Někteří z nich se čistě zabývají virtuálními simulátory, jiní zase preferují výrobu fyzických i virtuálních. Žádný z těchto výrobců ale neumožňuje, aby byl fantom rozdělen na segmenty a disponoval dodatečnou kontrolou distálního konce endoskopu pomocí mini kamery. Díky tomu, že je fantom rozdělen na segmenty, je možné nejen libovolné sledování distálního konce endoskopu, ale i sledování polohy, ve které se aktuálně nachází. Je tak usnadněna i případná oprava poškozených částí fantomu a není tedy nutné vyrobit celý fantom znovu. Doplnková kontrola distálního konce usnadňuje monitoring instrumentária při vyndávání polypů z tlustého střeva a dutiny.

## 2 Přehled současného stavu

Endoskopie je terapeutická a diagnostická metoda, kterou je možné zobrazovat vnitřní dutiny těla a díky tomu získávat informace o stavu orgánů, tkání a případně provádět i jejich odběry, či přímo terapeutický zákrok. Toto lékařské vyšetření je prováděno pomocí tenkého, flexibilního nástroje, tzv. tubusu. Flexibilním nástrojem se rozumí endoskop, který je do těla pacienta zaváděn přirozenými otvory, kterými je konečník, dutina ústní, nosní dírky apod. Pokud není možné vyšetření provést přes přirozené otvory pacienta, zhotoví se malé, uměle vytvořené v kůži. Pak se jedná o tzv. laparoskopii, respektive miniinvazivní chirurgii, či také jednodenní chirurgii. [4] Případně je možné využít i rigidních endoskopů, které se používají pro invazivní vyšetření kloubů apod. Vyšetření je často využíváno k diagnostice a léčbě různých onemocnění, kterými jsou onemocnění průdušek a plic, žlučových cest nebo trávicího traktu. Lékaři mohou díky endoskopii získat přesný obraz vnitřních orgánů, stanovit diagnózu a navrhnout vhodnou léčbu. Americký Národní institut pro zažívací a ledvinové nemoci (NIDDK) definuje endoskopii jako metodu pro odhalení onemocnění trávicího traktu, včetně polypů, nádorů, vředů a vnitřního krvácení. [5] Lékařská prohlídka touto metodou též umožňuje odebrání vzorků tkání pro histologická vyšetření a provádění různých léčebných zákroků. Obvykle se jedná bezbolestnou a bezpečnou lékařskou proceduru. Běžně je prováděna při celkové či lokální anestezii, ale i přes to může být pro pacienty nepříjemná. Celkově je endoskopie velice užitečná pro stanovení léčby mnoha onemocnění. [6] [7] Ačkoli je tato metoda velice užitečná, tak výuka lékařů pro správné provedení vyšetření je velice zdlouhavá. Při těchto vyšetřeních je nutné, aby měl lékař bohaté zkušenosti a zamezil tak zranění pacienta. Největší výzvou a zároveň překážkou v učení se o endoskopii je orientace v těle pacienta. Této zkušenosti se studenti vyučují přímo na pacientech v nemocnicích při různých vyšetřeních, která vede jejich zkušený vyučující a dohlíží na jejich postup. Proto získávání zkušeností trvá dlouho a student po vystudování lékařských fakult, ještě před tím, než dokončí atestaci, většinou nedostane práci na endoskopickém pracovišti. V takovém případě může působit na pracovišti jako pomocná síla, nikoli jako primární lékař pro endoskopická vyšetření. Proto pro urychlení těchto procesů a získávání zkušeností se využívají různé simulátory, které jsou buď virtuální nebo fyzické.



Fyzické simulátory nazýváme fantomy. Fantomem se v medicíně rozumí model/umělé těleso, které je většinou konstruováno tak, aby splňovalo požadavky pro jeho využití. Což znamená, že musí správně a věrohodně simulovat lidské tělo, jeho vlastnosti, tkáně, pohyblivost kloubů i krevní oběh. V medicíně je využití fantomů hojně rozšířené, a to od zaučování lékařů až po testování nových terapeutických a diagnostických metod. Za pomoci chirurgického fantomu si tak lékař může nanečisto vyzkoušet operační zákroky. Nejen, že se na konkrétních částech těla zdokonalí v provádění technice, ale i v celkovém vedení zákroku. Dále se mohou využívat pro testování zobrazovacích diagnostických metod prostřednictvím MRI nebo CT. Fantomy pro tyto zobrazovací metody mohou být naplněny kontrastními látkami, díky kterým dochází ke zvýšení kontrastu na snímaném snímku a zkvalitnění diagnostiky fantomu. [8] [9]

Vzhledem k tomu, že se bakalářská práce zabývá endoskopickými fantomy je na místě jejich přesná definice. Endoskopické fantomy jsou konstruovány tak, aby co nejpřesněji simulovaly anatomii tkání a vnitřních orgánů, do kterých se endoskopem vstupuje. Tyto fantomy se používají pro nácvik endoskopických zákroků, kterými jsou kolonoskopie, bronchoskopie a jiné. Jako materiály pro výrobu těchto fantomů slouží povětšinou různorodé plastové hmoty, měkké gumy nebo biologické materiály, které mají za úkol nasimulovat tkáně či buňky. Vhodný materiál, pro zhotovení fantomu, je volen až na základě dalšího využití. [10]

V dnešní době nalezneme na trhu nepřeberné množství fantomů a samozřejmě i výrobců, kteří se právě jejich výrobou zabývají. Ceny těchto fantomů se pohybují v řádu od desítek až po stovky tisíc korun, tudíž pro výuku na vysokých školách nejsou vždy dostupné. Většinou bývá složité získat finanční prostředky pro nákup této techniky. Mezi renomované firmy, které se zabývají vývojem a výrobou fantomů pro flexibilní endoskopii patří například firma CIRS (Computerized Imaging Reference Systems, Inc.). Nejen, že zajišťuje a kontroluje kvalitu výrobků, ale zabývá se i školeními a výzkumem v dané oblasti. Jeden z fantomů této společnosti se využívá i k tréninku ultrazvukové endoskopie. Konkrétně se jedná o modely ATS GIETP, ATS TEUTP a ATS TEUS-B. Při práci s tímto fantomem uživatel získává neocenitelné zkušenosti v podobě vedení flexibilního endoskopu kanálem, který věrohodně napodobuje lidskou tkáň. Dále pod ultrazvukovým vedením zavádí do cíle bioptické jehly a identifikuje simulované struktury. Výše zmíněné fantomy jsou vyráběny jako jednorázové, protože při

mnohonásobném používání a zavádění jehel se značně snižuje schopnost získat čistý obraz z endoskopu. [11] Dalším fantomem je model ATS 549, který je využíván pro optimalizaci testování v celém rozsahu diagnostických zobrazovacích ultrazvukových sond. [12]

Dále firma Coburger Lehrmittellandstalt vyrábí modely lékařských fantomů, které jsou využívány ke gastrobulboskopii, urologii, katetrizaci, intubaci, bronchoskopii, artroskopii, pelvoskopii, tracheotomii a kolonoskopii. Všechny výše zmíněné modely jsou vyráběny jako části těla či orgánů, které jsou využívány v konkrétním lékařském odvětví. Prostřednictvím fantomů lékaři dokážou přesně replikovat reálné funkční procesy ošetrovatelských či diagnostických činností. [13]

Firma CAE Healthcare vytváří EndoVR Intervenční simulátor. Jedná se o simulátor pro bronchiální a gastrointestinální trénink. Dále nabízí výukové moduly EBUS-TBNA, bronchoskopii, horní a dolní gastrointestinální trakt, který poskytuje studentům komplexní soubor zákroků podstatných pro jejich výuku, která je založena na simulaci. Mezi klíčové vlastnosti simulátoru patří replikace endoskopických postupů pomocí haptické technologie a výše zmiňované softwarové moduly. [14]

True Phantom Solution, Inc. je firma, která reprodukuje vlastnosti a struktury lidského nebo zvířecího těla pomocí moderních technologií a syntetických tkáňových materiálů. Její výrobky jsou zásadní pro vývoj inovativních diagnostických zobrazovacích technik, školení studentů medicíny a plánování neurochirurgické léčby. [15] Fantom pro flexibilní endoskop je tvořen ze syntetických materiálů, který realisticky reprodukuje lidské srdce. Tento průhledný fantom srdce je kompatibilní s endoskopickým zařízením. Využívá se pro jeho optickou průhlednost, která je klíčová při trénincích studentů medicíny nebo ve výzkumných laboratořích. [16]

Poslední firmou, která se zabývá endoskopickými fantomy, je ENDOSIM. ENDOSIM vyrábí hned několik fantomů pro endoskopii, které se skládají z plastového trenážeru a jednorázového ex-vivo vzorku. První z těchto fantomů je fantom pro gastrointestinální endoskopii. Druhým modelem je fantom pro transuretrální endoskopii. Ten využívá tkáň prasečího močového měchýře, který má změněnou anatomii, aby se co nejvíce podobal tomu lidskému. V cystické stěně mohou být vytvořeny umělé nádory simulující techniky transuretrální ablace. Posledním fantomem, využívající ex-vivo vzorky, je fantom pro plicní endoskopii.

Fantomy této firmy mají jednu velkou nevýhodu a to tu, že jsou pouze na jedno použití. Firma je zasílá zmražené a po použití je nutné vzorky tkání vyhodit. Dalším produktem je тренаžér endoskopických dovedností. Ten je určen pro zlepšení a vyhodnocení endoskopických dovedností. Je rozdělen na pět oddílů zaměřených na úkoly, z nichž každý rozvíjí určitou dovednost využívanou v endoskopii. [17]

Z výše uvedeného vyplývá, že je pro studijní účely finančně dostupnější vyhotovení vlastního fantomu s využitím metody 3D tisku, která je nejdostupnějším a momentálně nejvíce využívaným prostředkem pro výrobu jednotlivých komponentů v moderním lékařství. Právě proto byla zhotovena tato bakalářská práce, která měla za cíl vytvořit fantom pro flexibilní endoskopii. Jelikož jsou na Fakultě biomedicínského inženýrství dostupné endoskopy pro kolonoskopii, tak byl fantom vytvořen jako simulace tlustého střeva s vyústěním do dutiny. Dutina slouží k uchycení držáků polypů a dodatkové barevné tabule pro rozlišovací schopnost endoskopu. Výhodou, oproti firmami vyráběnými fantomy, je zde dodatečná kontrola distálního konce endoskopu pomocí minikamery a rozčlenění fantomu na segmenty, které zajišťují lepší přístupnost a efektivnější využití.

### 3 Cíle práce

Cílem pro vypracování bakalářské práce bylo vyhotovení konceptu fantomu, který bude sloužit jako návrh budoucího funkčního vzorku fantomu vytištěného na 3D tiskárně.

Hlavními cíli bakalářské práce bylo zhotovení fantomu pro flexibilní endoskopii s využitím metody 3D tisku a tvorba dokumentace včetně vzorového protokolu pro využití ve výuce.

Realizace fantomu se dělila na podcíle, které pojednávaly o rozdělení fantomu na segmenty pro lepší přístupnost a efektivnější využití, a o velikosti tlustého střeva nepřesahující délky endoskopů. Dále za pomoci doplňků a materiálů vytvořit situace pro využití instrumentária (například odstranění polypů apod.). Realizovat situace pro ověření geometrické rozlišovací schopnosti endoskopu. Posledním podcílem byla simulace režimu pro využití omezeného spektra světelného záření pro detekci vybraných onemocnění.

Součástí fantomu byla tvorba snímání distálního konce endoskopu za pomoci miniaturní televizní kamery s využitím mikropočítače Raspberry Pi. Tento systém má, oproti běžně dostupným fantomům, výhodu v dodatečné kontrole distálního konce endoskopu při situacích, kdy je nutné využít instrumentarium pro odstranění polypů.

Doplňkové části pro fantom byly navrženy v programu Fusion 360. Konkrétně se jednalo o tvorbu „zátek“ na segmenty, které slouží pro manuální kontrolu endoskopu ve fantomu, popisy všech segmentů a následně i zhotovení detailů pro rozlišovací schopnost endoskopu.

## 4 Metody

Pro sestavení celého fantomu bylo využito mnoho moderních metod, které jsou oblíbené zejména při výrobě konceptů či funkčních vzorků, a to nejen ve vědecko-výzkumných projektech, ale i v průmyslu jako takovém. Výroba konceptu fantomu byla provedena manuálně, kdy byl do polystyrenové desky vyřezán kanál pro vložení komponent. Následná výroba funkčního vzorku byla provedena pomocí hojně rozšířeného 3D tisku technologií FDM. K vytvoření dokumentace a uspořádání fantomu byl využit program Autodesk Fusion 360. Mimo jiné byly použity i elektronické součástky a systémy umožňující plnou funkčnost celého simulátoru. Pro snímání distálního konce flexibilního endoskopu byla, jako rozšiřující doplněk, zvolena minikamera a displej pro mikropočítač Raspberry Pi. Kamera byla umístěna nad dutinu, která slouží k uchycení držáků polypů a dodatkové barevné tabule pro rozlišovací schopnost endoskopu. Optická brána byla použita jako indikátor pro zapnutí kamery, která byla umístěna nad vstupní otvor fantomu pro indikaci distálního konce endoskopu. Optické brány snímaly infračervené záření emitované z IR LED diody, které bylo snímáno fototranzistorem. Raspberry Pi následně zaregistroval impuls z fototranzistoru a zapnul kameru. Paralelně se na displeji zobrazoval obraz snímáný kamerou.

Níže uvedené podkapitoly pojednávají o parametrech flexibilních endoskopů, tvorbě konceptu a funkčního vzorku fantomu, zapojení optických bran a minikamery s mikropočítačem Raspberry Pi.

### 4.1 Parametry flexibilních endoskopů

Pro vytvoření fantomu bylo nejprve nutné zjistit hlavní parametry endoskopů, bez nichž by nebylo možné fantomy vhodně navrhnout. Následující tabulka (Tabulka 1) poukazuje na nejdůležitější parametry flexibilních endoskopů dostupných na Fakultě biomedicínského inženýrství. Nejdůležitějším parametrem, pro návrh fantomu, byl maximální úhel jeho ohnutí, který u prvních tří endoskopů činil  $180^\circ$  a u čtvrtého  $210^\circ$ . Na Obrázku 1 je schematicky zobrazen maximální úhel ohnutí endoskopu. Tento údaj byl důležitý pro navržení a realizaci ohybů pracovního kanálu fantomu tak, aby nebyl poškozen endoskop a pracovní kanál byl snáze průchodný. Parametry, jako vnější průměr distálního konce endoskopu (9,8 mm, 9,2 mm a 9 mm) a jeho celková

délka (1 345 mm), byly využity pro navržení a realizování vstupu do fantomu a délky jeho pracovního kanálu.

Dalším důležitým parametrem flexibilních endoskopů je jejich schopnost využívat filtraci barev ve viditelném spektru světelného záření. Olympus tento režim nazývá NBI (Narrow Band Imaging), Pentax I-SCAN a Fujinon FICE (Flexible spectral Imaging Color Enhancement). Filtrace světla může být řešena dvěma způsoby. Prvním způsobem je fyzické využití mechanických filtrů, které jsou uloženy v endoskopu před zdrojem světla. Druhý způsob není fyzický, nýbrž softwarový a digitální filtry jsou tak řešeny tímto způsobem. Filtrují tak danou vlnovou délku světla, která není potřeba pro diagnostiku. Mechanické filtry používá pouze firma Olympus, která byla průkopníkem ve využití této filtrace. Vzhledem k tomu, že firma Olympus neumožnila žádné firmě používat jejich techniku, tak se firmy Pentax a Fujinon rozhodly pro využití digitální filtrace. A tím mohly konkurovat firmě Olympus.

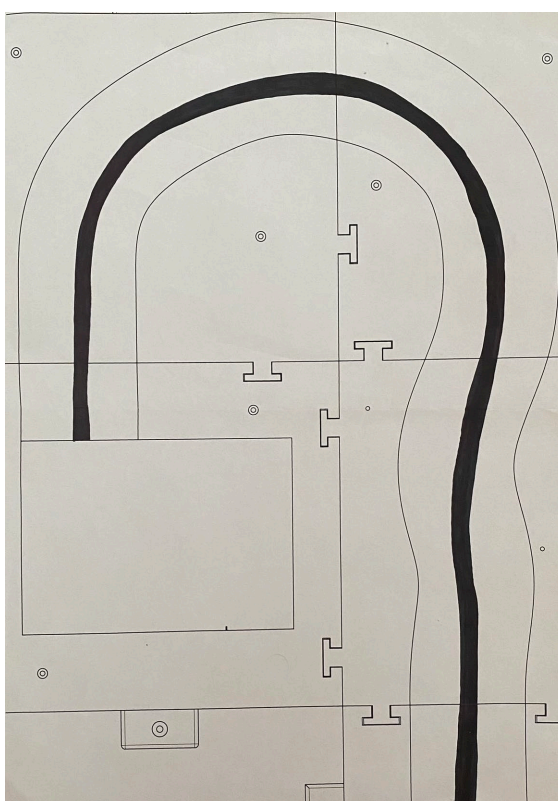
Režim NBI pracuje na principu mechanického odfiltrování vlnové délky světla, a to za použití pouze dvou vlnových délek. Jedná se o vlnové délky 415 nm a 540 nm, které odpovídají modré a zelené barvě viditelného světla. Tyto vlnové délky jsou dobře absorbovány červeným krevním barvivem. Délka 540 nm proniká hlouběji do tkání a zobrazuje venózní pleteně. Naopak délka 415 nm tak hluboko penetrovat nedokáže. Je spíše povrchová. To může být například užitečné při detekci malých nádorů v trávicím traktu. [18] [19] [20]

Režim I-SCAN vylepšuje obraz pomocí tří algoritmů. První z nich je pro zvýraznění kontrastu (CE), druhý pro vylepšení tónů (TE) a třetí pro povrchové vylepšení celkového obrazu (SE). Režimy jsou uspořádány sériově tak, aby bylo možné využít dvou nebo více režimů najednou. Přepínání režimů je prováděno v reálném čase, tudíž to usnadňuje samotnou práci s endoskopem při vyšetřování. I-SCAN se často používá při vyšetření jícnu, střev, průdušek nebo žaludku. [21] [22]

FICE režim rozděluje světlo endoskopu na tři barevné kanály – modrý, zelený a červený. Přizpůsobuje jejich intenzitu tak, aby byly co nejvíce v souladu s vlastnostmi trávicího traktu. Díky tomu jsou barevné odstíny na obrazovce výraznější a detaily jsou tak lépe viditelné. Detaily jsou sledovány v reálném čase a mají vylepšenou vizualizaci barev a kontrastů. Režim je užitečný pro detekci a diagnostiku různých patologií trávicího traktu, jako jsou například polypy nebo vnitřní krvácení. [23]

**Tabulka 1: Parametry použitých flexibilních endoskopů**

<b>Funkce</b>	<b>GIF-Q145</b>	<b>GIF-Q165</b>	<b>GIF-H185</b>	<b>GIF-PQ20</b>
Zorné pole	130°	140°	140°	100°
Vnější průměr distálního konce	Ø 9,8 mm	Ø 9,2 mm	Ø 9,2 mm	Ø 9 mm
Minimální viditelná vzdálenost od konce distálního konce flexibilního endoskopu	3 mm	2,8 mm	3 mm	3 mm
Úhlový rozsah ohybů	Nahoru: 210°, dolu: 90°, vpravo: 100°, vlevo: 100°	Nahoru: 210°, dolu: 90°, vpravo: 100°, vlevo: 100°	Nahoru: 210°, dolu: 90°, vpravo: 100°, vlevo: 100°	Nahoru: 210°, dolu: 90°, vpravo: 100°, vlevo: 100°
Celková délka	1 345 mm	1 345 mm	1 345 mm	1 345 mm
Maximální úhel ohnutí	180°	180°	180°	210°



**Obrázek 1:** Schematické zobrazení maximálního úhlu ohybu endoskopu

## 4.2 Použité přístroje, materiály a součástky

Před zhotovením konceptu i funkčního vzorku fantomu bylo nutné zvážit, z čeho bude realizován. Z tohoto důvodu byl do následujících tabulek vypsán seznam všech použitých materiálů, komponentů a přístrojů, které byly zapotřebí k vyhotovení obou fantomů.

V první, níže uvedené tabulce (Tabulka 2), je seznam materiálů a komponent pro vytvoření fantomů.



**Tabulka 2: Seznam materiálů a komponent fantomů**

<b>Materiál/komponenta</b>	<b>Model</b>	<b>Výrobce</b>	<b>Země původu</b>	<b>Odkaz</b>
Akrylátová tónovací barva – modrá	HC 0450	HET	ČR	[24]
Akrylátová tónovací barva – světle modrá	HC 0410	HET	ČR	[25]
Akrylátová tónovací barva – zelená	HC 0582	HET	ČR	[26]
Dotyková obrazovka Raspberry Pi	Raspberry Pi 7"	Raspberry Pi Foundation	USA	[27]
Dvousložkové epoxidové lepidlo	N/A	CEYS	N/A	[28]
Flexibilní připojení Alcadrain	A702 50/40 x 50/40	DEK	ČR	[29]
HT odbočka 50/50–45°	HTEA 50/50/45	Pipelife	ČR	[30]
Husí krk trubka SRC 8 11,5 mm	N/A	N/A	ČR	[31]
Kamera Raspberry Pi	Raspberry Pi kamera V2	Raspberry Pi Foundation	USA	[32]
MAMUT GLUE High Tack	QMS011	Den Braven	ČR	[33]
Měděný drát Ø 0,5 mm	N/A	N/A	ČR	N/A
Neodymové magnety 5 mm	5 x 2 mm	N/A	N/A	[34]
Nepájivé pole	N/A	N/A	ČR	N/A
Nízko expanzní pěna	PU-GUNFOAM 750 Low Expansion	Den Braven	ČR	[35]
Nůž odlamovací s kovovou výztuhou a zásobníkem, 18 mm	N/A	EXTOL	ČR	[36]
Optické brány	N/A	N/A	N/A	[37]
PLA	Prusa Galaxy Black	Prusa Research	ČR	[38]
Plastová deska 580 x 390 x 10 mm	N/A	N/A	N/A	N/A
Polystyren 480 x 350 x 100 mm	N/A	N/A	ČR	N/A
Polystyrenová krabička 100 x 100 mm	N/A	N/A	ČR	N/A
Polystyrenové kuličky 1-3 mm	N/A	ESITO	ČR	[39]
Raspberry Pi	4B	Raspberry Pi Foundation	USA	N/A
Univerzální vodou ředitelná akrylátová barva – bílá	AM 0100	HET	ČR	[40]

Tabulka 3 popisuje použité přístroje, které byly využity pro odzkoušení funkčnosti fantomů.

**Tabulka 3:** Seznam použitých přístrojů

<b>Přístroj</b>	<b>Model</b>	<b>Výrobce</b>	<b>Země původu</b>	<b>Odkaz</b>
Flexibilní endoskop	GIF-PQ20	Olympus	JPN	[41]
Flexibilní endoskop	GIF-H185	Olympus	JPN	[42]
Flexibilní endoskop	GIF-Q165	Olympus	JPN	[43]
Procesorová jednotka	EXERA II CV-180	Olympus	JPN	[44]
Procesorová jednotka	EXERA III CV-190	Olympus	JPN	[45]
Zdroj světla	EXERA II CLV-180	Olympus	JPN	[46]
Zdroj světla	EXERA III CLV-190	Olympus	JPN	[47]

### **4.3 Výrobní metody a software využité při realizaci simulátoru**

Realizace simulátoru byla provedena několika výrobními metodami a softwarem, které byly využity při návrhu simulátoru. Popsány jsou v následujících podkapitolách.

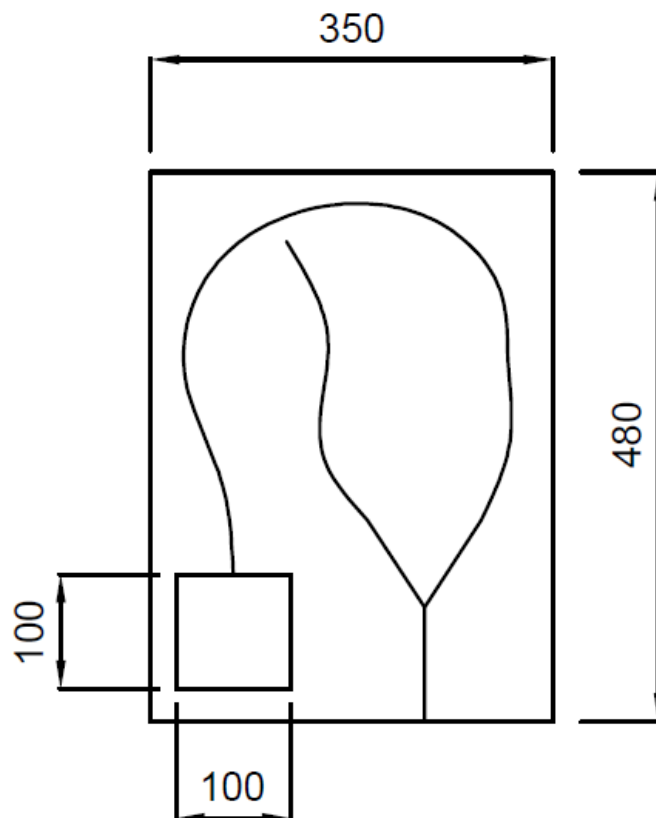
#### **4.3.1 Manuální výroba konceptu fantomu**

Koncept fantomu byl manuálně vytvořen na polystyrenové desce o rozměru 480 x 350 x 100 mm. Do této desky byl vyřezán odlamovacím nožem kanál (Obrázek 2), který sloužil jako držák pro „Y“ spojku, dvě zúžení a flexibilní připojení Alcadrain (hovorově „*husí krk*“). Zakončení tohoto kanálu bylo vyvedeno do polystyrenové dutiny o velikosti 100 x 100 x 50 mm, do které byly následně vytvořeny držáky polypů z měděného drátu o průměru 0,5 mm. Všechny tyto komponenty byly na polystyren nalepeny lepidlem Mamut a vzniklé mezery mezi komponentami a polystyrenem vyplněny montážní pěnou.

Vstup do fantomu tvořila „Y“ spojka, kdy rozvětvený konec byl uvnitř fantomu a vytvořil tak křižovatku pro dvě různé cesty a rovná část pak tvořila vstupní otvor.

Na tento vstupní otvor byla zhotovena sensorika pro kontrolu vstupu distálního konce endoskopu do fantomu, která sloužila i jako inicializace pro zapnutí minikamery. Jako senzory pro snímání distálního konce byly využity optické brány, které jsou složeny z IR LED diody a fototranzistoru. Blokové schéma zapojení je uvedeno v podkapitole 4.4.2.

Na polystyrenovou dutinu byla vytvořena krabička, která plnila funkci držáku kamery. Kamera v tomto případě sloužila jako dodatečná kontrola distálního konce endoskopu. Výhoda použití této kamery byla nejen v dalším úhlu pohledu na endoskop, ale také jako dodatečný pohled pro kontrolu instrumentária, které se používá pro vyndání polypů z dutiny.

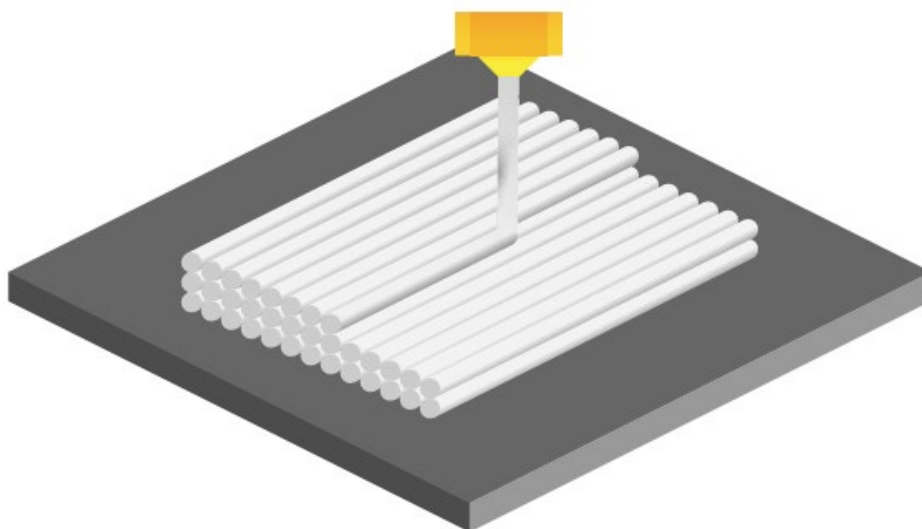


**Obrázek 2:** Schéma polystyrenového fantomu, měřítko 1:2, rozměry [mm]

### 4.3.2 Metoda 3D tisku

Pro výrobu všech částí endoskopického fantomu bylo využito metody 3D tisku označované jako FDM (Fused Deposition Modeling). Jedná se o nejdostupnější a nejvíce rozšířenou technologii 3D tisku. Tato metoda je vhodná nejen pro tisk prototypů, ale i funkčních modelů.

Jako stavební materiál fantomu byl primárně volen roztavený plast, který 3D tiskárna přenášela přes tiskovou hlavu s rozežhátou tryskou na pracovní desku. Obraz pak vznikl postupným nanášením vrstev na sebe, dokud nevznikl výsledný objekt podle počítačové předlohy. Princip této metody je schematicky zobrazen na Obrázku 3. [48] [49] Všechny části fantomu byly vytištěny na tiskárně Original Prusa i3 MK3S+ od výrobce tiskáren Prusa Research (Partyzánská 188/7a, Praha, Česká republika). V současnosti se jedná o nejrozšířenější 3D tiskárnu tohoto typu, jelikož disponuje intuitivním uživatelským rozhraním, je spolehlivá a má nízkou chybovost při tisku.



**Obrázek 3:** Schematické zobrazení FDM, převzato z [48]

Vhodným materiálem pro výrobu fantomu byla PLA (PolyLactic Acid – polymléčná kyselina). Mezi tiskaři, po celém světě, se jedná o jeden z nejvíce používaných materiálů. Jde o materiál, který je plně biologicky odbouratelný. To je dokázáno tím, že je vyráběn z bramborového nebo kukuřičného škrobu, případně cukrové třtiny. Tím, že je biologicky neškodný a odbouratelný, tak je jeho využití možné nejen v potravinářském průmyslu, ale i ve zdravotnictví. V potravinářském průmyslu je hojně využíván pro výrobu obalů a ve zdravotnictví lze tento materiál použít při výrobě krátkodobých implantátů nebo chirurgických nití. Bohužel PLA není úplně ideálním materiálem, jak se na první pohled může zdát. Nevýhody polymléčné kyseliny spočívají nejen v její křehkosti, malé teplotní odolnosti, ale i v malé odolnosti proti povětrnostním podmínkám. Proto byly vynalezeny další materiály, které vynahrazují nevýhody PLA. Například se jedná o materiál PETG (Polyethylentereftalát Glykol), ABS (Akrylonitrilin

Butadien Styren) či nástupce ABS ASA (Acrylonitrile Styrene Acrylate). V současné době je PLA dále zkoumáno pro využití v širším odvětví, jako je například využití v elektrotechnice a optice. [50] [51] [52] [53]

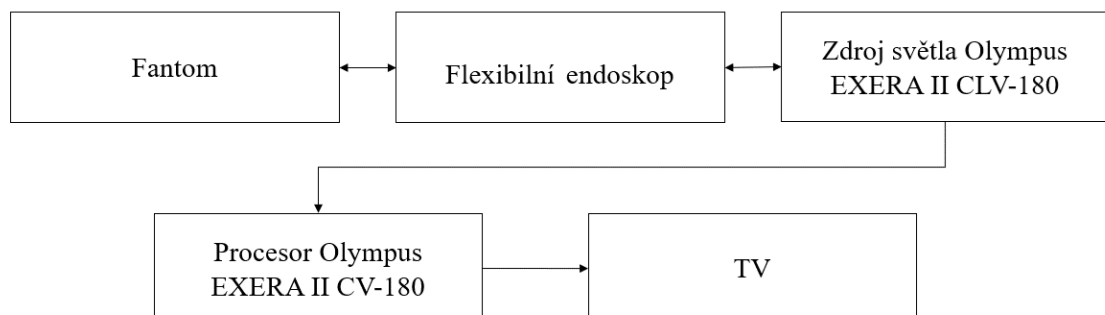
### 4.3.3 Modelovací program Fusion 360

Návrh a vývoj všech dílů vytištěných na 3D tiskárně byl realizován v počítačovém programu Autodesk Fusion 360, který vlastní společnost Autodesk Ireland Operations (Dublin, Irsko). Jedná se o rozšířený program od společnosti Autodesk, která má ve vlastnictví mnoho dalších programů, jež se používají v různých technických odvětvích. Program umožňuje návrhy 3D modelů, 2D výkresů, PCB (Printed Circuit Board) návrhů apod. Uživatelské rozhraní je velmi intuitivní a existuje spousta návodů, jak rozvíjet své schopnosti a zdokonalovat se v práci s ním.

## 4.4 Metody použité pro realizaci snímání distálního konce endoskopu

### 4.4.1 Blokové schéma zapojení měřicího řetězce

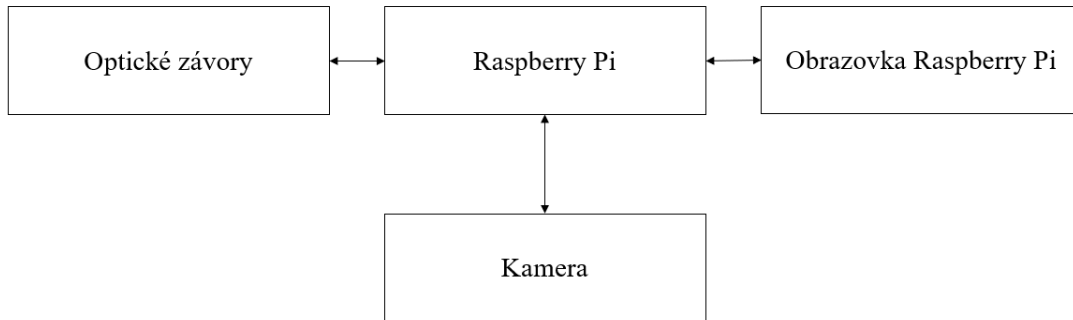
Blokové schéma (Obrázek 4) popisuje celkové zapojení fantomu s flexibilním endoskopem. Endoskop byl zapojen do snímací věže od firmy Olympus. Tato snímací věž byla složena ze zdroje světla (Olympus EXERA II CLV-180), procesorové jednotky (Olympus EXERA II CV-180) a monitoru zobrazující obraz z endoskopu.



**Obrázek 4:** Blokové schéma zapojení měřicího řetězce

#### 4.4.2 Blokové schéma zapojení optických bran včetně zapojení do Raspberry Pi

Následující blokové schéma (Obrázek 5) popisuje zapojení optických bran jako senzorů polohy, obrazovky a kamery. Všechny tři komponenty jsou zapojeny do mikropočítače Raspberry Pi a jsou tímto mikropočítačem ovládány.

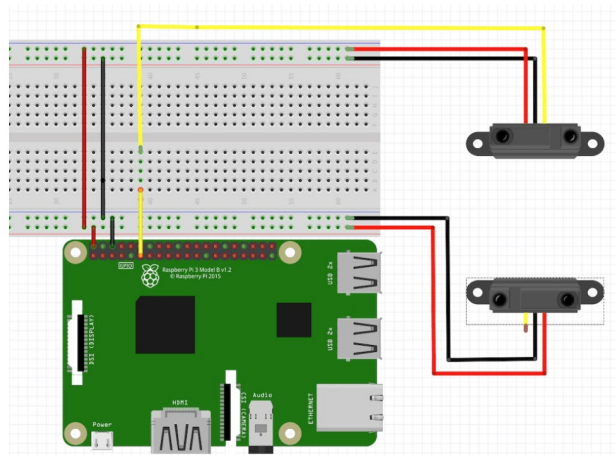


**Obrázek 5:** Blokové schéma zapojení optických bran

#### 4.4.3 Senzory polohy

Senzory polohy se využívají pro měření vzdálenosti mezi objektem a referenční polohou. Vedle vzdálenosti dokážou měřit rozměry daných objektů, jako je výška, tloušťka a šířka. Lze je rozdělit do dvou velkých kategorií, a to na kontaktní měření, které je prováděno přímým kontaktem senzoru s objektem nebo na bezkontaktní měření světlem, zvukovými vlnami či magnetickými poli. [54] [55] Nejvíce užívanými senzory jsou optosenzory, respektive optické brány, které jsou často používané pro účely inkrementace. Optosenzor je optočlenem, který se skládá z IR LED diody a fototranzistoru. Pokud dojde k přerušení dopadajícího IR záření na fototranzistor, tak je brána zavřena a naopak. Tím se vytváří sled impulzů, které mohou být využity pro další zpracování. [56]

Zapojení senzorů polohy k mikropočítači Raspberry Pi je na Obrázku 6. Jedná se o zapojení, které se skládá z vyzařovací a senzorické části. Vyzařovací část je řešena IR LED diodou a senzorická fototranzistorem. Fototranzistor snímá IR záření, které vyzařuje IR LED dioda a převádí jej na signál přímo do mikropočítače Raspberry Pi.



**Obrázek 6:** Zapojení optických bran s mikropočítačem Raspberry Pi, převzato z [57]

#### 4.4.4 Raspberry Pi

Jedná se o jednodeskový počítač, který je možné srovnat se slabším stolním počítačem. Obsahuje konektory typu HDMI, USB, ethernetový port apod., které je možné využít pro připojení monitoru, myši, klávesnice, sluchátek a dalších přidružených periférií. Na rozdíl od platformy Arduino je možné Raspberry Pi použít nejen k samotnému vývoji aplikací, ale i k ovládání různých zařízení. Lze jej využít i jako multimediální přehrávač nebo internetový vyhledávač. [58] Pro Raspberry Pi existují různé rozšiřitelné moduly, které se nazývají shiely. Těchto modulů je nepřehledné množství, a tudíž mnohonásobně rozšiřují možnosti využití tohoto mikropočítače.

Pro potřeby bakalářské práce byl využit modul přídavné minikamery. Přídavná kamera se do modulu připojuje plochým flexibilním kabelem do CSI konektoru umístěným přímo na desce. Kamerou je možné pořizovat fotografie s vysokým rozlišením a nahrávat videa v HD kvalitě.

## 5 Výsledky

Tato kapitola popisuje a sumarizuje dosažené výsledky z návrhů fantomů pro flexibilní endoskopii a jejich následné ověření jak na Fakultě biomedicínského inženýrství v Kladně, tak ve firmě Olympus v Praze.

### 5.1 Realizace konceptu fantomu s využitím polystyrenové desky

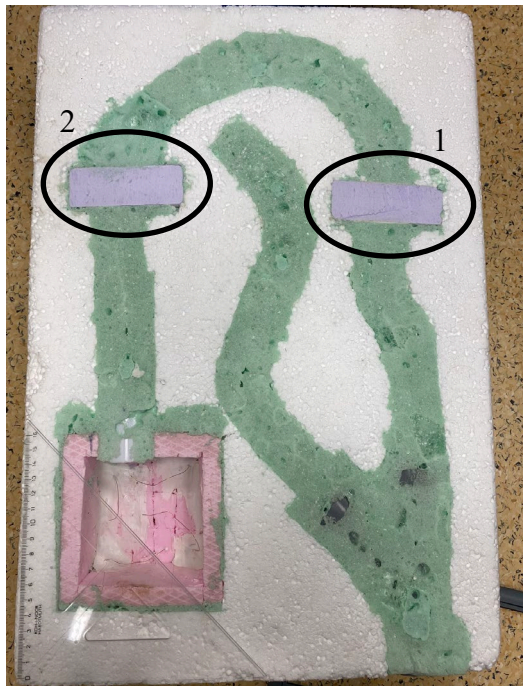
Přesný návod na tvorbu konceptu fantomu (Obrázek 7) byl popsán v kapitole 4.3.1. Fantom byl vytvořen na polystyrenové desce o rozměru 480 x 350 x 100 mm. Do této desky byl vyřezán odlamovacím nožem kanál (schéma kanálu zobrazuje Obrázek 2), který sloužil jako držák pro „Y“ spojku, dvě zúžení (znázorněny černými elipsami na Obrázku 7) a flexibilní připojení Alcadrain (hovorově „*husí krk*“). Zakončení tohoto kanálu bylo vyvedeno do polystyrenové dutiny o velikosti 100 x 100 x 50 mm, do které byly následně vytvořeny držáky polypů z měděného drátu o průměru 0,5 mm (Obrázek 9). Všechny komponenty byly na polystyren přilepeny lepidlem Mamut a vzniklé mezery mezi nimi a polystyrenem vyplněny montážní pěnou.

Vstup do fantomu byl tvořen „Y“ spojkou, kdy rozvětvená část byla uvnitř fantomu a tvořila křižovatku pro dvě různé cesty, kterými bylo možné vést endoskop. Rovná část sloužila jako vstupní otvor a též jako uchycení optických bran (Obrázek 8), které tvořily senzorickou část pro kontrolu vstupu distálního konce endoskopu do fantomu. Optická brána sloužila jako iniciátor impulzu pro Raspberry Pi. Zapojení optických bran proběhlo přes nepájivé pole do mikropočítače, je zobrazeno na Obrázku 6, který detekoval vyslaný impulz a spustil kameru. Paralelně po spuštění kamery zobrazil její výsledný obraz na displeji. Blokové schéma zapojení optických bran a kamery je uvedeno v podkapitole 4.4.2.

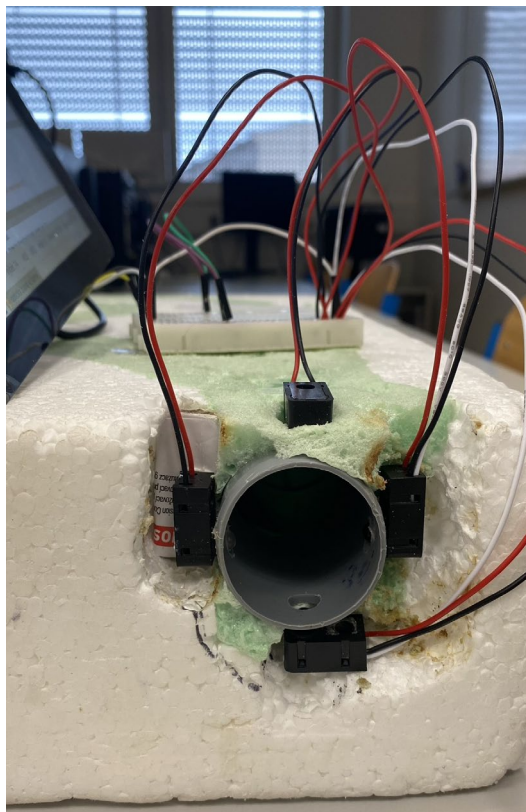
Kamera byla umístěna do krabičky, která zároveň sloužila jako její držák. Návrh krabičky byl proveden v programu Fusion 360, od společnosti Autodesk Ireland Operations (Dublin, Irsko), který je zobrazen na Obrázku 10. Vytisknutá krabička je zobrazena na Obrázku 11 a Obrázku 12. Výkres krabičky si lze prohlédnout



v Příloze D. Důvodem pro vytvoření úložné krabičky bylo zakrytí celé polystyrenové dutiny tak, aby byl její vnitřek uložen v temnotě.



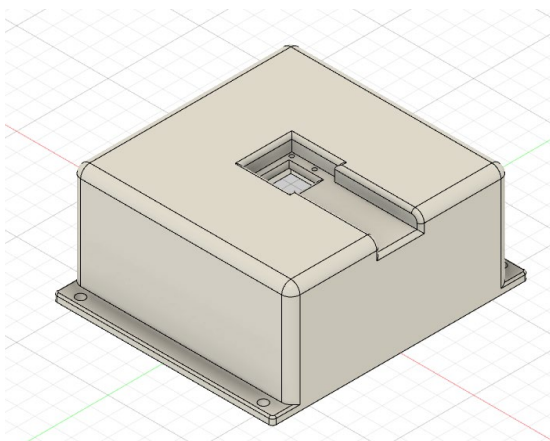
**Obrázek 7:** Koncept fantomu, pohled shora



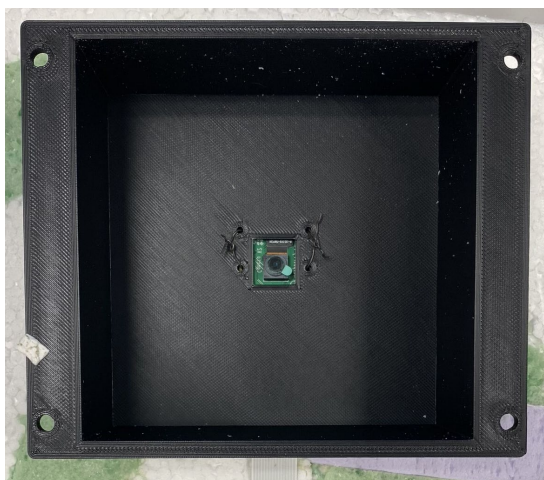
**Obrázek 8:** Vstup do konceptu fantomu s přidruženými optickými branami



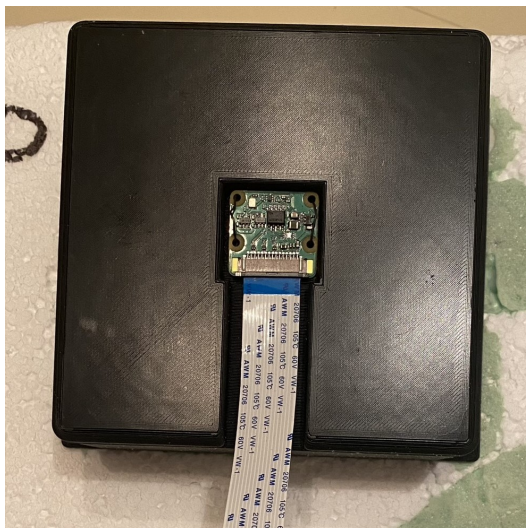
**Obrázek 9:** Měděné dráty s polypy uvnitř dutiny, pohled shora



**Obrázek 10:** Návrh krabičky pro umístění kamery



**Obrázek 11:** Vytištěná krabička s kamerou, pohled zdola



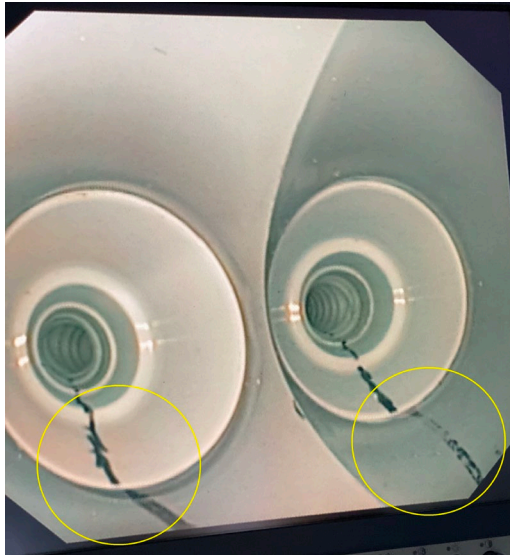
**Obrázek 12:** Vytištěná krabička s kamerou, pohled shora

Následující obrázky zobrazují vnitřní strukturu fantomu. Tyto fotografie byly pořízeny na Fakultě biomedicínského inženýrství ČVUT. K ověření funkčnosti fantomu byl použit flexibilní endoskop GIF-Q165 od firmy Olympus. Jako procesorová jednotka byla použita EXERA II CV-180 a zdrojem světla byl EXERA II CLV-180, obě od téže firmy. Obrázek 14 zobrazuje vnitřní strukturu „Y“ spojky a její rozdělení na dvě cesty. Obrázek 15 a Obrázek 16 vyobrazuje obě popsaná zúžení. Na Obrázku 17 je pohled do vnitřku dutiny, kde jsou červeně znázorněny měděné dráty sloužící jako držáky polypů. Obrázek 18 zobrazuje displej Raspberry Pi, na kterém je červeně zakroužkován distální konec flexibilního endoskopu. Černá čára, která se objevuje na všech níže doložených fotografiích, sloužila k lepší orientaci v prostoru fantomu. Je zobrazena žlutým kruhem.



**Obrázek 13:** Endoskopická věž s obrazovkou, flexibilním endoskopem a procesorovou jednotkou

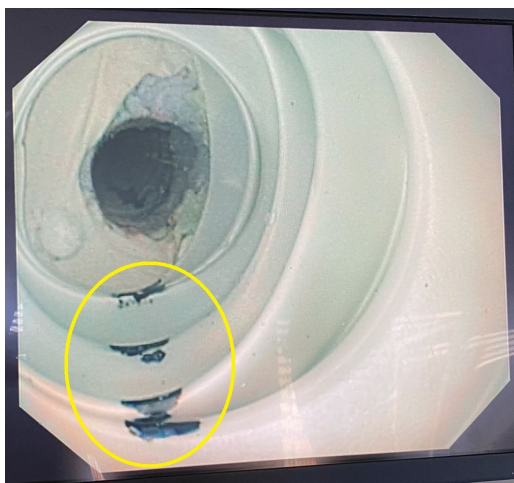




**Obrázek 14:** Rozdvojení cest v „Y“ spojce



**Obrázek 15:** Zúžení č. 1



**Obrázek 16:** Zúžení č. 2

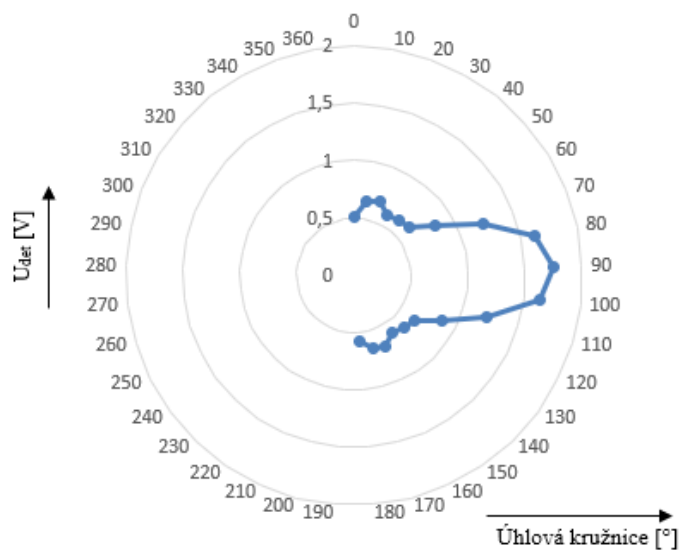


**Obrázek 17:** Dutina s dráty a kamerou

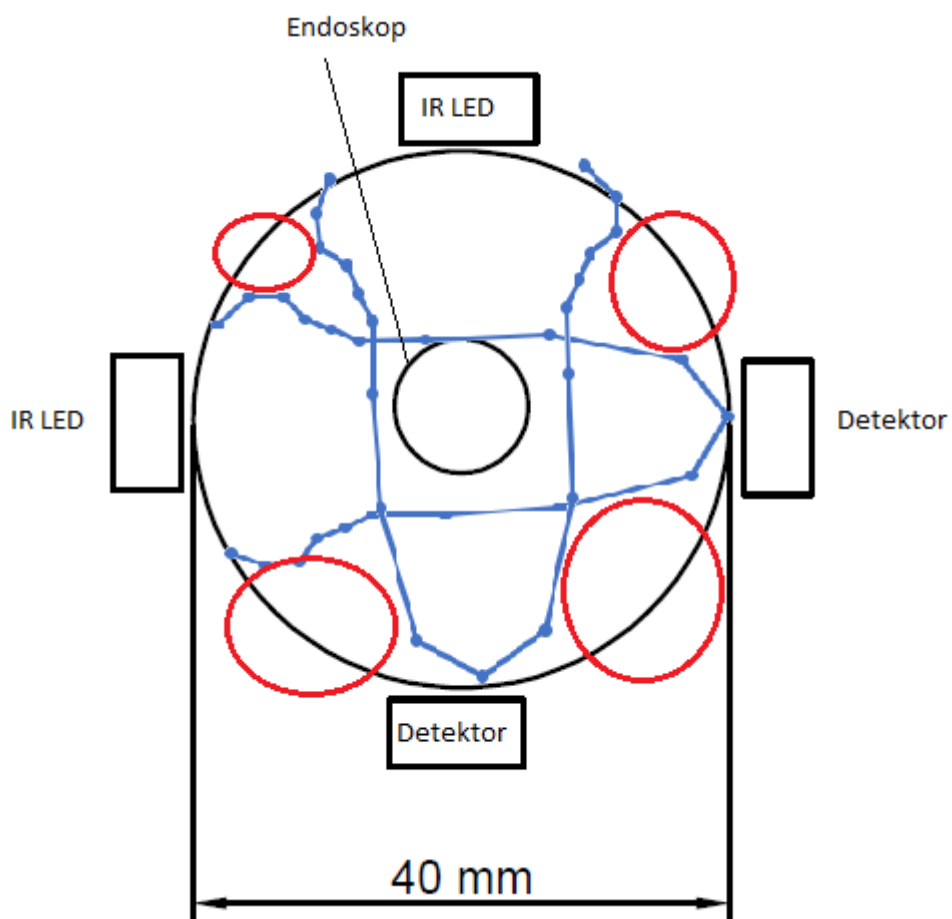


**Obrázek 18:** Displej při snímání distálního konce endoskopu

Pro potřeby fantomu bylo nutné zjistit směrovou vyzářovací charakteristiku IR LED diody, která je přítomna v optické bráně. Výrobce těchto optických bran neudává směrovou charakteristiku IR LED diody, tudíž ji bylo nutné experimentálně změřit. Výsledné hodnoty jsou na Obrázku 19, kde je zobrazena závislost intenzity IR LED diody na úhlu natočení detektoru vzhledem k horizontální rovině. Velikost intenzity světla byla vyjádřena jako napětí ve voltech. Směrová charakteristika byla odměřena při pevném upevnění IR LED diody a 25 cm vzdáleného fototranzistoru s krokem  $10^\circ$ . Důvodem, proč bylo nutné změřit tuto charakteristiku, byla vniklá tzv. „hluchá místa“, kde nebyl detekován distální konec endoskopu. Tato „hluchá místa“ vznikla při umístění optických bran na vstup fantomu. Tato místa jsou schematicky zobrazena na Obrázku 20, kde jsou směrové charakteristiky IR LED diody a vstup do fantomu s endoskopem v měřítku 2:1. Tabulka 4 zobrazuje vypočítané hodnoty ploch „hluchých míst“.



**Obrázek 19:** Směrová vyzařovací charakteristika IR LED diody



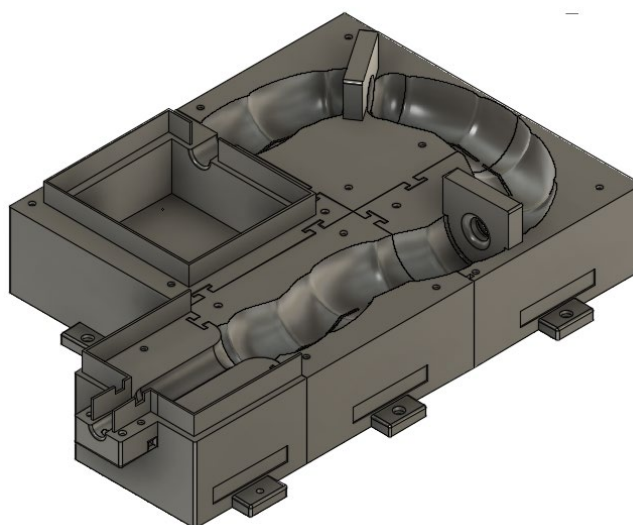
**Obrázek 20:** Schematické zobrazení „hluchých míst“ senzorů

**Tabulka 4:** Vypočítané hodnoty ploch „*hluchých míst*“

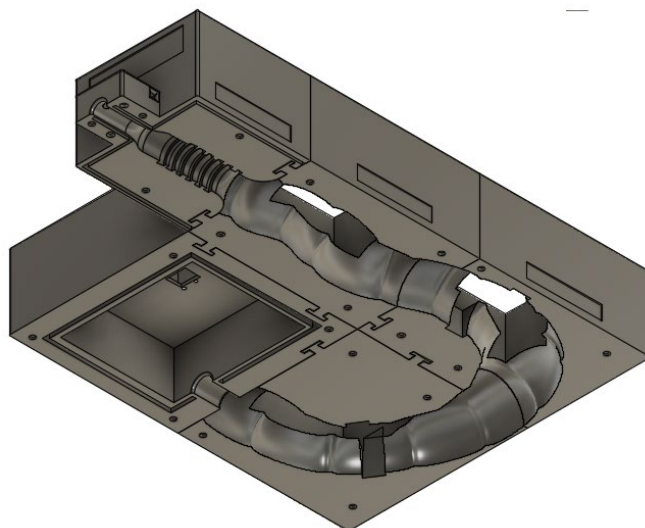
Celková plocha vstupu do fantomu	1256,64 mm <sup>2</sup>
Celková plocha „ <i>hluchých míst</i> “	157,08 mm <sup>2</sup>
Plocha jednotlivých „ <i>hluchých míst</i> “	39,27 mm <sup>2</sup>
Poměr jednotlivých „ <i>hluchých míst</i> “ ku celkové ploše vstupu do fantomu	0,03125
Poměr jednotlivých „ <i>hluchých míst</i> “ ku celkové ploše vstupu do fantomu vyjádřený v procentech	3,125 %

## 5.2 Realizace funkčního vzorku fantomu metodou 3D tisku

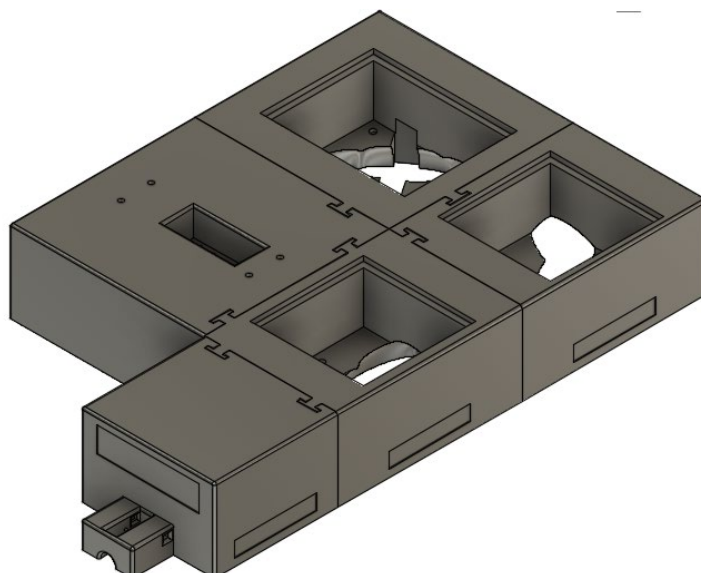
Návrh funkčního vzorku fantomu byl proveden v programu Fusion 360 od firmy Autodesk Ireland Operations (Dublin, Irsko). Pro výrobu byla využita metoda 3D tisku označovaná jako FDM (Fused Deposition Modeling). Vhodným materiálem, pro výrobu tohoto funkčního vzorku, byl zvolen PLA (PolyLactic Acid – polymléčná kyselina), který je díky svým vlastnostem nejideálnější volbou pro výrobu různých prototypů, a to nejen v lékařství, ale i elektrotechnice a optice. Následující obrázky (Obrázek 21 až Obrázek 37) zobrazují návrhy segmentů fantomů, které byly posléze vytištěny na 3D tiskárně.



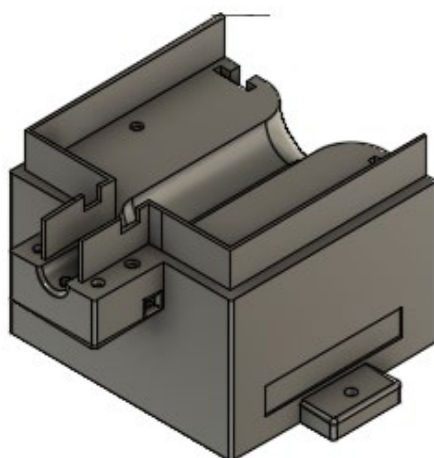
**Obrázek 21:** Spodní segmenty funkčního vzorku fantomu, pohled NE isometric



**Obrázek 22:** Vrchní segmenty funkčního vzorku fantomu, pohled SE isometric

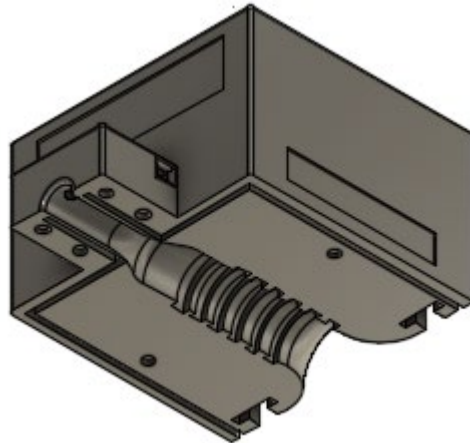


**Obrázek 23:** Vrchní segmenty funkčního vzorku fantomu, pohled NE isometric

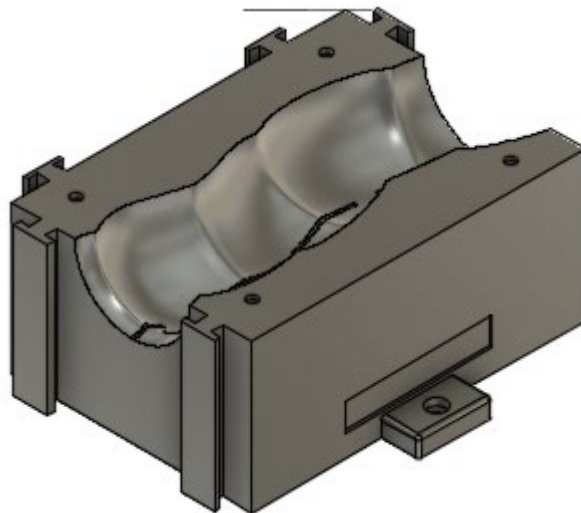


**Obrázek 24:** Segment 1 - spodní část, pohled NE isometric

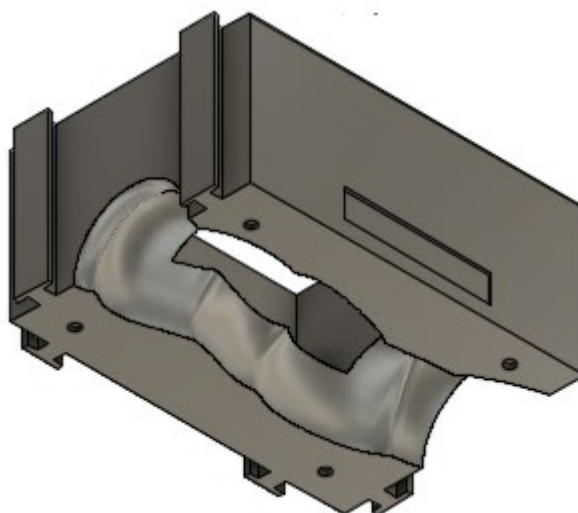




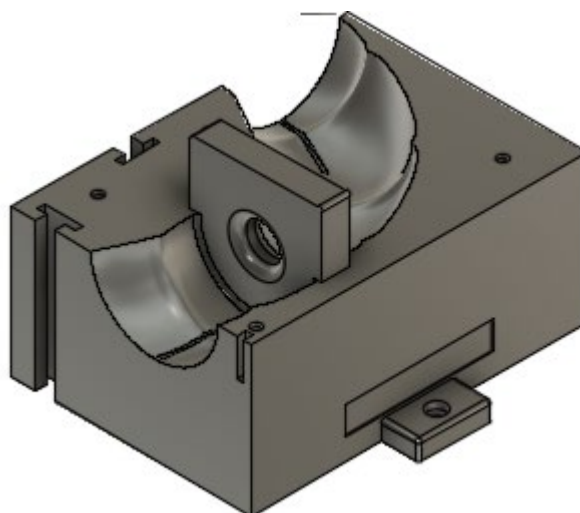
**Obrázek 25:** Segment 1 - vrchní část, pohled SE isometric



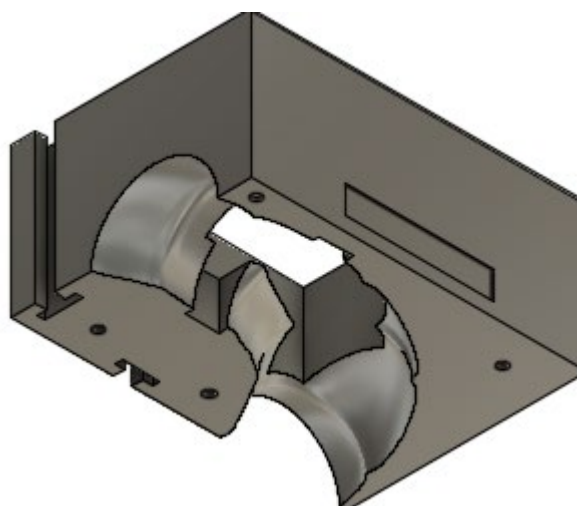
**Obrázek 26:** Segment 2 - spodní část, pohled NE isometric



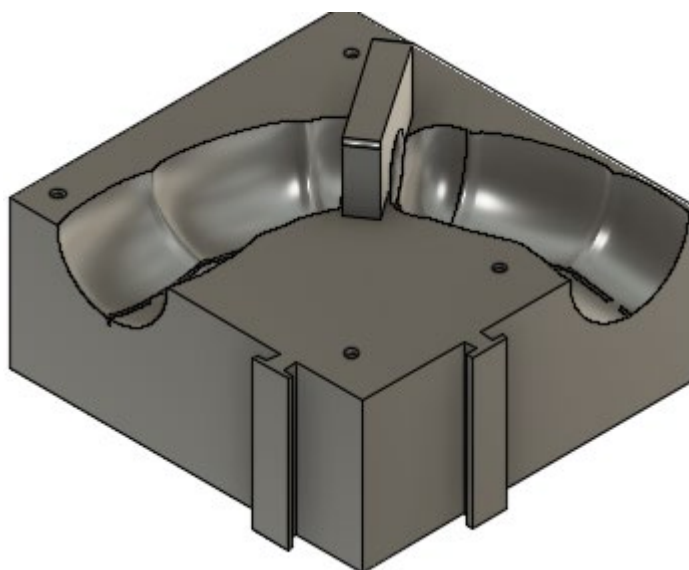
**Obrázek 27:** Segment 2 - vrchní část, pohled SE isometric



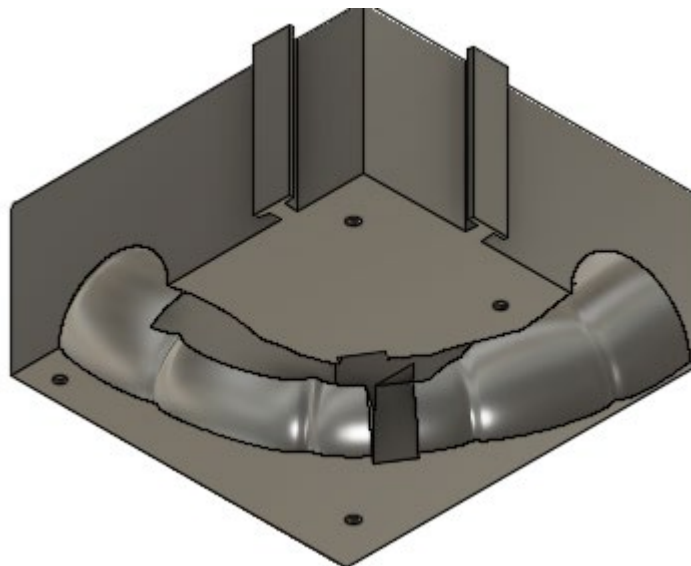
**Obrázek 28:** Segment 3 - spodní část, pohled NE isometric



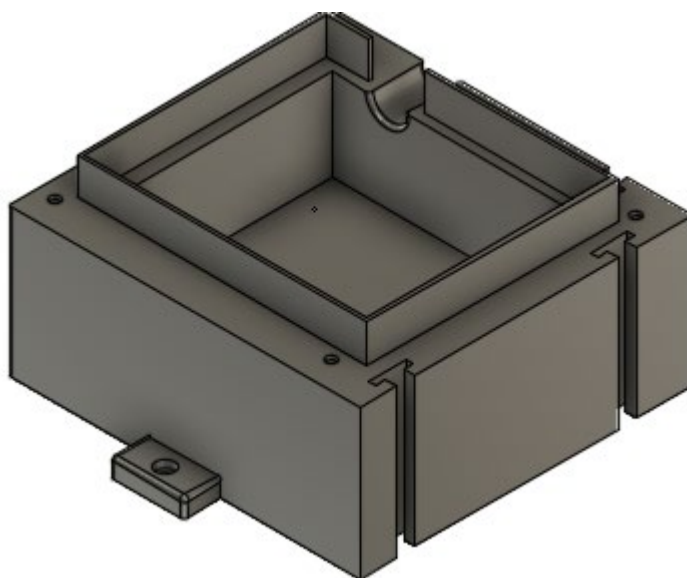
**Obrázek 29:** Segment 3 - vrchní část, pohled SE isometric



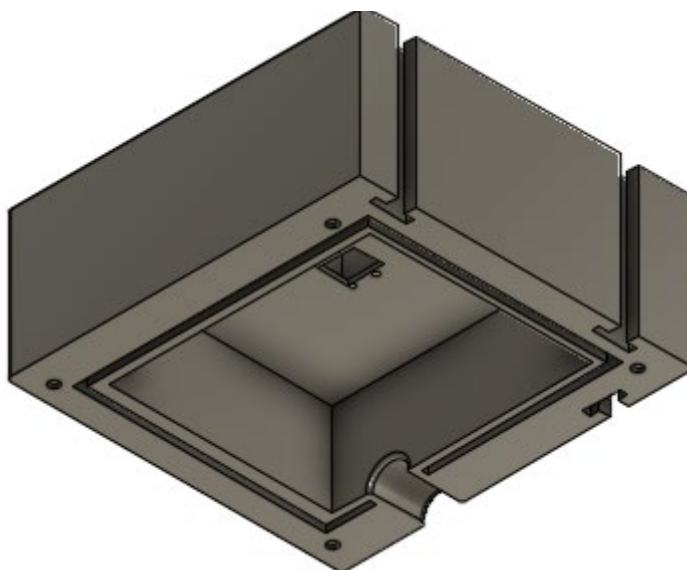
**Obrázek 30:** Segment 4 - spodní část, pohled NE isometric



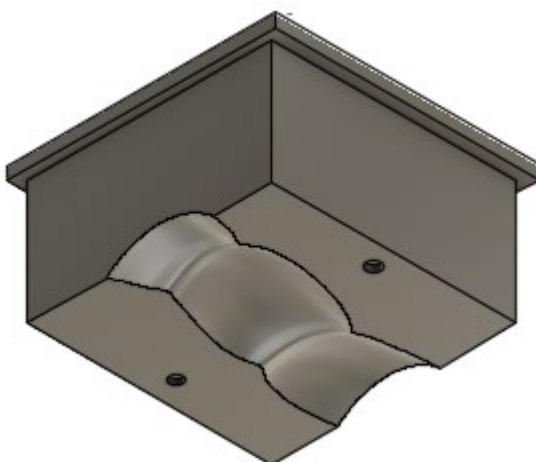
**Obrázek 31:** Segment 4 - vrchní část, pohled SE isometric



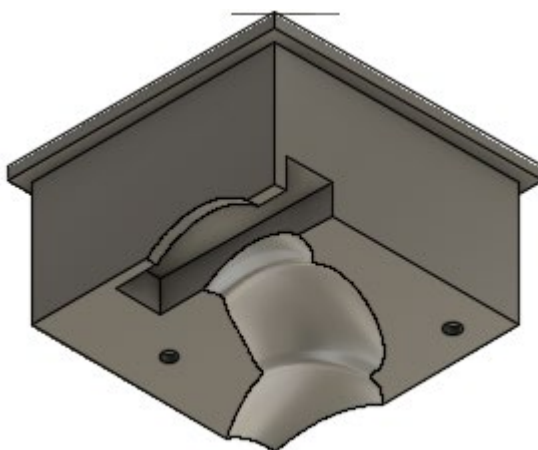
**Obrázek 32:** Segment 5 - spodní část, pohled NE isometric



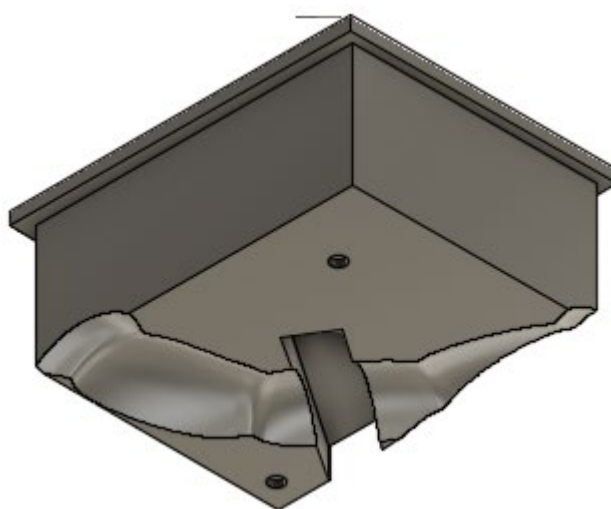
**Obrázek 33:** Segment 5 - vrchní část, pohled SE isometric



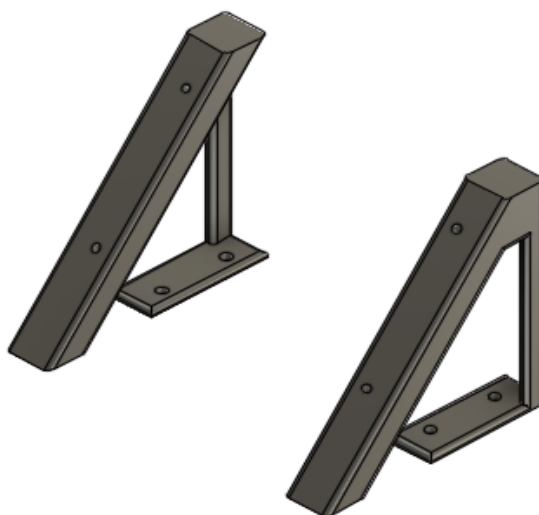
**Obrázek 34:** Zátka segment 2, pohled SE isometric



**Obrázek 35:** Zátka segment 3, pohled SE isometric



**Obrázek 36:** Zátka segment 4, pohled SE isometric



**Obrázek 37:** Držáky displeje Raspberry Pi, pohled NE isometric

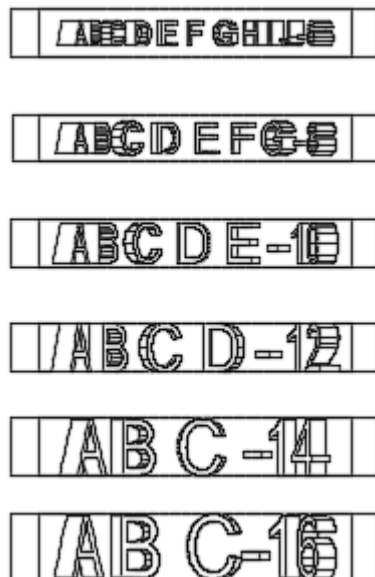
Při návrhu byly realizovány i doplňky fantomu, které měly zdokonalit celkové vyobrazení fantomu. Jednalo se o písmena a čísla pro rozlišovací schopnost endoskopu a také o popisy jednotlivých segmentů fantomu. Níže uvedené obrázky tuto skutečnost dokládají.

Strachota Jan  
Bakalářská práce 2023  
ČVUT FBMI

**Obrázek 38:** Název bakalářské práce

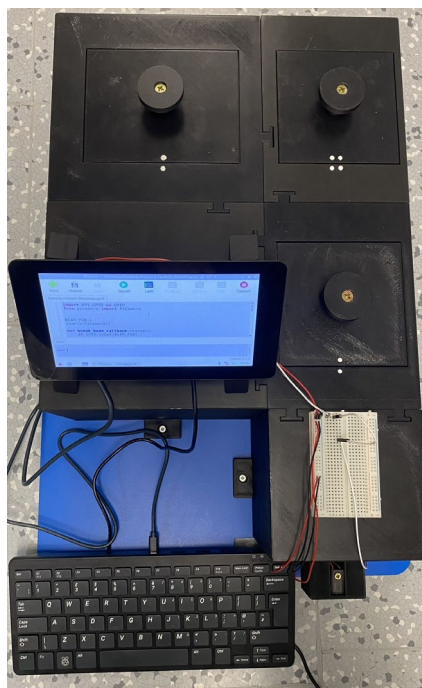
Segment 1 spodek	Segment 1 vršek
Segment 2 spodek	Segment 2 vršek
Segment 3 spodek	Segment 3 vršek
Segment 4 spodek	Segment 4 vršek
Segment 5 spodek	Segment 5 vršek

**Obrázek 39:** Popisy segmentů



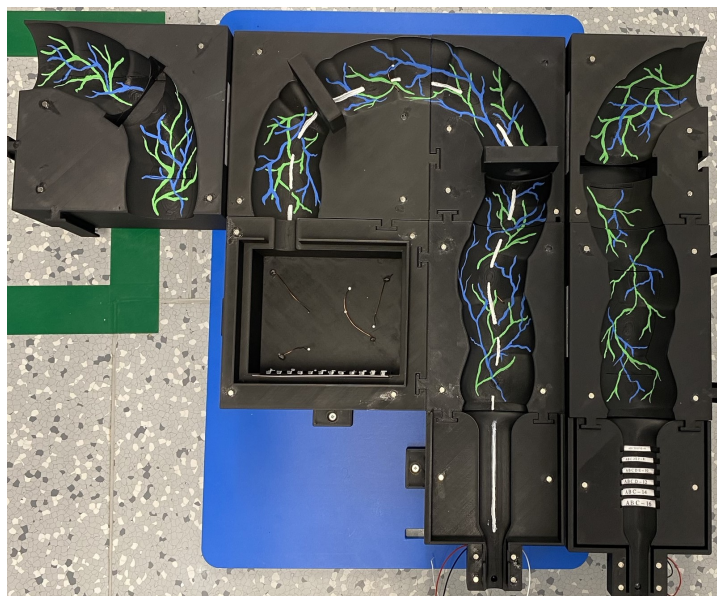
**Obrázek 40:** Písmena a čísla pro ověření rozlišovací schopnosti endoskopu

Po finálním návrhu byl celý fantom postupně vytištěn. Do kanálu, který imituje tlusté střevo, byly nakresleny žíly, které se běžně nacházejí uvnitř tlustého střeva. Kompatibilními barvami, s režimem NBI od firmy Olympus, byla modrá a zelená. Níže uvedené obrázky (Obrázek 41 až Obrázek 43) zobrazují vytištěný fantom.



**Obrázek 41:** Vytištěný funkční vzorek fantomu, pohled shora





**Obrázek 42:** Vytištěný funkční vzorek fantomu, pohled shora



**Obrázek 43:** Detail dutiny s držáky polypů a barevná tabulka

Následně byl fantom odzkoušen ve firmě Olympus, se sídlem v ulici Evropská v Praze, kde byl využit flexibilní endoskop GIF-H180, který NBI režim podporuje. Endoskop byl připojen do procesorové jednotky EXERA III CV-190 a zdroje světla EXERA III CLV-190. Obrázek 44 zobrazuje zapojení endoskopu do měřicí věže. Následující obrázky (Obrázek 45 až Obrázek 49) ukazují vnitřní strukturu fantomu při testování v bílém světle. Na všech následujících obrázcích je vidět bílá čára, která označuje spodní část fantomu a zlepšuje tak orientaci v prostoru.

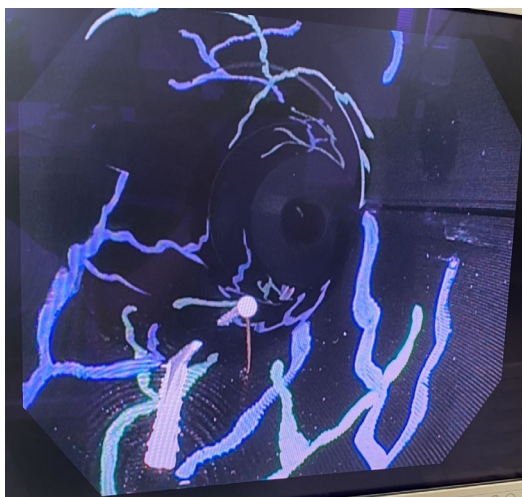


**Obrázek 44:** Endoskopická věž s obrazovkou, flexibilním endoskopem, procesorovou jednotkou a zdrojem světla

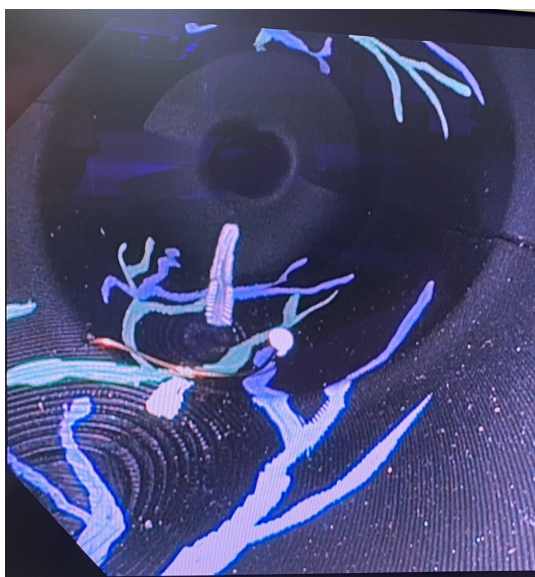


**Obrázek 45:** Písmena a čísla pro odzkoušení rozlišovací schopnosti endoskopu

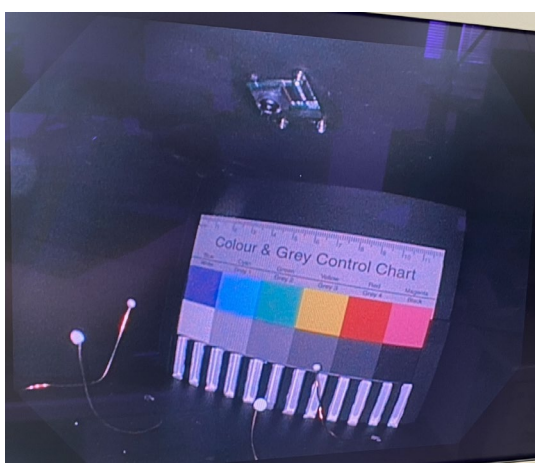




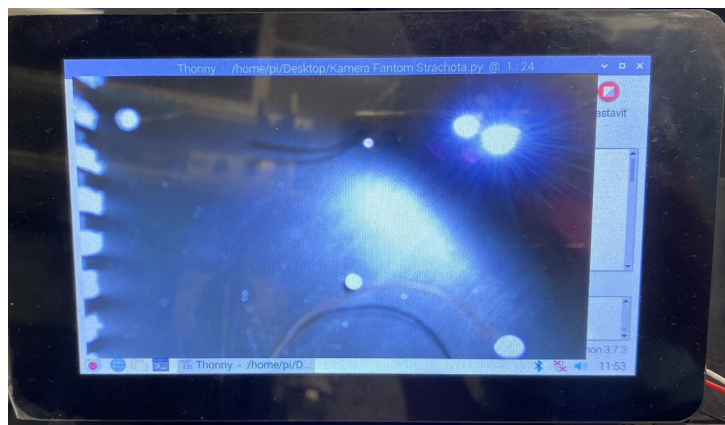
**Obrázek 46:** Zúžení č. 1, v popředí držák polypu s polypem



**Obrázek 47:** Zúžení č. 2, v popředí držák polypu s polypem

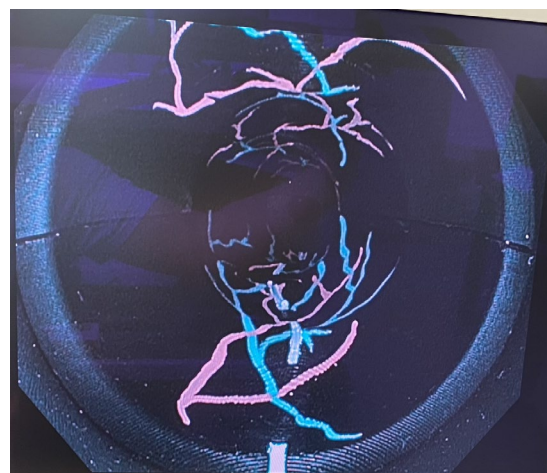
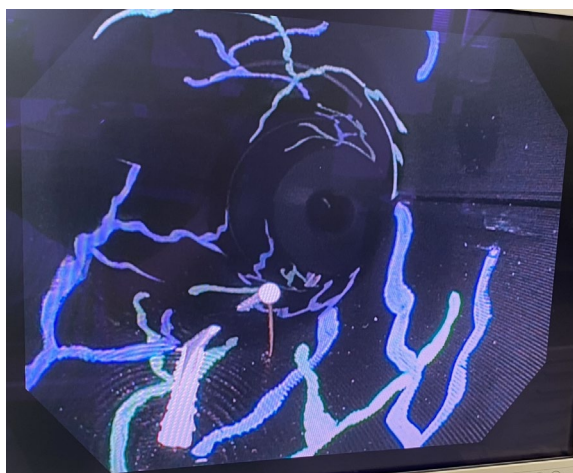


**Obrázek 48:** Dutina s držáky polypů, polypy, kamerou a barevnou tabulkou

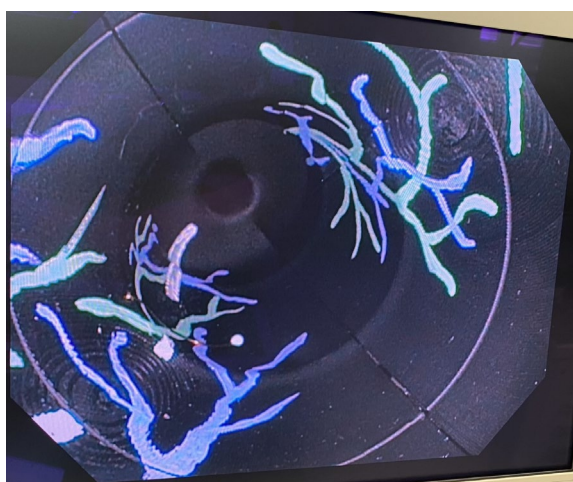


**Obrázek 49:** Displej při snímání distálního konce endoskopu

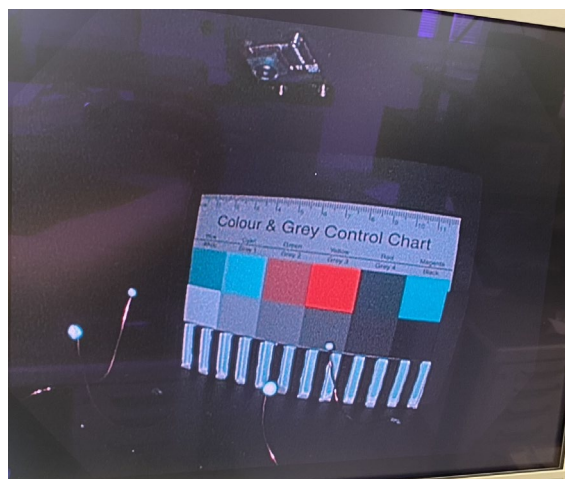
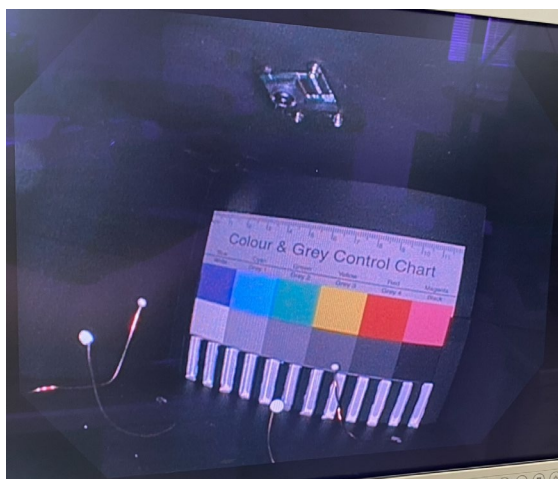
Níže uvedené obrázky (Obrázek 50 až Obrázek 52) zobrazují porovnání vnitřních struktur fantomu při použití režimu NBI a bílého světla. Vlevo jsou obrázky při využití bílého světla a vpravo při využití NBI režimu.



**Obrázek 50:** Zúžení č. 1, vlevo použití bílého světla, vpravo režim NBI



**Obrázek 51:** Zúžení č. 2, vlevo použití bílého světla, vpravo režim NBI



**Obrázek 52:** Dutina s držáky polypů, polypy, kamerou a barevnou tabulkou, vlevo použití bílého světla, vpravo režim NBI

### 5.3 Tvorba návodu pro využití ve výuce

Dalším cílem této bakalářské práce byla tvorba návodu pro využití fantomu ve výuce. Návod byl vyhotoven ve dvou jazycích, konkrétně v českém a anglickém. Návody jsou součástí Přílohy B a Přílohy C.



## 6 Diskuse

V rámci této bakalářské práce byla vyhotovena koncepce a funkční vzorek endoskopického fantomu, který bude sloužit jako pomůcka k výuce biomedicínských techniků a inženýrů na Fakultě biomedicínského inženýrství v Kladně. Model věrohodně imituje tlusté střevo včetně žilnatého systému s polypy v dutině. Pracovní kanál (tj. tlusté střevo) je navrženo tak, aby byl průchod flexibilním endoskopem bezproblémový a funkční. Celková charakteristika dosažených cílů a podcílů je podrobně popsána v následujících odstavcích.

Tvorbě funkčního vzorku fantomu předcházela výroba konceptu. Koncept fantomu pro flexibilní endoskopii byl zhotoven do polystyrenové desky. Byl doplněn o optické brány, které snímaly vstup distálního konce endoskopu do fantomu tak, aby při indikaci byla pomocí mikropočítače Raspberry Pi spuštěna minikamera. Nejprve byl fantom vybaven jedním párem optického senzoru, který byl nedostatečný pro snímání. Senzor totiž nedokázal zaznamenat průchod endoskopu po levé a pravé straně vstupu do fantomu. To bylo zapříčiněno malým vyzařovacím úhlem IR LED diody, který nedokázal pokrýt průchod endoskopu. Z tohoto důvodu byl ověřen směrový vyzařovací diagram IR LED diody v optické bráně. Po výsledcích, které byly zjištěny v diagramu, byl fantom doplněn o další pár optických bran, které daný nedostatek eliminovaly. Obrázek 20 schematicky zobrazuje vzniklá „hluchá místa“ senzorů. Modré čáry v obrázku znamenají směrové vyzařovací charakteristiky IR LED diody a červené kruhy označují vzniklá „hluchá místa“.

Mini televizní kamera byla připevněna do navržené a realizované krabičky. Krabička byla přichycena na polystyrenový fantom pomocí hmoždinek na polystyren. Tímto se vyloučila možnost poškození krabičky s kamerou při manipulaci s fantomem. Krabička společně s kamerou byla upevněna nad dutinu s polypy tak, aby v případě, kdy se endoskop dostane do této dutiny, bylo by možné snímat dodatečný obraz pro kontrolu distálního konce. Kód pro ovládání kamery s optickými branami je uveden v Příloze A. Obrázek 18 zobrazuje obrazovku Raspberry Pi při snímání distálního konce flexibilního endoskopu, který je označen červeným kruhem.

Hlavními cíli bakalářské práce bylo zhotovení fantomu pro flexibilní endoskopii s využitím metody 3D tisku, tvorba dokumentace, a to včetně vzorového protokolu pro využití ve výuce. Tento hlavní cíl se podařilo splnit v plném rozsahu. Fantom pro flexibilní endoskopii byl navržen v programu Fusion 360, který byl nejvhodnějším programem pro návrh funkčního vzorku fantomu. Pro výrobu všech částí endoskopického fantomu bylo využito metody 3D tisku označované jako FDM (Fused Deposition Modeling). Jednotlivé segmenty byly vytištěny na 3D tiskárně Original Prusa i3 MK3S+ od výrobce tiskáren Prusa Research (Partyzánská 188/7a, Praha, Česká republika). Tato tiskárna byla ve své době považována za jednu z nejlepších na českém trhu, a proto byla zvolena pro vytištění finální podoby funkčního vzorku. Předložená bakalářská práce v přílohách disponuje vzorovým protokolem, který slouží jako manuál pro obsluhu fantomu pro flexibilní endoskopii. Protokol byl vypracován jak v českém jazyce, tak i v anglickém pro zahraniční studenty.

Realizace fantomu se dělila na podcíle, které pojednávaly o rozdělení fantomu na segmenty pro lepší přístupnost a efektivnější využití. Což dokazuje přiložená fotodokumentace, která provází celou bakalářskou práci. Segmenty mají dostačující velikost, která umožňuje manipulaci s celým fantomem. K lepší manipulaci byly vytvořeny i „zátky“ (Obrázek 34, Obrázek 35 a Obrázek 36) na jednotlivé segmenty, které slouží pro manuální kontrolu endoskopu ve fantomu. Při návrhu se podařilo, aby velikost tlustého střeva nepřesahovala délku endoskopů. Dále za pomoci doplňků a materiálů byly vytvořeny situace pro využití instrumentária, konkrétně se jednalo o odstraňování polypů z dutiny a tlustého střeva. Geometrická rozlišovací schopnost endoskopu byla ověřena v segmentu 1 - vrchní část (Obrázek 45), kde byla vytvořena písmena a čísla různých velikostí (font písma Times New Roman, velikost písma od šesti do šestnácti typografických bodů, kdy velikost 6 odpovídá velikosti 2,256 mm a velikost 16 odpovídá 6,017 mm [59]). Jelikož nebylo možné tato čísla a písmena, z časových důvodů, do fantomu pomocí 3D tisku vytisknout, byla proto vytištěna na běžně dostupné tiskárně, zalaminována a následně vlepena na příslušná místa ve fantomu. I když byly doplňky do fantomu pouze nalepeny, neznemožnily průchod endoskopu ani nesnížily svou čitelnost. Endoskopem byly rozpoznány všechny velikosti uvedeného písma. Při porovnání Obrázek 40 s výsledky článku „*Evaluation and image quality comparison of ultra-thin fibre endoscopes for vascular endoscopy*“ [60] je vidět, že bylo dosaženo podobného výsledku. Výsledek se lišil v tom, že autoři článku využili fibroskopy,

kteře obraz přenášejí optickými vlákny a čip mají v kamerové hlavě, zatímco v této práci byl použit kolonoskopický endoskop, který se řadí mezi videokopy, jež mají čip umístěný distálně. Testování rozlišovací schopnosti endoskopů je totožné. Posledním podcílem byla simulace režimu pro využití omezeného spektra světelného záření, které slouží pro detekci vybraných onemocnění, například Barrettův jícen. Na základě vlnové délky záření, která odpovídá různým režimům od firem Olympus, Fuji a Pentax, byly vhodně zvoleny akrylové barvy, které vlnovým délkám režimů od těchto firem odpovídaly.

K samotnému odzkoušení fantomu došlo díky kooperaci s firmou Olympus v Praze, která umožnila využít jejich servisní středisko. Pracoviště disponovalo endoskopem GIF-H180, který podporuje právě režim NBI, jež funguje při vlnové délce 415 nm a 540 nm, což odpovídá modré a zelené barvě. Podrobně jsou režimy endoskopů popsány v podkapitole 4.1. Jelikož fakulta tímto endoskopem nedisponuje, bylo nutné ověřit různé situace s využitím NBI režimu mimo fakultu. Pro testování NBI bylo využito akrylových barev a barevné tabulky. Při použití tohoto režimu ve fantomu se akrylová barva a barvy v tabulkách změnily. Akrylová barva přítomná v tlustém střevě se ze zelené změnila na růžovou a modrá na zelenou. Největší změna byla viditelná na barevné tabulce v dutině. Šedotónové barvy se vůbec nezměnily, za to ty ostatní měly kompletně odlišné odstíny. Konkrétně žlutá barva se změnila na červenou, zelená na cihlovou, červená na tmavě šedou a růžová na tyrkysovou. Tyto skutečnosti jsou srovnány od Obrázku 50 až po Obrázek 52, kde je porovnáváno využití bílého světla endoskopu s NBI režimem. Dle očekávání bylo potvrzeno, že světlo emitované endoskopem změnilo barevné spektrum akrylových barev a barevné tabulky dle očekávání.

Součástí fantomu byla také tvorba snímání distálního konce endoskopu za pomoci miniaturní televizní kamery s využitím mikropočítače Raspberry Pi. Tento systém má, oproti běžně dostupným fantomům, výhodu v dodatečné kontrole distálního konce endoskopu při situacích, kdy je nutné využít instrumentárium pro odstranění polypů.

Největší výhodu u konceptu i funkčního vzorku fantomu lze spatřovat především v jejich levné konstrukci. Další neopomenutelnou výhodou bylo doplnění vnitřních struktur fantomu o vodící čáry, které ulehčily orientaci v prostoru. V konceptu byla vodící čára vyobrazena černou barvou a ve funkčním vzorku za pomoci barvy bílé. Obě čáry zvýrazňovaly spodní stranu fantomu. V budoucnu patří výhoda těchto vodících čar v tom, že studenti, kteří se poprvé v praktické výuce setkávají s endoskopem budou mít

ulehčenou orientaci ve snímaném prostoru. Vodicí čára by tak měla být jejich pomocníkem. V případě, že by ve fantomu tato čára absentovala, mohli by mít studenti problém s orientací, kde je nahoře a kde dole. Další společná výhoda, konceptového a funkčního vzorku fantomu, byla ve využití doplňkové minikamery. Prostřednictvím této kamery byl snímán distální konec endoskopu a zároveň sloužila jako dodatečný pohled pro kontrolu instrumentária. Neopomenutelná výhoda funkčního vzorku fantomu spočívala také v jeho rozložitelnosti na jednotlivé segmenty.

Firmy, které se zabývají výrobou fantomů pro flexibilní endoskopii, vyrábí nejen jednorázové fantomy [11] [17], ale i fantomy, které lze využívat opakovaně. Podrobnější výčet firem a jejich produktů je rozpracován v kapitole 2: Přehled současného stavu. Jednorázové fantomy jsou vyráběny z biologických materiálů, které je nutné po použití ekologicky zlikvidovat, jelikož jejich další využití není možné. Naopak fantomy, které lze opakovaně využívat jsou vytvářeny z materiálů, jejichž základ neobsahuje biologické tkáně, ale pouze uměle vytvořené. Nevýhodu můžeme spatřovat v tom, že při opětovném používání doplňkového instrumentária pro práci s fantomem můžeme značně snížit nebo dokonce poškodit celý fantom. Tudiž obraz snímáný endoskopem může být hůře čitelný. Oproti tomu fantom vytištěný na 3D tiskárně disponuje možností rozložení částí na segmenty. V případě poškození jedné z částí fantomu není tedy nutné pořizovat fantom nový, nýbrž stačí podle výkresu vytisknout poškozenou část. U takto vyhotoveného fantomu můžeme sledovat distální konec endoskopu, a to nejen po otevření jednotlivých segmentů, ale i přídavnou mini kamerou, která je do fantomu zabudovaná. Kromě toho kamera dodává další úhel pohledu na endoskop při odstraňování polypů z dutiny.

Značnou limitací konceptu byly senzory. Ačkoliv snímaly distální konec správně, vznikala tzv. „hluchá místa“ v místě vstupu do fantomu. V těchto „hluchých místech“ nebyl distální konec indikován. Nicméně se jednalo o velmi úzce vymezené místo, do kterého by byla při běžné manipulaci obtížná dostupnost. Tuto skutečnost popisuje Tabulka 4, kde byly uvedeny velikosti ploch „hluchých míst“ s jejich procentuálním vyjádřením ve vztahu k celkové ploše vstupu do fantomu. Vždy by musel být endoskop velmi blízko stěny, aby nebyl detekován, což je v mnohých případech velmi obtížný úkol. V jiném případě bude téměř vždy endoskop rozpoznán. Této chybě by se dalo předejít tím, že by se zúžil vstup do fantomu nebo by se přidaly další dva páry senzorů, které by pokryly tato vzniklá „hluchá místa“. S touto limitací bylo v novém funkčním

vzorku fantomu počítáno, proto byl zúžen vstup do fantomu, a tudíž nebylo potřeba využít dva páry senzorů, ale pouze jeden. Mezi limitaci funkčního vzorku fantomu lze zařadit časovou náročnost na vytištění jednotlivých segmentů. Přibližná doba tisku jednoho segmentu činila 30 hodin. Dále by bylo možné využít alternativní materiály pro výrobu, jako je například ASA nebo PETG. I když se jedná o kvalitnější materiály, než je PLA, mají i tyto materiály své nevýhody. Hlavní nevýhody PETG jsou v silné přilnavosti k podložce, je rozpustný v nebezpečných chemikáliích a není vhodný k tisku detailních částí. [61] Nevýhody ASA jsou v silném kroucení materiálu při tisku a je nutný kryt tiskárny, jelikož vznikají nebezpečné výpary. Tisk ASA probíhá při vysokých teplotách. [62] Poslední nevýhodou je uchycení polypů v tlustém střevě a dutině. I když jsou polystyrenové kuličky (imitace polypů) na drát napíchnuty, při manipulaci s endoskopem uvnitř fantomu docházelo k občasnému setřesení kuličky z drátu. V takovém případě bylo nutné fantom otevřít a kuličku znovu nasadit. Problém s upevněním by vyřešilo stabilní přilepení kuliček, nicméně ty by následně nebylo možné vyndat instrumentáři z tlustého střeva či dutiny.

Cíle, které byly pro bakalářskou práci stanoveny, se podařilo naplnit.



## 7 Závěr

V rámci této bakalářské práce vznikl funkční vzorek fantomu pro flexibilní endoskopii, který bude umožňovat vzdělávání biomedicínských techniků a inženýrů v práci s endoskopem. Hlavním cílem práce bylo zkonstruování fantomu za pomoci metody 3D tisku. Jednotlivé segmenty, ze kterých se celý fantom skládá, byly navrženy tak, aby umožňovaly bezproblémovou manipulaci a případnou výměnu poškozeného segmentu za nový. Dodatková kamera pro snímání distálního konce endoskopu činí funkční vzorek jedinečným oproti těm, které na trhu nabízejí jednotlivé firmy. Přiložená vzorová dokumentace by měla studenty intuitivně vést ke správné práci s endoskopickým fantomem. Výše stanovené cíle bakalářské práce byly splněny.

## Použitá literatura

- [1] URBANOVÁ, Radka. *Úloha sestry při endoskopických vyšetřeních* [online]. České Budějovice, 2017 [cit. 2023-04-29]. Dostupné z: <https://theses.cz/id/6odlbc/21446106>. Bakalářská práce. Jihočeská Univerzita v Českých Budějovicích. Vedoucí práce Mgr. Ivana Chloubová.
- [2] *CAE EndoVR Interventional Simulator* [online]. 2017 [cit. 2023-04-30]. Dostupné z: <https://www.caehealthcare.com/media/files/TechSheets/EndoVR-TechSheet.pdf>
- [3] HOZMAN, PHD., doc., Ing., Jiří. *Přístrojové simulátory a fantomy z oblasti ZSL* [online]. Kladno: Fakulta Biomedicínského Inženýrství ČVUT v Praze, 2019 [cit. 2022-03-13]. Dostupné z: [https://predmety.fbmi.cvut.cz/sites/default/files/predmet/3625/prednasky/17PBBPPS\\_A\\_20191202\\_001050\\_390fd4c46b9c9e80c8f1f70977a7a8a6.pdf](https://predmety.fbmi.cvut.cz/sites/default/files/predmet/3625/prednasky/17PBBPPS_A_20191202_001050_390fd4c46b9c9e80c8f1f70977a7a8a6.pdf)
- [4] *Endoscopy Services* [online]. Cleveland: ClevelandClinic, 2023 [cit. 2023-04-29]. Dostupné z: <https://my.clevelandclinic.org/locations/akron-general/specialties/endoscopy>
- [5] *Upper GI endoscopy* [online]. Bethesda: NIDDK, 2017 [cit. 2023-04-29]. Dostupné z: <https://www.niddk.nih.gov/health-information/diagnostic-tests/upper-gi-endoscopy>
- [6] *Endoscopy* [online]. Bethesda: MedlinePlus, 2016 [cit. 2023-04-29]. Dostupné z: <https://medlineplus.gov/endoscopy.html>
- [7] *Upper endoscopy* [online]. Scottsdale: Mayo Clinic, 2022 [cit. 2023-04-29]. Dostupné z: <https://www.mayoclinic.org/tests-procedures/endoscopy/about/pac-20395197>
- [8] JASZCZAK, Monica. *What Is A Phantom? How Does It Work?* [online]. DataSpectrum, 2023 [cit. 2023-04-29]. Dostupné z: <https://www.spect.com/blog/what-is-a-phantom-how-does-it-work/>
- [9] Imaging Phantom. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2023 [cit. 2023-04-29]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Imaging\\_phantom](https://en.wikipedia.org/wiki/Imaging_phantom)
- [10] GOODMAN, Adam, Joshua MELSON, Harry ASLANIAN et al. Endoscopic simulators. *Gastrointestinal Endoscopy* [online]. 2019, 90(1), 1-12 [cit. 2023-05-15]. ISSN 0016-5107. Dostupné z: doi:10.1016/j.gie.2018.10.037.

- [11] *Endoscopic ultrasound training phantoms* [online]. Norfolk, 2022 [cit. 2022-03-13]. Dostupné z: <https://www.cirsinc.com/products/ultrasound/ats-urethane/endoscopic-ultrasound-training-phantoms/>
- [12] *General small parts phantom* [online]. Norfolk, 2022 [cit. 2022-03-13]. Dostupné z: <https://www.cirsinc.com/products/ultrasound/ats-urethane/general-small-parts-phantom/>
- [13] *CLA – Coburger Lehrmittelanstalt* [online]. Coburg, 2022 [cit. 2022-03-13]. Dostupné z: <https://cla.de/en/>
- [14] *EndoVR interventional simulator* [online]. 2016 [cit. 2022-03-13]. Dostupné z: <https://www.cahealthcare.com/media/files/TechSheets/EndoVR-TechSheet.pdf>
- [15] *True Phantom Solutions* [online]. 2022 [cit. 2022-03-13]. Dostupné z: <https://www.medicalexpo.com/soc/true-phantom-solutions-124229.html>
- [16] *Echo-endoscopy test phantom* [online]. 2022 [cit. 2022-03-13]. Dostupné z: <https://www.medicalexpo.com/prod/true-phantom-solutions/product-124229-885387.html>
- [17] *ENDOSIM* [online]. Büchenbach, 2019 [cit. 2022-03-21]. Dostupné z: <https://endosim.squarespace.com/>
- [18] LUKEŠ, P., M. ZÁBRODSKÝ, E. LUKEŠOVÁ, J. PLZÁK, M. CHOVANEC, J. ASTL, J. BETKA JR. a J. BETKA. Narrow Band Imaging (NBI) - endoskopická metoda pro diagnostiku karcinomů hlavy a krku. *Otorinolaryngologie a foniatrie* [online]. 2013, 62(4), 173-179 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://www.prolekare.cz/casopisy/otorinolaryngologie-foniatrie/2013-4/narrow-band-imaging-nbi-endoskopicka-metoda-pro-diagnostiku-karcinomu-hlavy-a-krku-47115>
- [19] LUKEŠ, Petr, Michal ZÁBRODSKÝ, Jan PLZÁK, Martin CHOVANEC, Eva FOLTYNOVÁ, Jaroslav BETKA, Jan KASTNER a Jan BETKA. Úloha NBI v endoskopické diagnostice dlaždicových karcinomů hlavy a krku. *Endoskopie* [online]. 2012, 21(1), 15-19 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: [https://www.solen.cz/artkey/end-201201-0004\\_Uloha\\_NBI\\_v\\_endoskopicke\\_diagnostice\\_dlazdicovych\\_karcinomu\\_hlavy\\_a\\_krku.php](https://www.solen.cz/artkey/end-201201-0004_Uloha_NBI_v_endoskopicke_diagnostice_dlazdicovych_karcinomu_hlavy_a_krku.php)
- [20] HIRNER, L, E STAGGE, H RÜBBEN, M SCHENCK a A EISENHARDT. Narrow band imaging-assisted cystoscopy in bladder tumor follow-up: Can more tumors be identified?. *Urologe A* [online]. German, 2016, 55(3), 370-5 [cit. 2023-05-14]. ISSN 26370096. Dostupné z: doi:10.1007/s00120-015-3942-9

- [21] *I-scan technology* [online]. i-scanimaging, 2023 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://i-scanimaging.com/emea/about/i-scan/i-scan-technology/#>
- [22] KODASHIMA, Shinya a Mitsuhiro FUJISHIRO. Novel image-enhanced endoscopy with i-scan technology. *World J Gastroenterol* [online]. 2010, 16(9), 1043–1049 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: doi:10.3748/wjg.v16.i9.1043
- [23] *FICE - Flexile spectral Imaging Color Enhancement* [online]. Saitama: Fujinon, 2008 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://www.fujifilm.com/wp-content/uploads/2021/01/fice-esp.pdf>
- [24] *Het Hetcolor malířská tónovací barva, 0450 modrá* [online]. Praha, 2023 [cit. 2023-05-07]. Dostupné z: <https://www.bal.cz/het-hetcolor-malirska-tonovaci-barva-0450-modra-350-g/>
- [25] *Het Hetcolor malířská tónovací barva, 0410 světle modrá* [online]. Praha, 2023 [cit. 2023-05-07]. Dostupné z: <https://www.bal.cz/het-hetcolor-malirska-tonovaci-barva-0410-svetle-modra-350-g/>
- [26] *Het Hetcolor malířská tónovací barva, 0582 zelená* [online]. Praha, 2023 [cit. 2023-05-07]. Dostupné z: <https://www.bal.cz/het-hetcolor-malirska-tonovaci-barva-0582-zelena-350-g/>
- [27] *Raspberry Pi 7" dotykový displej* [online]. Roudné, 2023 [cit. 2023-05-07]. Dostupné z: <https://rpishop.cz/lcd-oled-displeje/243-7-oficialni-kapacitni-lcd-displej-800x480.html>
- [28] *CEYS Lepidlo EPOXI dvousložkové* [online]. Plzeň, 2023 [cit. 2023-05-07]. Dostupné z: <https://www.elfetex.cz/11-024-079-ceys-lepidlo-42500201-30ml-epoxy>
- [29] *Připojení flexi Alcadrain A702 50/40×50/40* [online]. 2022 [cit. 2022-05-31]. Dostupné z: <https://www.dek.cz/pobocka-benesov/produkty/detail/6000042090-a702-flexi-propojeni-50-40x40-50-doprodej>
- [30] *HT odbočka 50/50 - 45°* [online]. Rumburk, 2021 [cit. 2022-05-31]. Dostupné z: <https://www.akoupelnyatopeni.cz/instalace-rozvody/ht-odbocka-50-50-45-htea-50-50-45?cid=2686>
- [31] *Husí krk trubka SRC 8 11,5mm* [online]. Praha, 2022 [cit. 2022-05-31]. Dostupné z: <https://www.kvelektro.cz/husi-krk-trubka-src-8-11-5mm-seda-30m-p1212291>
- [32] *Raspberry Pi kamera V2* [online]. Roudné, 2023 [cit. 2023-05-07]. Dostupné z: <https://rpishop.cz/mipi-kamerove-moduly/329-raspberry-pi-kamera-modul-v2.html>
- [33] *MAMUT GLUE High Tack* [online]. Úvalno, 2022 [cit. 2022-05-31]. Dostupné z: <https://denbraven.cz/produkt/mamut-glue-high-tack/>

- [34] *Magnet neodymový TALÍŘ* [online]. Praha, 2015 [cit. 2023-05-07]. Dostupné z: <https://www.kutil-florenc.cz/magnet-neodymovy-talir-NdFeB-p3950>
- [35] *Nízkoexpanzní pěna* [online]. Úvalno, 2022 [cit. 2022-05-31]. Dostupné z: <https://denbraven.cz/produkt/nizkoexpanzni-pena/>
- [36] *Nůž ulamovací s kovovou výstuhou a zásobníkem, 18mm Auto-lock* [online]. 2022 [cit. 2022-05-31]. Dostupné z: <https://www.extol.cz/nuz-ulamovaci-s-kovovou-vystuhou-a-zasobnikem-18mm-auto-lock>
- [37] *IR senzor přerušení paprsku* [online]. Ostrava, 2023 [cit. 2023-01-10]. Dostupné z: <https://botland.cz/pohybove-senzory/18688-ir-senzor-preruseni-paprsku-led-5mm-0-25cm-5904422366469.html>
- [38] *Prusament PLA Prusa Galaxy Black* [online]. Praha: Prusa Research, 2023 [cit. 2023-05-07]. Dostupné z: <https://www.prusa3d.com/cs/produkt/prusament-pla-prusa-galaxy-black-1kg-refill/>
- [39] *Náhradní kuličky micro 1-3 mm do kojícího polštáře* [online]. Ohnišov, 2022 [cit. 2022-05-31]. Dostupné z: <https://www.esitocz.cz/kojici-polstar/148-nahradni-kulicky-micro-1-3-mm-do-kojiciho-polstare.html>
- [40] *Het Akryl Mat univerzální barva, 0100 bílá* [online]. Praha, 2023 [cit. 2023-05-07]. Dostupné z: <https://www.bal.cz/het-akryl-mat-univerzalni-barva-na-drevo-i-kov-0100-bila-700-g-140544/>
- [41] *OLYMPUS GIF-XP20 FIBER GASTROSCOPE* [online]. Orange City, 2022 [cit. 2022-05-31]. Dostupné z: <https://www.global-endo.com/store/products/olympus-exera-ii-gif-160-video-gastroscope-duplicate-2/>
- [42] *EVIS EXERA III (GIF-H190)* [online]. 2023 [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: <https://medical.olympusamerica.com/products/gastroscope/evis-exera-iii-gif-h190>
- [43] *OLYMPUS EVIS GIF-Q145 VIDEO GASTROSCOPE* [online]. Orange City, 2022 [cit. 2022-05-31]. Dostupné z: <https://www.global-endo.com/store/products/olympus-exera-gif-q160-video-gastroscope-duplicate-2/>
- [44] *Olympus CV-180* [online]. Bloomfield [cit. 2023-01-10]. Dostupné z: <https://www.somatechnology.com/Complete-Endoscopy-Systems/Olympus-CV-180.aspx>
- [45] *EVIS EXERA III (CV-190)* [online]. 2023 [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: <https://medical.olympusamerica.com/products/evis-exera-iii-cv-190>
- [46] *OLYMPUS CLV-180* [online]. Bloomfield, 2023 [cit. 2023-01-10]. Dostupné z: <https://www.somatechnology.com/Olympus-CLV-180-Light-Source-System.aspx>

- [47] *EVIS EXERA III (CLV-190)* [online]. 2023 [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: <https://medical.olympusamerica.com/products/light-source/evis-exera-iii-clv-190>
- [48] STRÍTESKÝ, Ondřej, Josef PRŮŠA a Martin BACH. *Základy 3D tisku s Josefem Průšou* [online]. První. Praha: Prusa Research, 2019 [cit. 2023-05-03]. Dostupné z: [https://www.prusa3d.com/cs/stranka/zaklady-3d-tisku-s-josefem-prusou\\_490/](https://www.prusa3d.com/cs/stranka/zaklady-3d-tisku-s-josefem-prusou_490/)
- [49] 3D tisk: jak funguje FDM/FFF tiskárna?. *Svět Hardware* [online]. 2019 [cit. 2023-05-03]. ISSN 1213-0818. Dostupné z: <https://www.svethardware.cz/3d-tisk-jak-funguje-fdm-fff-tiskarna/48457-2>
- [50] ZHANG, Boqing, Ling WANG, Ping SONG et al. 3D printed bone tissue regenerative PLA/HA scaffolds with comprehensive performance optimizations. *Materials & Design* [online]. 2021, (201) [cit. 2023-05-03]. ISSN 02641275. Dostupné z: doi:10.1016/j.matdes.2021.109490
- [51] TIRADO-GARCIA, I., D. GARCIA-GONZALEZ, S. GARZON-HERNANDEZ, A. RUSINEK, G. ROBLES, J. MARTINEZ-TARIFA a A. ARIAS. Conductive 3D printed PLA composites: On the interplay of mechanical, electrical and thermal behaviours. *Composite Structures* [online]. 2021, (265) [cit. 2023-05-03]. ISSN 02638223. Dostupné z: doi:10.1016/j.compstruct.2021.113744
- [52] *PLA* [online]. Brno, 2022 [cit. 2023-05-03]. Dostupné z: <https://www.materialpro3d.cz/materialovy-slovník/pla/>
- [53] JAMSHIDIAN, Majid, Elmira TEHRANY, Muhammad IMRAN, Muriel JACQUOT a Stéphane DESOBRY. Poly-Lactic Acid: Production, Applications, Nanocomposites, and Release Studies. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* [online]. 9, 552-571 [cit. 2023-05-03]. Dostupné z: doi:10.1111/j.1541-4337.2010.00126.x
- [54] *Snímače polohy* [online]. 2022 [cit. 2022-10-26]. Dostupné z: [https://vyuka.hradebni.cz/file.php/133/snimace\\_polohy\\_24.pdf](https://vyuka.hradebni.cz/file.php/133/snimace_polohy_24.pdf)
- [55] *Co jsou senzory polohy a systémy pro měření rozměrů?* [online]. [cit. 2022-10-26]. Dostupné z: [https://www.keyence.eu/cscz/ss/products/measure/library/basic/products\\_info.jsp](https://www.keyence.eu/cscz/ss/products/measure/library/basic/products_info.jsp)
- [56] *Optical desc* [online]. 2022 [cit. 2022-10-31]. Dostupné z: [https://ozeki.hu/p\\_5601-optical-desc.html](https://ozeki.hu/p_5601-optical-desc.html)
- [57] PRICKETT, Simon. *Using a Break Beam Sensor with Python and Raspberry Pi* [online]. 2022 [cit. 2023-05-04]. Dostupné z: <https://simonprickett.dev/using-a-break-beam-sensor-with-python-and-raspberry-pi/>

- [58] KRČMÁŘ, Petr. *Raspberry Pi: miniaturní ARM počítač za pár stovek* [online]. 2011, 1 [cit. 2022-10-26]. Dostupné z: <https://www.root.cz/clanky/raspberry-pi-miniaturni-arm-pocitac-za-par-stovek/>
- [59] Typografický bod. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2021 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Typografick%C3%BD\\_bod](https://cs.wikipedia.org/wiki/Typografick%C3%BD_bod)
- [60] BOESE, Axel, Akhil SIVANKUTTY a Michael FRIEBE. Evaluation and image quality comparison of ultra-thin fibre endoscopes for vascular endoscopy. *Current Directions in Biomedical Engineering* [online]. 2017, **3**(2), 231-233 [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: doi:10.1515/cdbme-2017-0048
- [61] *PETG* [online]. Praha: Prusa Research, 2022 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: [https://help.prusa3d.com/cs/article/petg\\_2059](https://help.prusa3d.com/cs/article/petg_2059)
- [62] *ASA* [online]. Praha: Prusa Research, 2022 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: [https://help.prusa3d.com/cs/article/asa\\_1809](https://help.prusa3d.com/cs/article/asa_1809)

# Seznam obrázků

Obrázek 1: Schematické zobrazení maximálního úhlu ohybu endoskopu .....	20
Obrázek 2: Schéma polystyrenového fantomu, měřítko 1:2, rozměry [mm] .....	23
Obrázek 3: Schematické zobrazení FDM, převzato z [48] .....	24
Obrázek 4: Blokové schéma zapojení měřicího řetězce .....	25
Obrázek 5: Blokové schéma zapojení optických bran.....	26
Obrázek 6: Zapojení optických bran s mikropočítačem Raspberry Pi, převzato z [57]	27
Obrázek 7: Koncept fantomu, pohled shora .....	29
Obrázek 8: Vstup do konceptu fantomu s přidruženými optickými branami.....	29
Obrázek 9: Měděné dráty s polypy uvnitř dutiny, pohled shora.....	30
Obrázek 10: Návrh krabičky pro umístění kamery.....	30
Obrázek 11: Vytisknutá krabička s kamerou, pohled zdola.....	30
Obrázek 12: Vytisknutá krabička s kamerou, pohled shora.....	31
Obrázek 13: Endoskopická věž s obrazovkou, flexibilním endoskopem a procesorovou jednotkou .....	31
Obrázek 14: Rozdvojení cest v „Y“ spojení .....	32
Obrázek 15: Zúžení č. 1 .....	32
Obrázek 16: Zúžení č. 2.....	32
Obrázek 17: Dutina s dráty a kamerou .....	33
Obrázek 18: Displej při snímání distálního konce endoskopu .....	33
Obrázek 19: Směrová vyzařovací charakteristika IR LED diody.....	34
Obrázek 20: Schematické zobrazení „hluchých míst“ senzorů.....	34
Obrázek 21: Spodní segmenty funkčního vzorku fantomu, pohled NE isometric .....	35
Obrázek 22: Vrchní segmenty funkčního vzorku fantomu, pohled SE isometric .....	36
Obrázek 23: Vrchní segmenty funkčního vzorku fantomu, pohled NE isometric.....	36
Obrázek 24: Segment 1 - spodní část, pohled NE isometric .....	36
Obrázek 25: Segment 1 - vrchní část, pohled SE isometric.....	37
Obrázek 26: Segment 2 - spodní část, pohled NE isometric .....	37
Obrázek 27: Segment 2 - vrchní část, pohled SE isometric.....	37



Obrázek 28: Segment 3 - spodní část, pohled NE isometric .....	38
Obrázek 29: Segment 3 - vrchní část, pohled SE isometric.....	38
Obrázek 30: Segment 4 - spodní část, pohled NE isometric .....	38
Obrázek 31: Segment 4 - vrchní část, pohled SE isometric.....	39
Obrázek 32: Segment 5 - spodní část, pohled NE isometric .....	39
Obrázek 33: Segment 5 - vrchní část, pohled SE isometric.....	39
Obrázek 34: Zátka segment 2, pohled SE isometric .....	40
Obrázek 35: Zátka segment 3, pohled SE isometric .....	40
Obrázek 36: Zátka segment 4, pohled SE isometric .....	40
Obrázek 37: Držáky displeje Raspberry Pi, pohled NE isometric.....	41
Obrázek 38: Název bakalářské práce .....	41
Obrázek 39: Popisy segmentů.....	41
Obrázek 40: Písmo a čísla pro ověření rozlišovací schopnosti endoskopu .....	42
Obrázek 41: Vytištěný funkční vzorek fantomu, pohled shora .....	42
Obrázek 42: Vytištěný funkční vzorek fantomu, pohled shora .....	43
Obrázek 43: Detail dutiny s držáky polypů a barevná tabulka .....	43
Obrázek 44: Endoskopická věž s obrazovkou, flexibilním endoskopem, procesorovou jednotkou a zdrojem světla .....	44
Obrázek 45: Písmena a čísla pro odzkoušení rozlišovací schopnosti endoskopu.....	44
Obrázek 46: Zúžení č. 1, v popředí držák polypu s polypem .....	45
Obrázek 47: Zúžení č. 2, v popředí držák polypu s polypem .....	45
Obrázek 48: Dutina s držáky polypů, polypy, kamerou a barevnou tabulkou.....	45
Obrázek 49: Displej při snímání distálního konce endoskopu .....	46
Obrázek 50: Zúžení č. 1, vlevo použití bílého světla, vpravo režim NBI .....	46
Obrázek 51: Zúžení č. 2, vlevo použití bílého světla, vpravo režim NBI .....	46
Obrázek 52: Dutina s držáky polypů, polypy, kamerou a barevnou tabulkou, vlevo použití bílého světla, vpravo režim NBI .....	47

## Seznam tabulek

Tabulka 1: Parametry použitých flexibilních endoskopů .....	19
Tabulka 2: Seznam materiálů a komponent fantomů .....	21
Tabulka 3: Seznam použitých přístrojů .....	22
Tabulka 4: Vypočítané hodnoty ploch „hluchých míst“ .....	35

# Příloha A: Program pro ovládání optických bran včetně kamery

```
1 import RPi.GPIO as GPIO
2 from picamera import PiCamera
3 #from time import sleep
4
5 BEAM_PIN = 17
6 camera=PiCamera()
7
8 def break_beam_callback(channel):
9     if GPIO.input(BEAM_PIN):
10
11         if camera.recording:
12             print("signal neprerusen\n")
13
14         else:
15             if not camera.recording:
16                 print("signal prerusen\n")
17                 #camera.resolution = (800, 300)
18                 #camera.framerate = 15
19                 camera.start_preview(alpha = 250)
20                 #fullscreen=False, window = (10, 0, 720, 480)
21                 camera.start_recording('/home/pi/Desktop/kamera_fantom.h264')
22                 #camera.color_effects = (128,128)
23
24 GPIO.setmode(GPIO.BCM)
25 GPIO.setup(BEAM_PIN, GPIO.IN, pull_up_down=GPIO.PUD_UP)
26 GPIO.add_event_detect(BEAM_PIN, GPIO.BOTH, callback=break_beam_callback)
27
28 message = input("Press enter to quit\n\n")
29 if message == '':
30     camera.stop_recording()
31     camera.stop_preview()
32
33 GPIO.cleanup()
```

## **Příloha B: Návod fantomu pro využití ve výuce, český jazyk**



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

---

**FAKULTA BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ**

**Katedra biomedicínské techniky**

**Fantom pro flexibilní endoskopii**

**Flexible endoscopy phantom**

**Jan Strachota**

**Kladno**



## 1. Zadání

Cílem této úlohy je odzkoušet funkčnost endoskopu (průchodnost endoskopu tlustým střevem), zjistit, zda je endoskop detekován kamerou, odzkoušení NBI režimu endoskopem a diskutování výsledků. V případě, že budou splněny předchozí úkoly, pokuste se vyndat dva a více polypů z fantomu za pomoci vhodného instrumentária.

Jednotlivé segmenty jsou popsány čísly od jedné do pěti. Na každém segmentu je též připsáno rozlišení spodní a horní strany segmentu. Bílé tečky na horních segmentech slouží ke správnému zasazení jednotlivých částí do sebe.

## 2. Teorie

Fantomem se v medicíně rozumí model/umělé těleso, které je většinou konstruováno tak, aby splňovalo požadavky pro jeho využití. Což znamená, že musí správně a věrohodně simulovat lidské tělo, jeho vlastnosti, tkáně, pohyblivost kloubů i krevní oběh. V medicíně je využití fantomů hojně rozšířené, a to od zaučování lékařů až po testování nových terapeutických a diagnostických metod. Za pomoci chirurgického fantomu si tak lékař může nanečisto vyzkoušet operační zákroky. Nejen, že se na konkrétních částech těla zdokonalí v technice, ale i v celkovém provedení zákroku. Dále se mohou využívat pro testování zobrazovacích diagnostických metod prostřednictvím MRI nebo CT. Fantomy pro tyto zobrazovací metody mohou být naplněny kontrastními látkami, díky kterým dochází ke zvýšení kontrastu na snímaném snímku a zkvalitnění diagnostiky fantomu. [1] [2]

Endoskopické fantomy jsou konstruovány tak, aby co nejpřesněji simulovaly anatomii tkání a vnitřních orgánů, do kterých se endoskopem vstupuje. Tyto fantomy se používají pro nácvik endoskopických zákroků, kterými jsou kolonoskopie, bronchoskopie a jiné. Jako materiály pro výrobu těchto fantomů slouží povětšinou různorodé plastové hmoty, měkké gummy nebo biologické materiály, které mají za úkol nasimulovat tkáně či buňky. Vhodný materiál, pro zhotovení fantomu, je volen až na základě dalšího využití. [3]



Jedním z důležitých parametrů flexibilních endoskopů je jejich schopnost využívat filtraci barev ve viditelném spektru světelného záření. Olympus tento režim nazývá NBI (Narrow Band Imaging), Pentax I-SCAN a Fujinon FICE (Flexile spectral Imaging Color Enhancement). Filtrace světla může být řešena dvěma způsoby. Prvním způsobem je fyzické využití mechanických filtrů, které jsou uloženy v endoskopu před zdrojem světla. Druhý způsob není fyzický, nýbrž softwarový. Digitální filtry jsou řešeny softwarově. Filtrují tak danou vlnovou délku světla, která není potřeba pro diagnostiku. Mechanické filtry používá pouze firma Olympus, která byla průkopníkem ve využití této filtrace. Vzhledem k tomu, že firma Olympus neumožnila žádné firmě používat jejich techniku, tak se firmy Pentax a Fujinon rozhodly pro využití digitální filtrace. A tím mohly konkurovat firmě Olympus.

Režim NBI pracuje na principu mechanického odfiltrování vlnové délky světla, kdy je využito pouze dvou vlnových délek. Jednalo se o vlnovou délku 415 nm a 540 nm, které odpovídají modré a zelené barvě viditelného světla. Jedná se o vlnové délky, které jsou dobře absorbovány červeným krevním barvivem. Délka 540 nm proniká hlouběji do tkání a zobrazuje venózní pleteně. Naopak délka 415 nm tak hluboko nepenetruje. Je spíše povrchová. To může být užitečné například při detekci malých nádorů v trávicím traktu. [4] [5] [6]

Režim I-SCAN vylepšuje obraz pomocí tří algoritmů. První z nich je pro zvýraznění kontrastu (CE), druhý pro vylepšení tónů (TE) a třetí pro povrchové vylepšení celkového obrazu (SE). Režimy jsou uspořádány sériově tak, aby bylo možné využít dvou nebo více režimů najednou. Přepínání režimů je prováděno v reálném čase, tudíž to usnadňuje samotnou práci s endoskopem při vyšetřování. I-SCAN se často používá při vyšetření jícnu, střev, průdušek nebo žaludku. [7] [8]

FICE režim rozděluje světlo endoskopu na tři barevné kanály – modrý, zelený a červený. Přizpůsobuje jejich intenzitu tak, aby byly co nejvíce v souladu s vlastnostmi trávicího traktu. Díky tomu jsou barevné odstíny na obrazovce výraznější a detaily jsou tak lépe viditelné. Detaily jsou sledovány v reálném čase a mají vylepšenou vizualizaci barev a kontrastů. Režim je užitečný pro detekci a diagnostiku různých patologií trávicího traktu, jako jsou například polypy nebo vnitřní krvácení. [9]

### 3. Použité přístroje

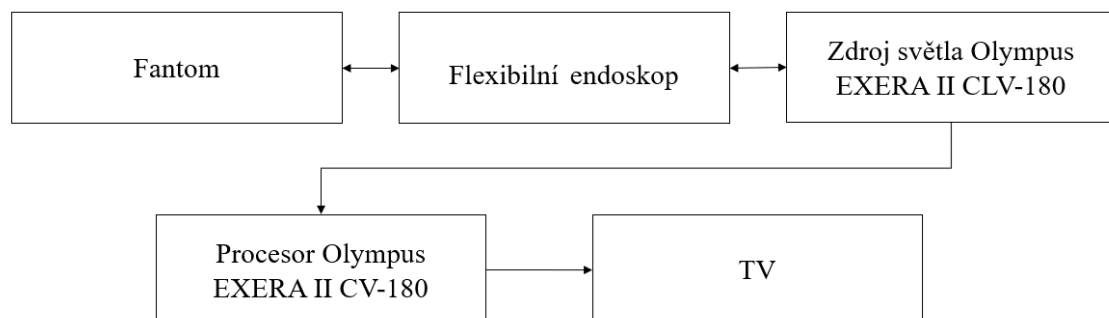
**Tabulka 1:** Seznam použitých přístrojů

Přístroj	Model	Výrobce	Země původu	Odkaz
Flexibilní endoskop	GIF-PQ20	Olympus	JPN	[10]
Flexibilní endoskop	GIF-Q165	Olympus	JPN	[11]
Procesorová jednotka	EXERA II CV-180	Olympus	JPN	[12]
Zdroj světla	EXERA II CLV-180	Olympus	JPN	[13]

### 4. Schéma zapojení

**Blokové schéma zapojení měřicího řetězce**

Blokové schéma (Obrázek 1) popisuje celkové zapojení fantomu s flexibilním endoskopem. Endoskop je zapojen do snímací věže od firmy Olympus (Obrázek 2). Tato snímací věž je složena ze zdroje světla (Olympus EXERA II CLV-180), procesorové jednotky (Olympus EXERA II CV-180) a monitoru zobrazující obraz z endoskopu.

**Obrázek 1:** Blokové schéma zapojení měřicího řetězce

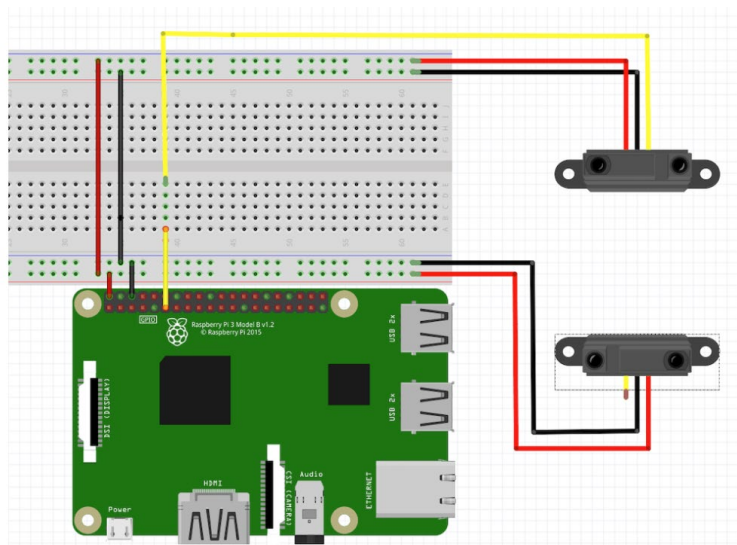




**Obrázek 2:** Endoskopická věž s obrazovkou a flexibilním endoskopem

### **Zapojení optických bran s mikropočítačem Raspberry Pi**

Zapojení senzorů polohy do mikropočítače Raspberry Pi je vidět na Obrázku 3. Jedná se o zapojení, které se skládá z vyzařovací a senzorické části. Vyzařovací část je řešena IR LED diodou a senzorická fototranzistorem. Fototranzistor snímá IR světlo, které vyzařuje LED dioda a převádí jej na signál přímo do mikropočítače Raspberry Pi.

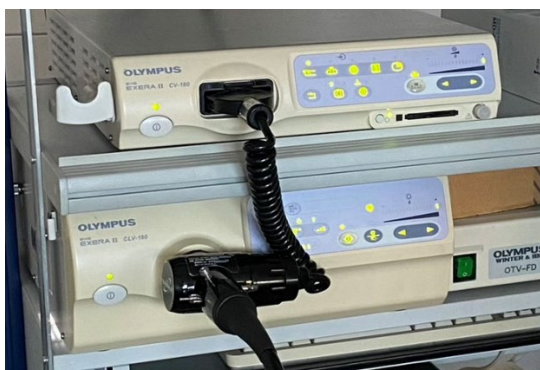


Obrázek 3: Zapojení optických bran s mikropočítačem Raspberry Pi, převzato z [14]

## 5. Postup měření

### A. Zapojte endoskop do endoskopické věže:

- Zapojte síťový kabel od endoskopické věže do zásuvky,
- Endoskop zapojte do zdroje světla EXERA II CLV-180,
- Propojovacím kabelem připojte endoskop k procesorové jednotce EXERA II CV-180,



Obrázek 4: Propojení zdroje světla EXERA II CLV-180 do procesorové jednotky EXERA II CV-180

- Stiskněte tlačítko pro zapnutí zdroje světla, procesorové jednotky, případně i obrazovky.

#### B. Vyzkoušejte fantom pro flexibilní endoskopii vyrobený na 3D tiskárně:

- Z fantomu odejměte horní části segmentů 2, 4 a 5, kterými odkryjete držáky polypů (jednotlivé segmenty mají na sobě štítky s popisy),
- Na držáky polypů nasadíte polystyrenové kuličky imitující polyp,



**Obrázek 5:** Detail dutiny s držáky polypů a barevná tabulka

- Vraťte zpět odebrané segmenty a uzavřete fantom,
- Připojte síťový zdroj napětí do mikropočítače Raspberry Pi,
- Spusťte program pro snímání polohy distálního konce endoskopu („*Camera phantom*“), který naleznete vlevo na úvodní obrazovce,



**Obrázek 6:** Hlavní obrazovka Raspberry Pi

- Spusťte program tlačítkem „*Spustit*“,

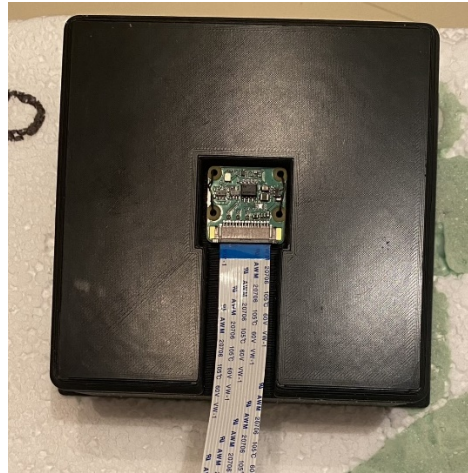
```
Thonny - /home/cvut/Desktop/Camera phantom.py @ 40 : 1
Nový Načítat Uložit Spustit Ladit Preskočit Důvnůtra Von Zastavit
Camera phantom.py
1 import RPi.GPIO as GPIO
2
3
4 from picamera import PiCamera
5 #from time import sleep
6
7 BEAM_PIN = 17
8 camera=PiCamera()
9
Shell
Python 3.7.3 (/usr/bin/python3)
>>> |
Python 3.7.3
```

**Obrázek 7:** Program pro spuštění kódu

- g. Vyzkoušejte simulace endoskopických situací s využitím instrumentária (vyjmutí polypů z dutiny a tlustého střeva),
- h. Program vypnete stisknutím klávesy „Enter“.

C. Vyzkoušejte fantom pro flexibilní endoskopii vyrobený z polystyrenové desky:

- a. Odšroubujte krabičku vytištěnou na 3D tiskárně (Obrázek 6 – nyní bez kamery),



Obrázek 8: Vytištěná krabička s kamerou, pohled shora

- b. Na držáky polypů nasadíte polystyrenové kuličky imitující polyp,



Obrázek 9: Měděné dráty s polypy uvnitř dutiny, pohled shora

- c. Přišroubujte zpět krabičku,  
d. Vyzkoušejte simulace endoskopických situací s využitím instrumentária.





## 6. Kontrolní otázky

- A. K čemu slouží fantomy?
- B. Jak se jmenují a k čemu se používají endoskopické režimy?
- C. Jak tyto režimy fungují?
- D. Jaké anatomické struktury jsou těmito režimy zkoumány?
- E. Jaké se dělí endoskopy?
- F. Jakým způsobem je zkonstruován flexibilní endoskop?

## 7. Použitá literatura

- [1] JASZCZAK, Monica. *What Is A Phantom? How Does It Work?* [online]. DataSpectrum, 2023 [cit. 2023-04-29]. Dostupné z: <https://www.spect.com/blog/what-is-a-phantom-how-does-it-work/>
- [2] Imaging Phantom. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2023 [cit. 2023-04-29]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Imaging\\_phantom](https://en.wikipedia.org/wiki/Imaging_phantom)
- [3] GOODMAN, Adam, Joshua MELSON, Harry ASLANIAN et al. Endoscopic simulators. *Gastrointestinal Endoscopy* [online]. 2019, 90(1), 1-12 [cit. 2023-05-15]. ISSN 0016-5107. Dostupné z: doi:10.1016/j.gie.2018.10.037.
- [4] LUKEŠ, P., M. ZÁBRODSKÝ, E. LUKEŠOVÁ, J. PLZÁK, M. CHOVANEC, J. ASTL, J. BETKA JR. a J. BETKA. Narrow Band Imaging (NBI) - endoskopická metoda pro diagnostiku karcinomů hlavy a krku. *Otorinolaryngologie a foniatrie* [online]. 2013, 62(4), 173-179 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://www.prolekare.cz/casopisy/otorinolaryngologie-foniatrie/2013-4/narrow-band-imaging-nbi-endoskopicka-metoda-pro-diagnostiku-karcinomu-hlavy-a-krku-47115>
- [5] LUKEŠ, Petr, Michal ZÁBRODSKÝ, Jan PLZÁK, Martin CHOVANEC, Eva FOLTYNOVÁ, Jaroslav BETKA, Jan KASTNER a Jan BETKA. Úloha NBI v endoskopické diagnostice dlaždicových karcinomů hlavy a krku. *Endoskopie* [online]. 2012, 21(1), 15-19 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: [https://www.solen.cz/artkey/end-201201-0004\\_Uloha\\_NBI\\_v\\_endoskopicke\\_diagnostice\\_dlazdicovych\\_karcinomu\\_hlavy\\_a\\_krku.php](https://www.solen.cz/artkey/end-201201-0004_Uloha_NBI_v_endoskopicke_diagnostice_dlazdicovych_karcinomu_hlavy_a_krku.php)
- [6] HIRNER, L, E STAGGE, H RÜBBEN, M SCHENCK a A EISENHARDT. Narrow band imaging-assisted cystoscopy in bladder tumor follow-up: Can more tumors be identified?. *Urologe A* [online]. German, 2016, 55(3), 370-5 [cit. 2023-05-14]. ISSN 26370096. Dostupné z: doi:10.1007/s00120-015-3942-9
- [7] I-scan technology [online]. *i-scan imaging, 2023* [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://i-scanimaging.com/emea/about/i-scan/i-scan-technology/#>



- [8] KODASHIMA, Shinya a *Mitsuhiro FUJISHIRO*. *Novel image-enhanced endoscopy with i-scan technology*. *World J Gastroenterol* [online]. 2010, 16(9), 1043–1049 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: doi:10.3748/wjg.v16.i9.1043
- [9] FICE - *Flexile spectral Imaging Color Enhancement* [online]. *Saitama: Fujinon*, 2008 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://www.fujifilm.com/wp-content/uploads/2021/01/fice-esp.pdf>
- [10] OLYMPUS GIF-XP20 FIBER GASTROSCOPE [online]. *Orange City, 2022* [cit. 2022-05-31]. Dostupné z: <https://www.global-endo.com/store/products/olympus-exera-ii-gif-160-video-gastroscope-duplicate-2/>
- [11] OLYMPUS EVIS GIF-Q145 VIDEO GASTROSCOPE [online]. *Orange City, 2022* [cit. 2022-05-31]. Dostupné z: <https://www.global-endo.com/store/products/olympus-exera-gif-q160-video-gastroscope-duplicate-2/>
- [12] Olympus CV-180 [online]. *Bloomfield* [cit. 2023-01-10]. Dostupné z: <https://www.somatechnology.com/Complete-Endoscopy-Systems/Olympus-CV-180.aspx>
- [13] OLYMPUS CLV-180 [online]. *Bloomfield, 2023* [cit. 2023-01-10]. Dostupné z: <https://www.somatechnology.com/Olympus-CLV-180-Light-Source-System.aspx>

## **Příloha C: Návod fantomu pro využití ve výuce, anglický jazyk**





**CZECH TECHNICAL UNIVERSITY IN PRAGUE**

---

**FACULTY OF BIOMEDICAL ENGINEERING**

**Department of biomedical technology**

**Fantom pro flexibilní endoskopii**

**Flexible endoscopy phantom**

**Jan Strachota**

**Kladno**



## **1. Assignment**

The aim of this task is to test the functionality of the endoscope (endoscope passage through the colon), to see if the endoscope is detected by the camera, to test the NBI mode of the endoscope and discuss the results. If the previous tasks are completed, try to take out two or more polyps from the phantom using appropriate instrumentation.

The individual segments are described by numbers from one to five. Each segment is also assigned a resolution of the lower and upper side of the segment. The white dots on the upper segments are used to correctly fit the individual parts together.

## **2. Theory**

In medicine, a phantom is a model/artificial body that is usually designed to meet the requirements for its use. This means that it must correctly and faithfully simulate the human body, its properties, tissues, joint mobility, and blood circulation. In medicine, the use of phantoms is widespread, from training doctors to testing new therapeutic and diagnostic methods. With the help of a surgical phantom, a doctor can try out surgical procedures for real. Not only will he or she be able to perfect the technique on specific parts of the body, but also in the overall execution of the procedure. They can also be used to test diagnostic imaging methods via MRI or CT. The phantoms for these imaging methods can be filled with contrast agents that increase the contrast and improve the diagnostic quality of the phantom. [1] [2]

Endoscopic phantoms are constructed to simulate as closely as possible the anatomy of the tissues and internal organs entered by the endoscope. These phantoms are used for training endoscopic procedures such as colonoscopy, bronchoscopy, and others. As materials for the production of these phantoms are usually various plastics, soft rubbers or biological materials, which are intended to simulate tissues or cells. Suitable material, for the construction of the phantom is chosen on the basis of further use. [3]

One of the important parameters of flexible endoscopes is their ability to use colour filtering in the visible light spectrum. Olympus calls this mode NBI (Narrow Band Imaging), Pentax



I-SCAN and Fujinon FICE (Flexile Spectral Imaging Color Enhancement). Light filtering can be handled in two ways. The first way is to physically use mechanical filters that are placed in the endoscope in front of the light source. The second way is not physical, but software based. Digital filters are handled by software. They filter a given wavelength of light that is not needed for diagnostics. Mechanical filters are only used by Olympus, which pioneered the use of this filtering. Since Olympus did not allow any company to use their technique, Pentax and Fujinon opted to use digital filtration. And thus, they could compete with Olympus.

NBI mode works on the principle of mechanical filtering of the light wavelength, where only two wavelengths are used. These wavelengths were 415 nm and 540 nm, which correspond to blue and green visible light. These are wavelengths that are well absorbed by red blood dye. 540 nm penetrates deeper into the tissues and shows the venous plexus. In contrast, 415 nm does not penetrate as deeply. It is more superficial. This can be useful, for example, in detecting small tumors in the digestive tract. [4] [5] [6]

I-SCAN mode enhances the image using three algorithms. The first is for contrast enhancement (CE), the second for tone enhancement (TE) and the third for surface enhancement of the overall image (SE). The modes are arranged in series so that two or more modes can be used simultaneously. Mode switching is performed in real time, thus facilitating the actual operation of the endoscope during the examination. The I-SCAN is often used in examinations of the oesophagus, intestines, bronchi, or stomach. [7] [8]

FICE mode divides the endoscope light into three colour channels - blue, green and red. It adjusts their intensity to be as consistent as possible with the characteristics of the digestive tract. As a result, the colour shades on the screen are more pronounced and details are more visible. Details are tracked in real time and have enhanced colour visualisation and contrasts. The mode is useful for detecting and diagnosing various pathologies of the digestive tract, such as polyps or internal bleeding. [9]



### 3. Used devices

Table 1: List of used devices

Device	Model	Producer	Country of origin	Link
Flexible endoscope	GIF-PQ20	Olympus	JPN	[10]
Flexible endoscope	GIF-Q165	Olympus	JPN	[11]
Processor unit	EXERA II CV-180	Olympus	JPN	[12]
Light source	EXERA II CLV-180	Olympus	JPN	[13]

### 4. Wiring diagram

#### Block diagram of the measuring chain

The block diagram (Figure 1) describes the overall connection of the phantom with the flexible endoscope. The endoscope is connected to an Olympus scanning tower (Figure 2). This scanning tower consists of a light source (Olympus EXERA II CLV-180), a processing unit (Olympus EXERA II CV-180) and a monitor displaying the endoscope image.

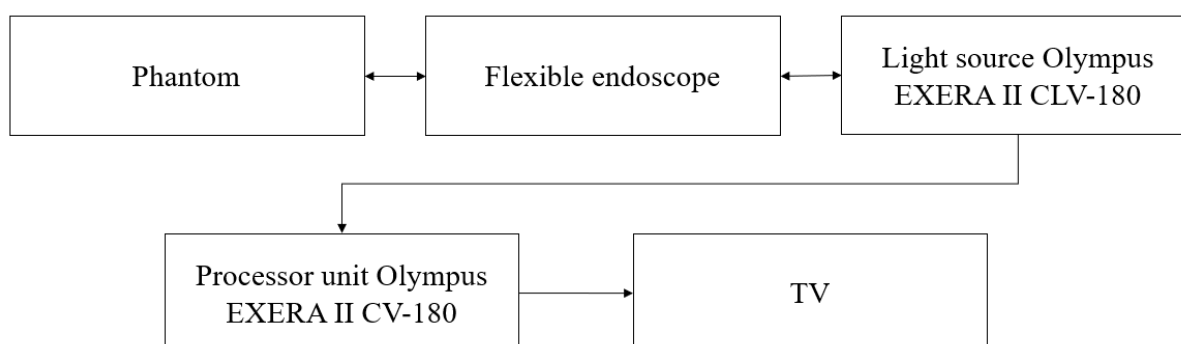


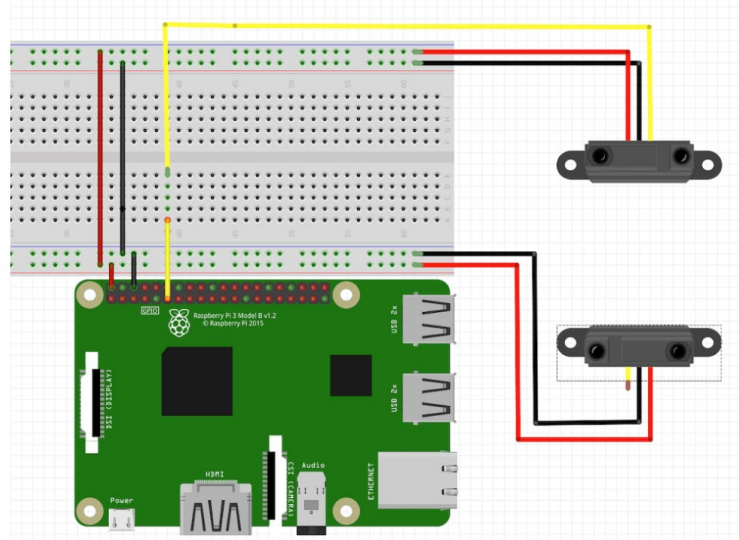
Figure 1: Block diagram of the measuring chain



**Figure 2:** Endoscopy tower with screen and flexible endoscope

### **Connecting optical gateways with Raspberry Pi microcomputer**

The wiring of the position sensors to the Raspberry Pi microcomputer is shown in Figure 3. It is a circuit that consists of a beaming and a sensing part. The emitting part is handled by an IR LED and the sensing part by a phototransistor. The phototransistor senses the IR light, emitted by the LED, and converts it into a signal directly to the Raspberry Pi microcomputer.

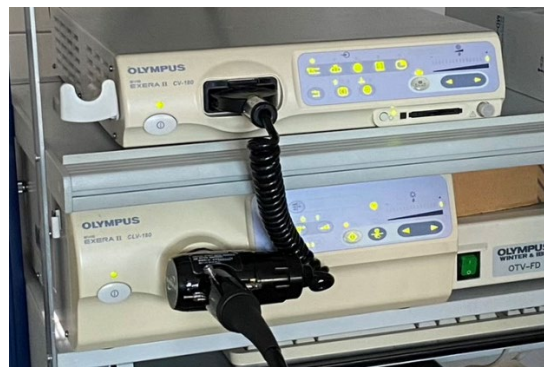


**Figure 3:** Connecting optical gateways with Raspberry Pi microcomputer, taken from [14]

## 5. Measurement method

### A. Plug the endoscope into the endoscopy tower:

- Plug the power cord from the endoscope tower into a power outlet,
- Connect the endoscope to the EXERA II CLV-180 light source,
- Connect the endoscope to the EXERA II CV-180 processor unit with the connection cable,



**Figure 4:** Connecting the EXERA II CLV-180 light source to the EXERA II CV-180 processor unit

- d. Press the button to turn on the light source and the processor unit, and the screen, if applicable.

**B. Try a phantom for flexible endoscopy made on a 3D printer:**

- a. Remove the upper parts of segments 2, 4 and 5 from the phantom to expose the polyp holders (the segments have labels with descriptions on them),
- b. Put polystyrene balls imitating polyp on the polyp holders,



**Figure 5:** Detail of cavity with polyp holders and colour chart

- c. Return the removed segments and close the phantom,
- d. Connect the mains power supply to the Raspberry Pi microcomputer,
- e. Start the program for sensing the position of the distal end of the endoscope ("*Camera phantom*"), which can be found on the home screen on the left side,



**Figure 1:** Raspberry Pi main screen

- f. Start the program with the "Spustit" button,

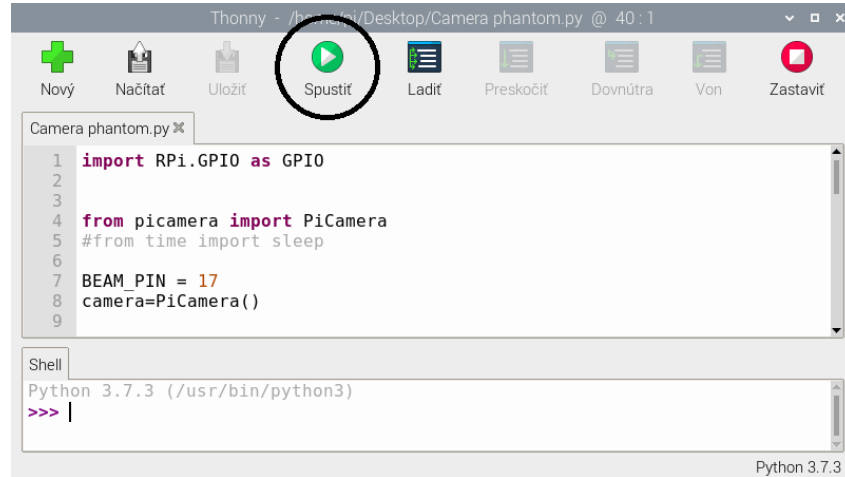


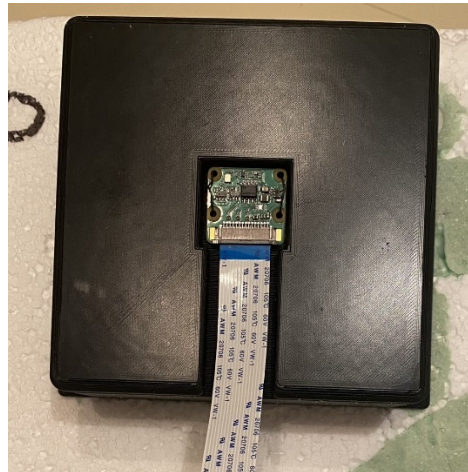
Figure 2: Program for running code

- g. Try simulations of endoscopic situations using instrumentation (removal of polyps from the cavity and colon),
- h. To turn off the program, press the "Enter" key.



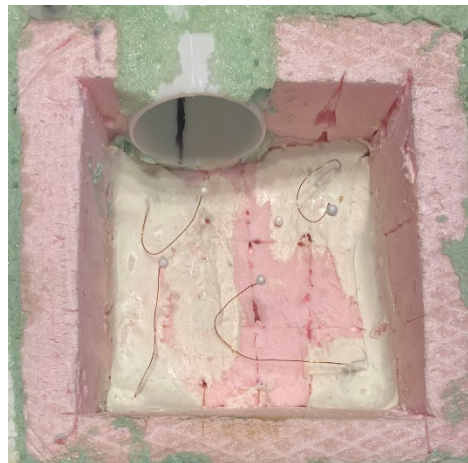
**C. Try the phantom for flexible endoscopy made of polystyrene plate:**

- a. Unscrew the box printed on the 3D printer (Figure 8 - now without the camera),



**Figure 3:** Printed box with camera, top view

- b. Put polystyrene balls imitating polyp on the polyp holders,



**Figure 4:** Copper wires with polyps inside the cavity, top view

- c. Screw back the box,  
d. Try simulations of endoscopic situations using instrumentation.



## 6. Control questions

- A. What phantoms are used for?
- B. What are the endoscopic modes called and what are they used for?
- C. How these modes work?
- D. What anatomical structures are investigated by these modes?
- E. What are the endoscopes divided into?
- F. How the flexible endoscope is constructed?

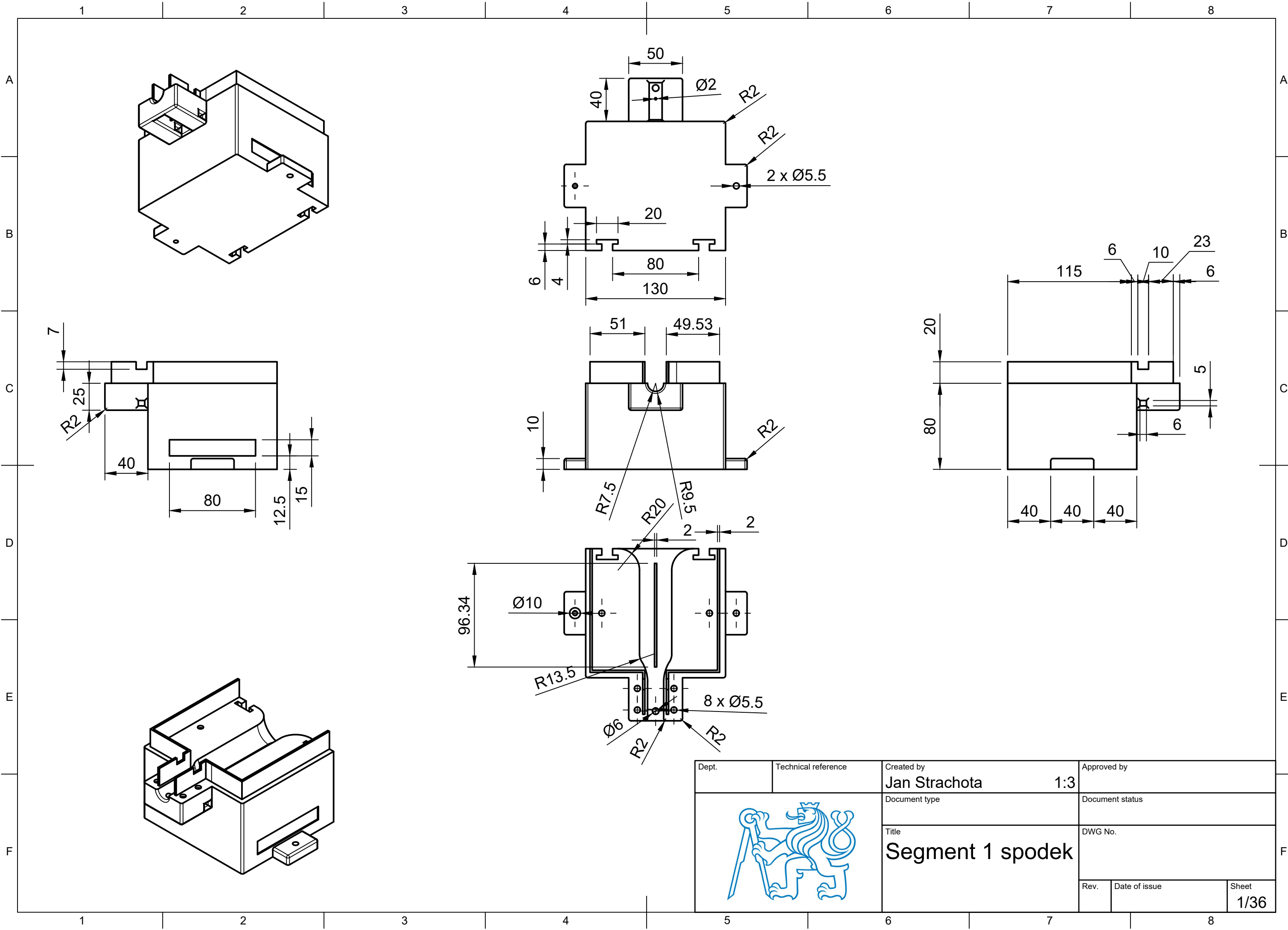
## 7. Used literature


- [1] JASZCZAK, Monica. *What Is A Phantom? How Does It Work?* [online]. DataSpectrum, 2023 [cit. 2023-04-29]. Dostupné z: <https://www.spect.com/blog/what-is-a-phantom-how-does-it-work/>
- [2] Imaging Phantom. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2023 [cit. 2023-04-29]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Imaging\\_phantom](https://en.wikipedia.org/wiki/Imaging_phantom)
- [3] GOODMAN, Adam, Joshua MELSON, Harry ASLANIAN et al. Endoscopic simulators. *Gastrointestinal Endoscopy* [online]. 2019, 90(1), 1-12 [cit. 2023-05-15]. ISSN 0016-5107. Dostupné z: doi:10.1016/j.gie.2018.10.037.
- [4] LUKEŠ, P., M. ZÁBRODSKÝ, E. LUKEŠOVÁ, J. PLZÁK, M. CHOVANEC, J. ASTL, J. BETKA JR. a J. BETKA. Narrow Band Imaging (NBI) - endoskopická metoda pro diagnostiku karcinomů hlavy a krku. *Otorinolaryngologie a foniatrie* [online]. 2013, 62(4), 173-179 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://www.prolekare.cz/casopisy/otorinolaryngologie-foniatrie/2013-4/narrow-band-imaging-nbi-endoskopicka-metoda-pro-diagnostiku-karcinomu-hlavy-a-krku-47115>
- [5] LUKEŠ, Petr, Michal ZÁBRODSKÝ, Jan PLZÁK, Martin CHOVANEC, Eva FOLTYNOVÁ, Jaroslav BETKA, Jan KASTNER a Jan BETKA. Úloha NBI v endoskopické diagnostice dlaždicových karcinomů hlavy a krku. *Endoskopie* [online]. 2012, 21(1), 15-19 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: [https://www.solen.cz/artkey/end-201201-0004\\_Uloha\\_NBI\\_v\\_endoskopicke\\_diagnostice\\_dlazdicovych\\_karcinomu\\_hlavy\\_a\\_krku.php](https://www.solen.cz/artkey/end-201201-0004_Uloha_NBI_v_endoskopicke_diagnostice_dlazdicovych_karcinomu_hlavy_a_krku.php)
- [6] HIRNER, L, E STAGGE, H RÜBBEN, M SCHENCK a A EISENHARDT. Narrow band imaging-assisted cystoscopy in bladder tumor follow-up: Can more tumors be identified?. *Urologe A* [online]. German, 2016, 55(3), 370-5 [cit. 2023-05-14]. ISSN 26370096. Dostupné z: doi:10.1007/s00120-015-3942-9



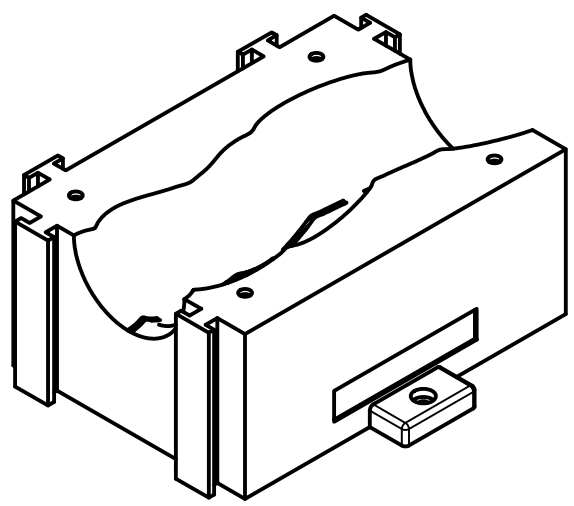
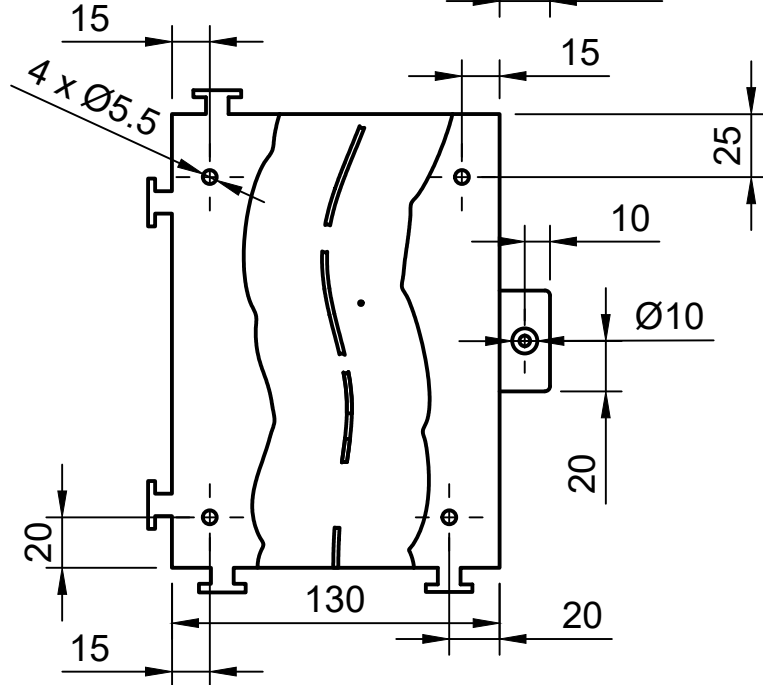
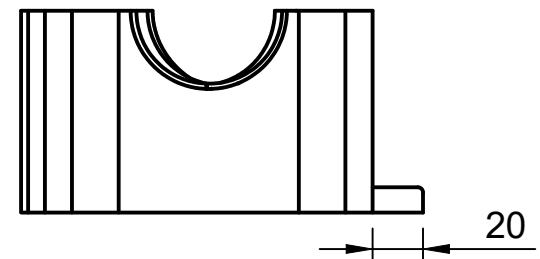
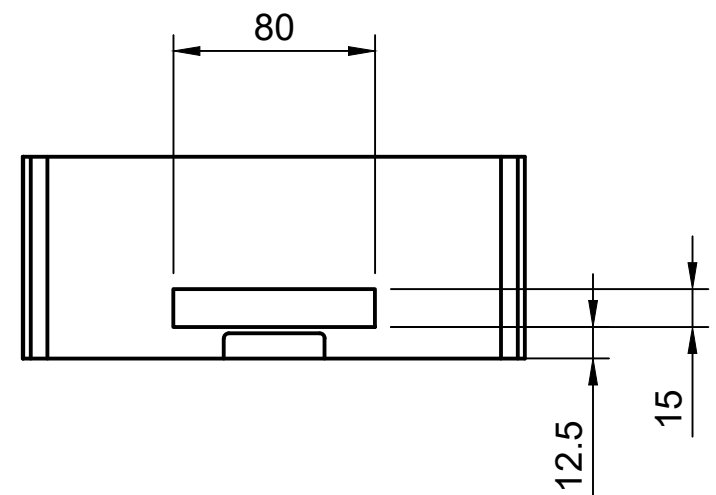
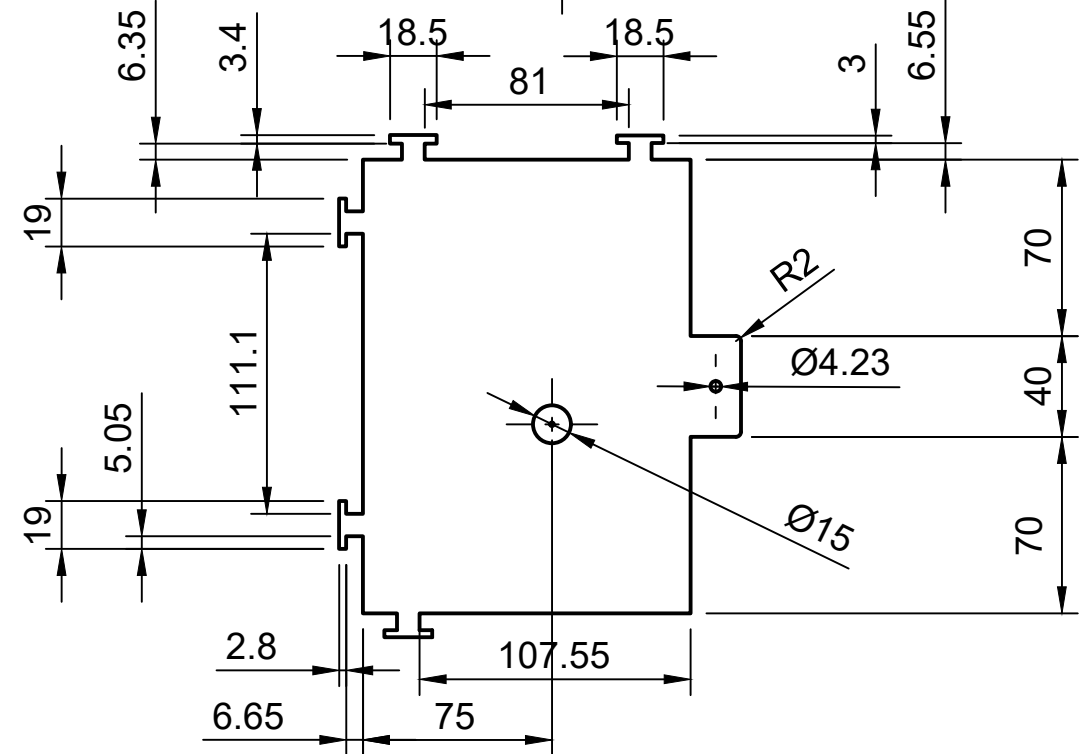
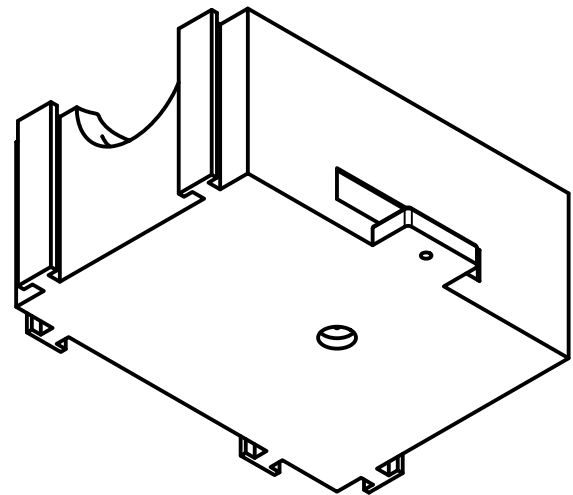
- [7] I-scan technology [online]. *i-scanimaging*, 2023 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://i-scanimaging.com/emea/about/i-scan/i-scan-technology/#>
- [8] KODASHIMA, Shinya a Mitsuhiro FUJISHIRO. *Novel image-enhanced endoscopy with i-scan technology*. *World J Gastroenterol* [online]. 2010, 16(9), 1043–1049 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: [doi:10.3748/wjg.v16.i9.1043](https://doi.org/10.3748/wjg.v16.i9.1043)
- [9] FICE - *Flexile spectral Imaging Color Enhancement* [online]. *Saitama: Fujinon*, 2008 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://www.fujifilm.com/wp-content/uploads/2021/01/fice-esp.pdf>
- [10] OLYMPUS GIF-XP20 FIBER GASTROSCOPE [online]. *Orange City*, 2022 [cit. 2022-05-31]. Dostupné z: <https://www.global-endo.com/store/products/olympus-exera-ii-gif-160-video-gastroscope-duplicate-2/>
- [11] OLYMPUS EVIS GIF-Q145 VIDEO GASTROSCOPE [online]. *Orange City*, 2022 [cit. 2022-05-31]. Dostupné z: <https://www.global-endo.com/store/products/olympus-exera-gif-q160-video-gastroscope-duplicate-2/>
- [12] Olympus CV-180 [online]. *Bloomfield* [cit. 2023-01-10]. Dostupné z: <https://www.somatechnology.com/Complete-Endoscopy-Systems/Olympus-CV-180.aspx>
- [13] OLYMPUS CLV-180 [online]. *Bloomfield*, 2023 [cit. 2023-01-10]. Dostupné z: <https://www.somatechnology.com/Olympus-CLV-180-Light-Source-System.aspx>


## **Příloha D: Výkresy, rozměry [mm]**

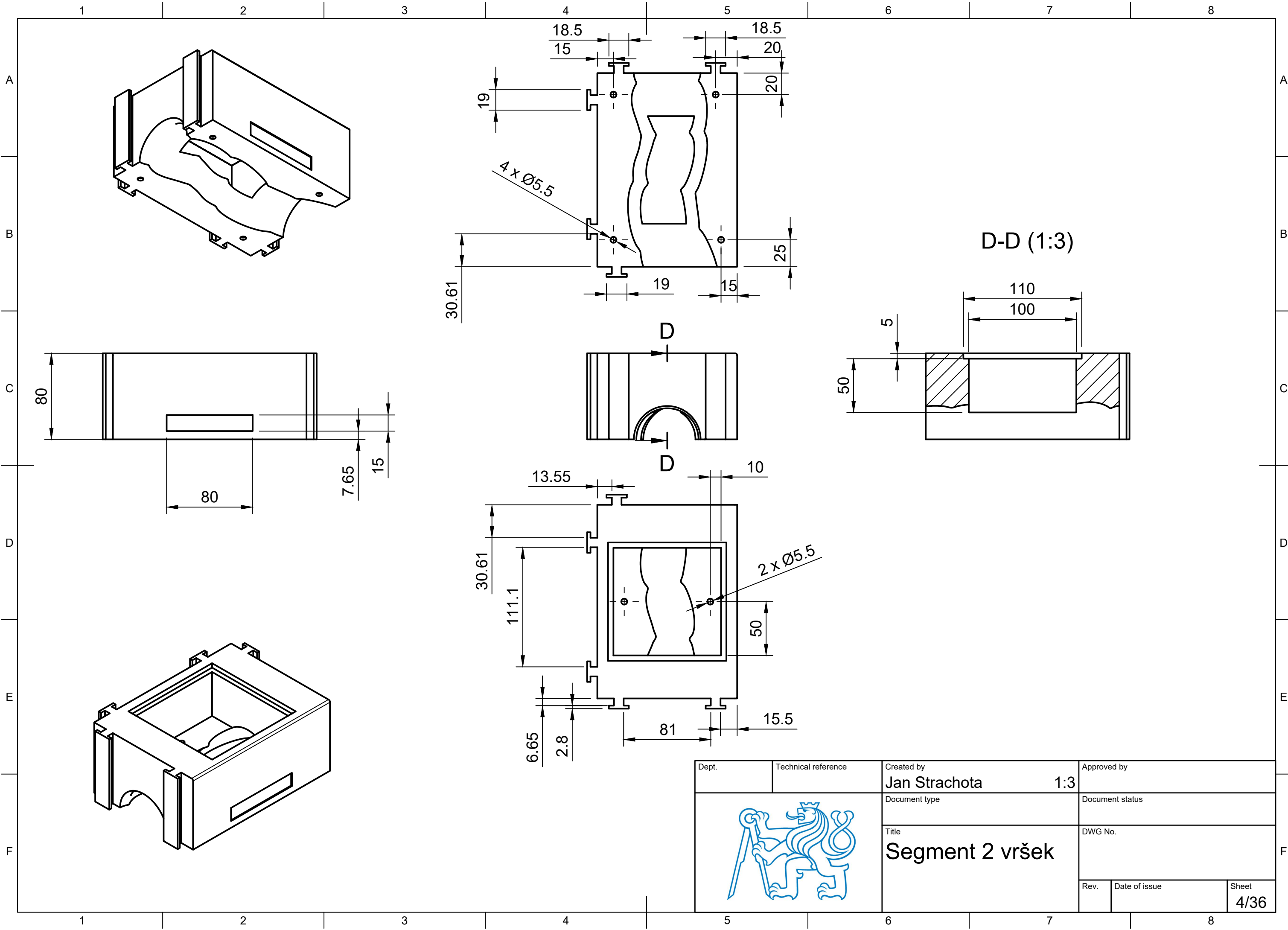


Dept.	Technical reference	Created by <b>Jan Strachota</b>	Approved by
		1:3	Document status
		Document type	DWG No.
Title <b>Segment 1 spodek</b>		Rev.	Date of issue
		Sheet	<b>1/36</b>

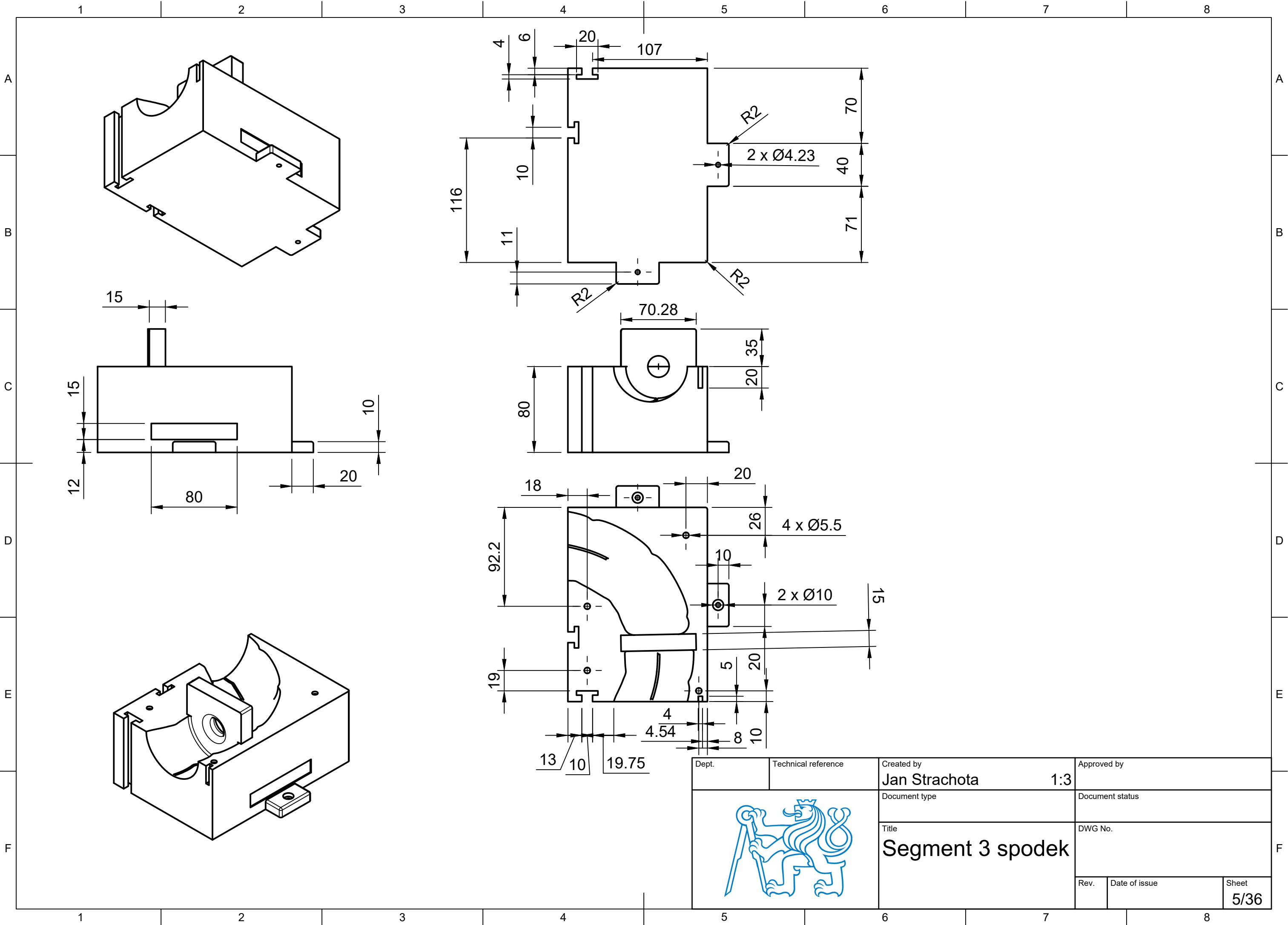





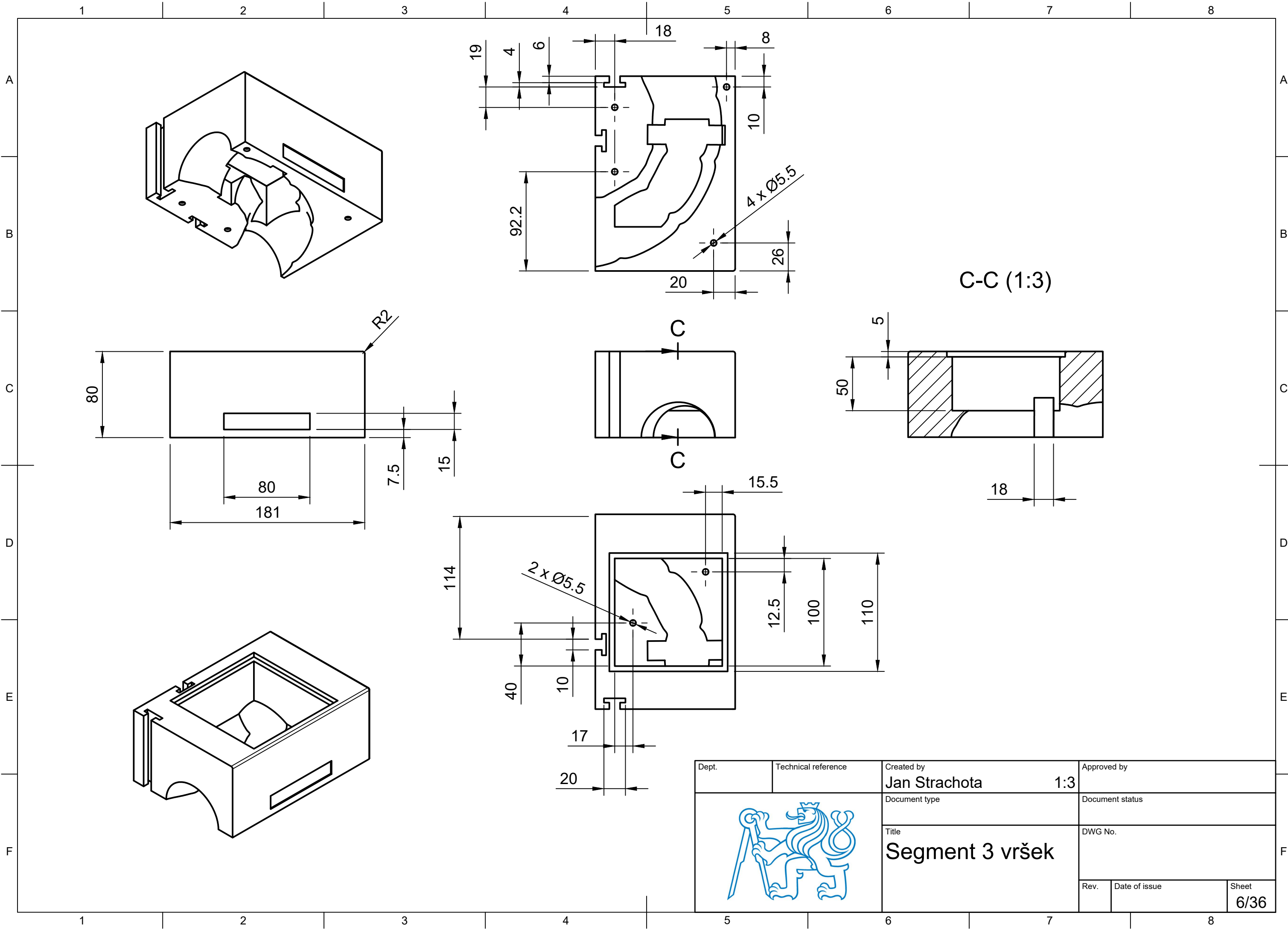
Dept.	Technical reference	Created by <b>Jan Strachota</b>	Approved by
		1:3	Document status
		Document type	DWG No.
Title <b>Segment 2 spodek</b>			Rev.
Date of issue		Sheet <b>3/36</b>	




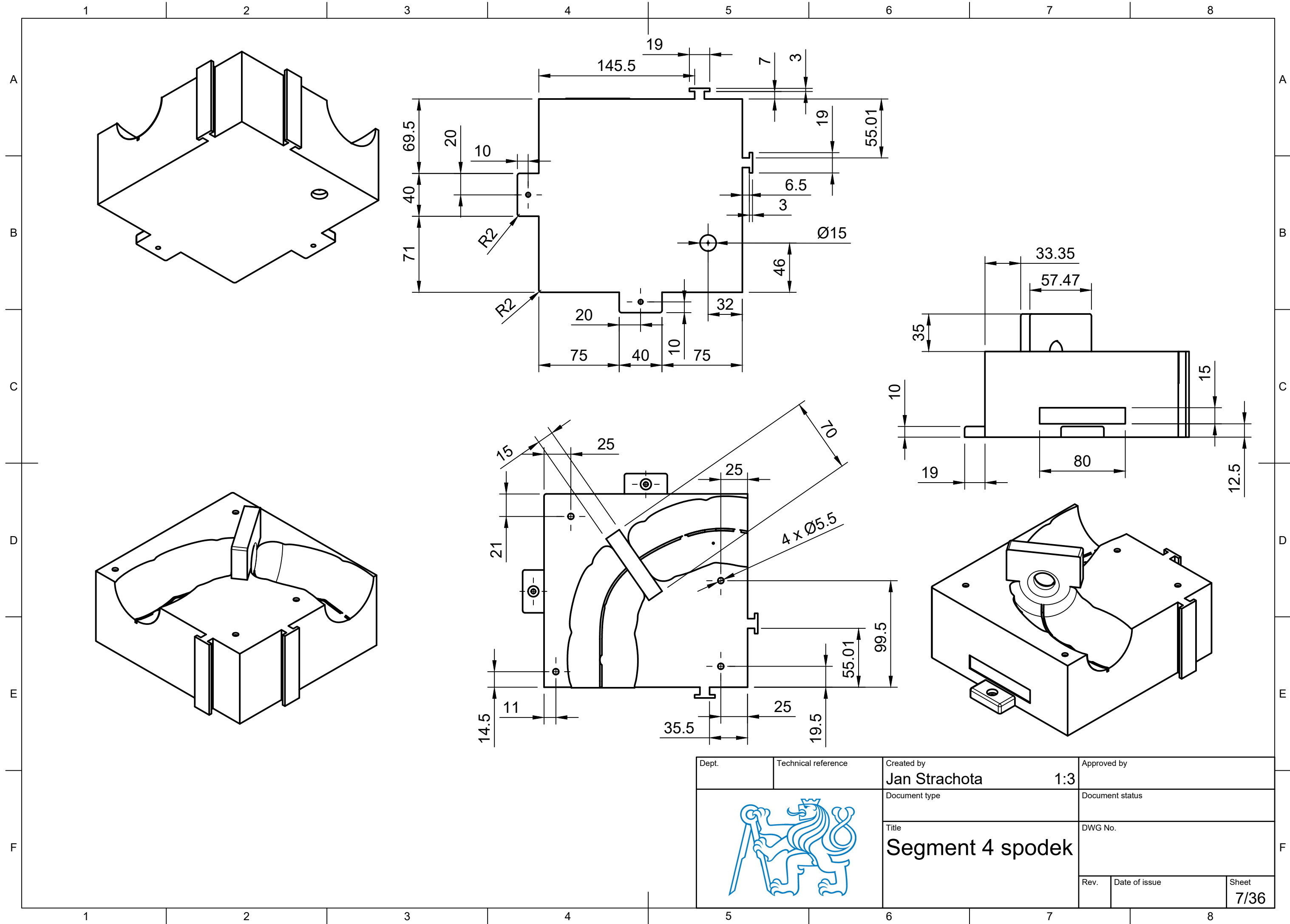


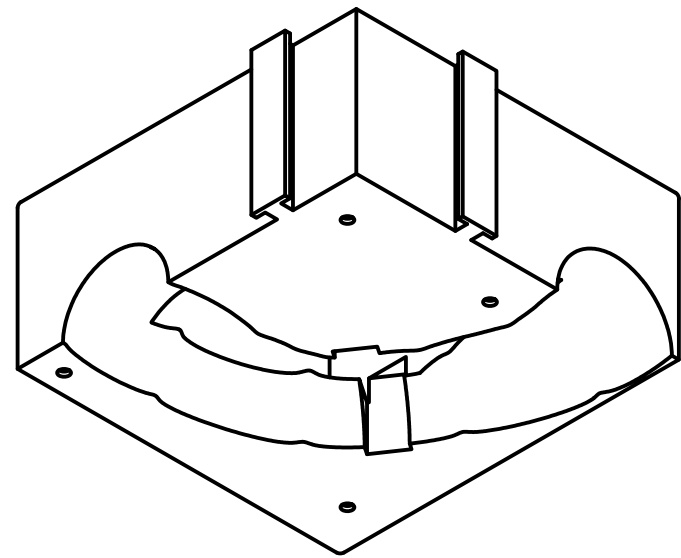


Dept.	Technical reference	Created by <b>Jan Strachota</b>	Approved by
		1:3	Document status
		Document type	DWG No.
Title <b>Segment 3 spodek</b>		Rev.	Date of issue
		Sheet	<b>5/36</b>

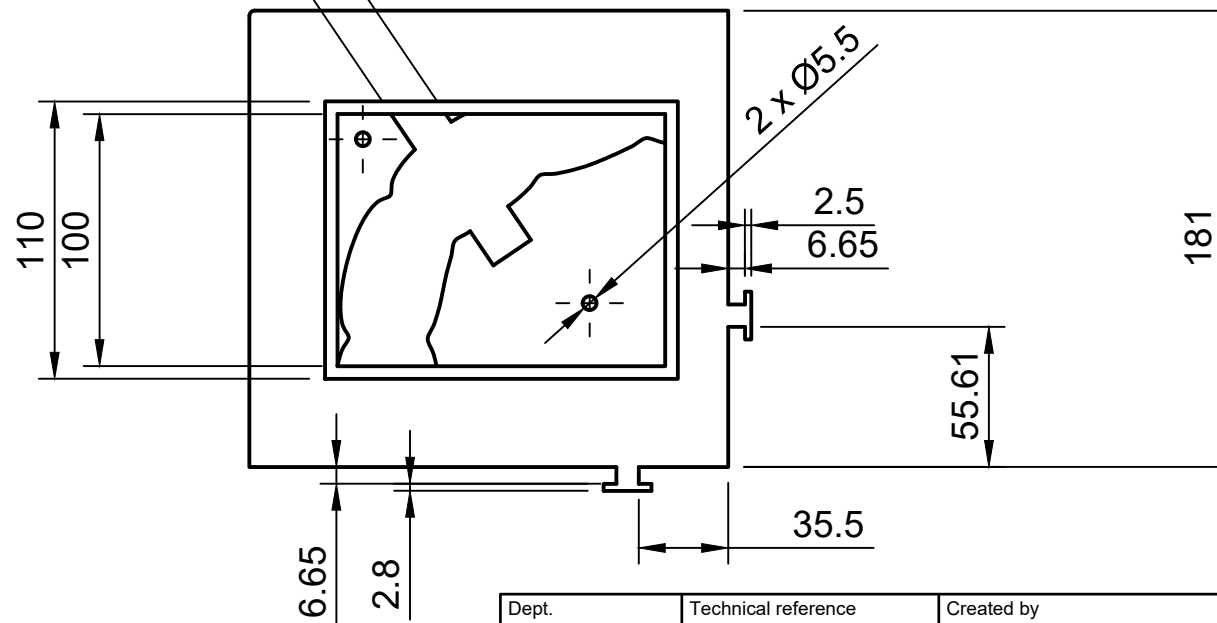
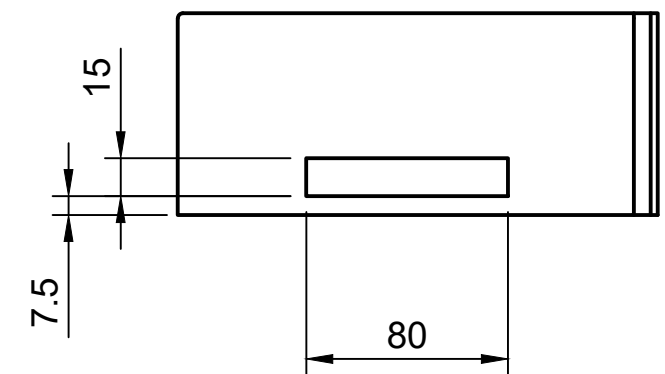
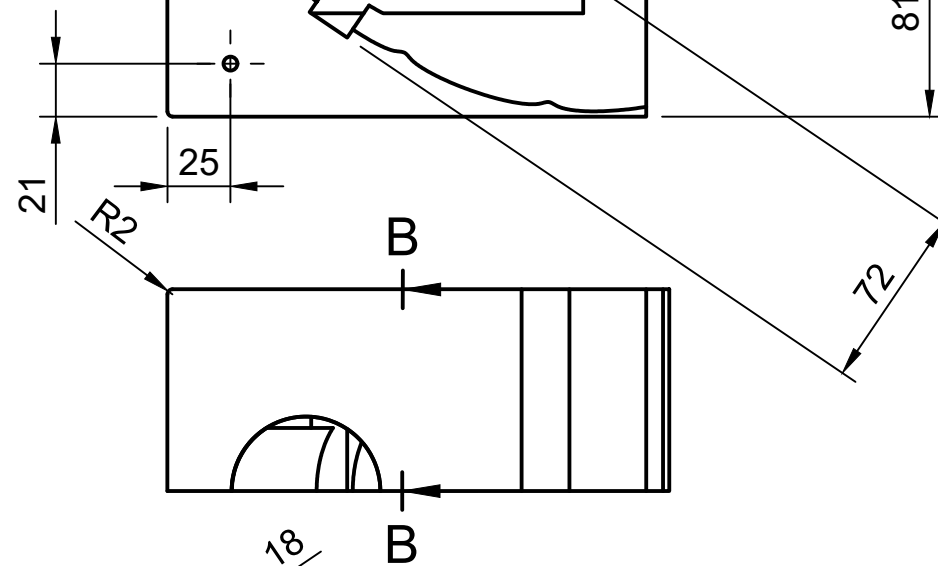
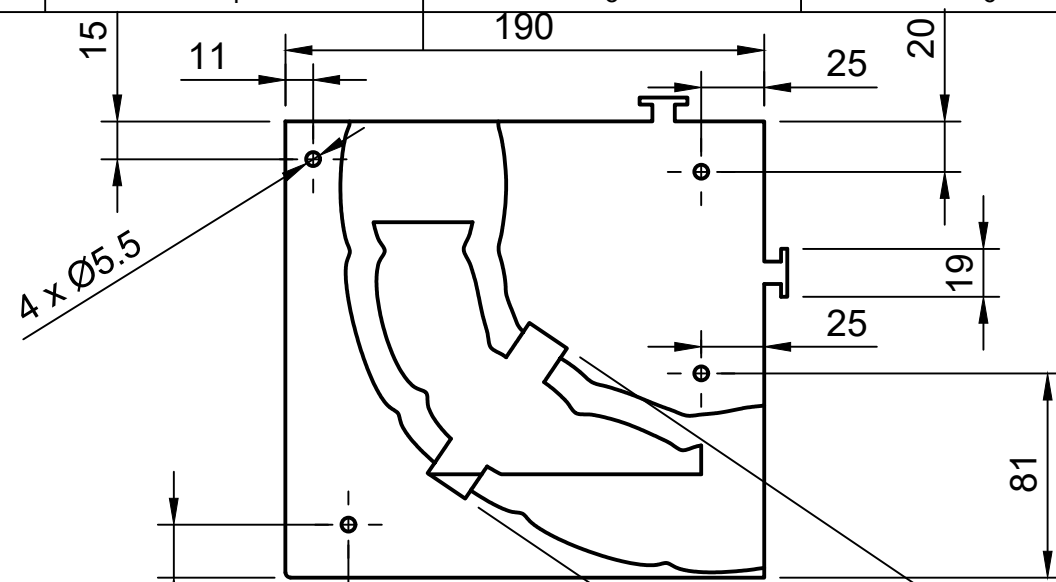
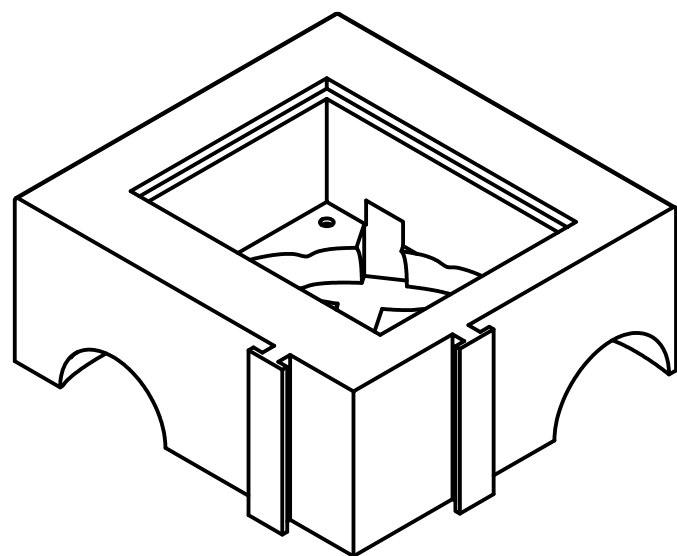
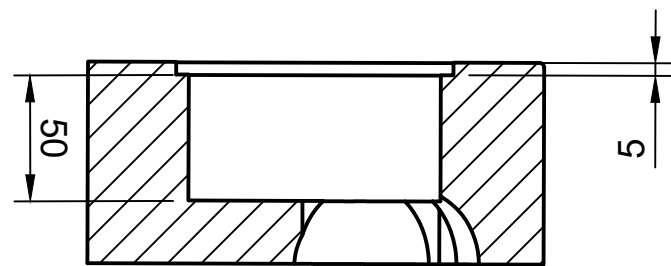



Dept.	Technical reference	Created by <b>Jan Strachota</b>	Approved by
		1:3	Document status
			DWG No.
		<b>Segment 3 vršek</b>	Rev.
			Date of issue
			Sheet <b>6/36</b>

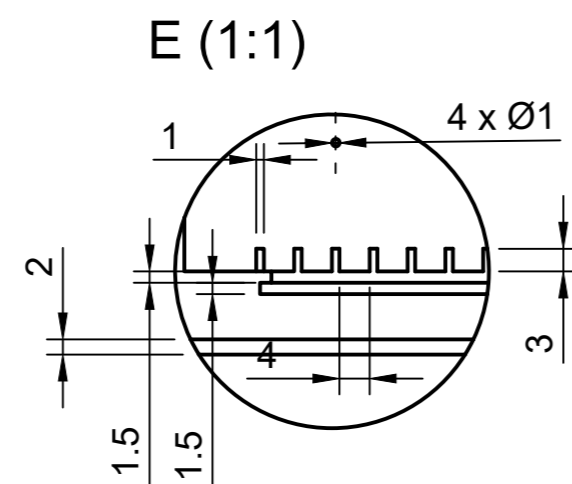
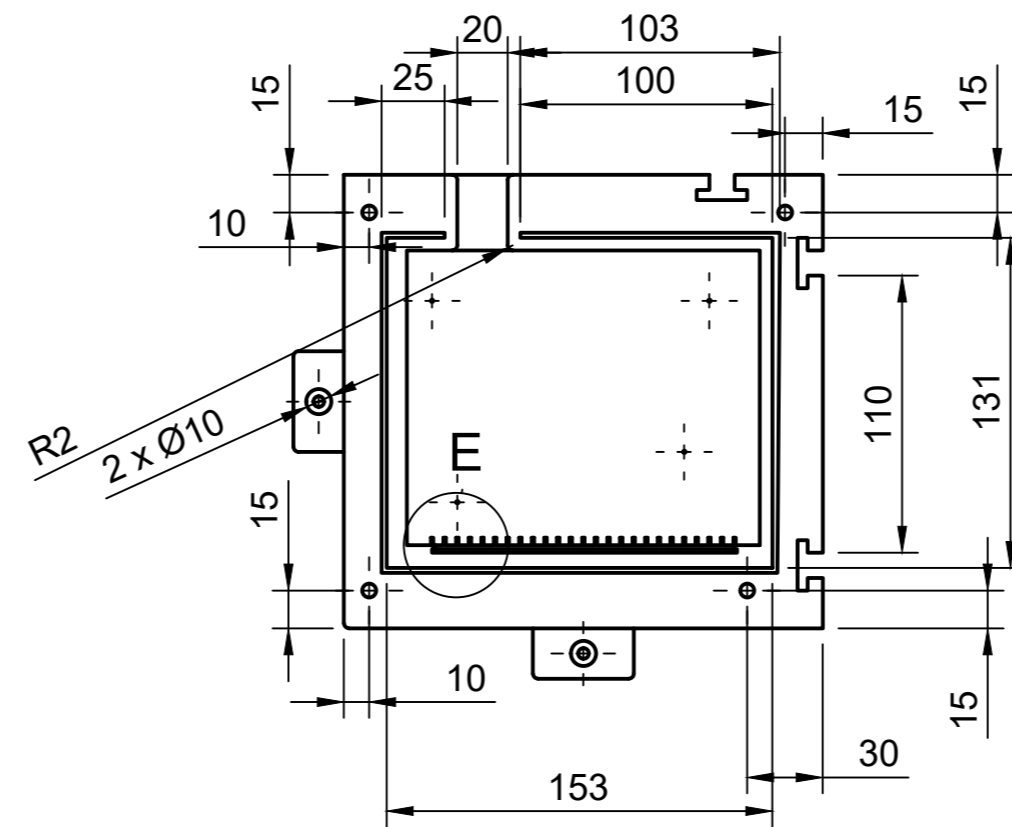
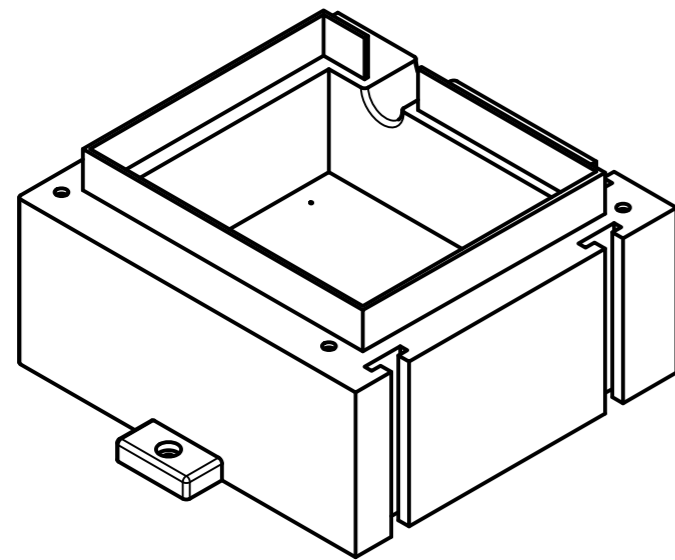
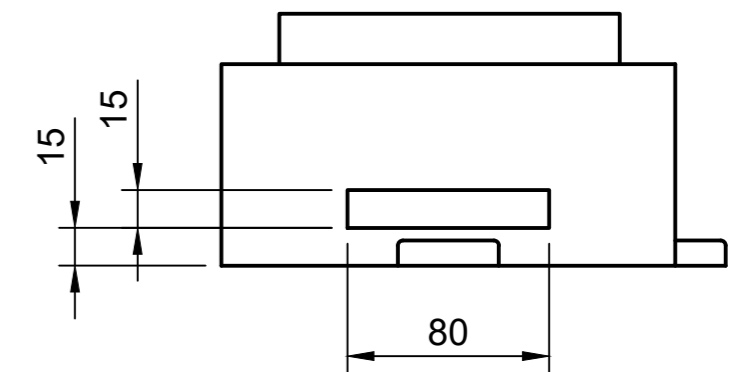
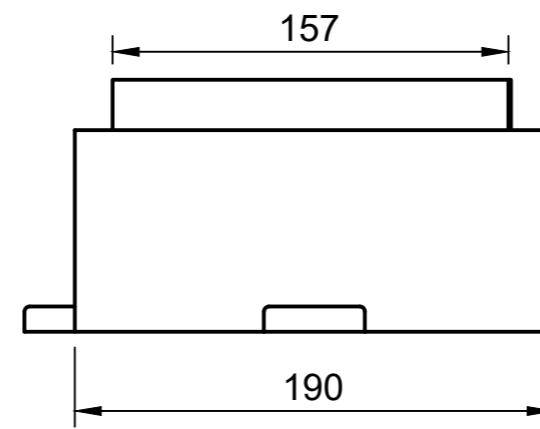
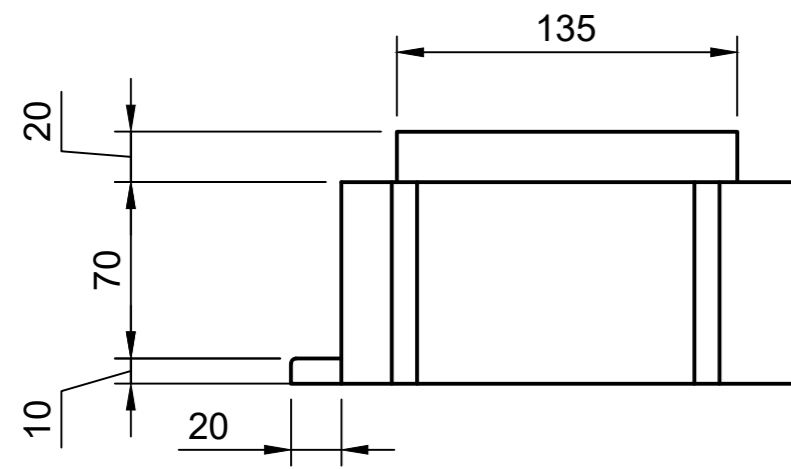
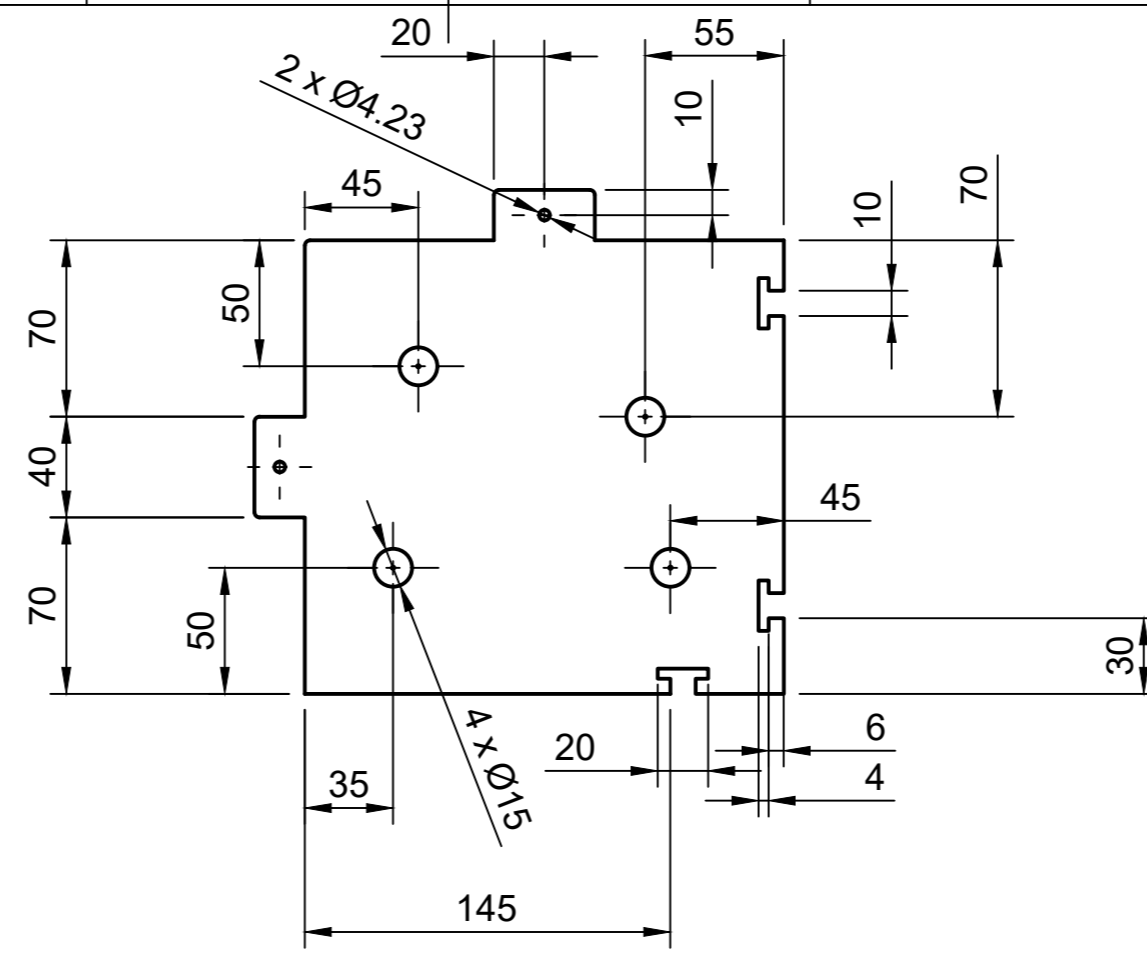
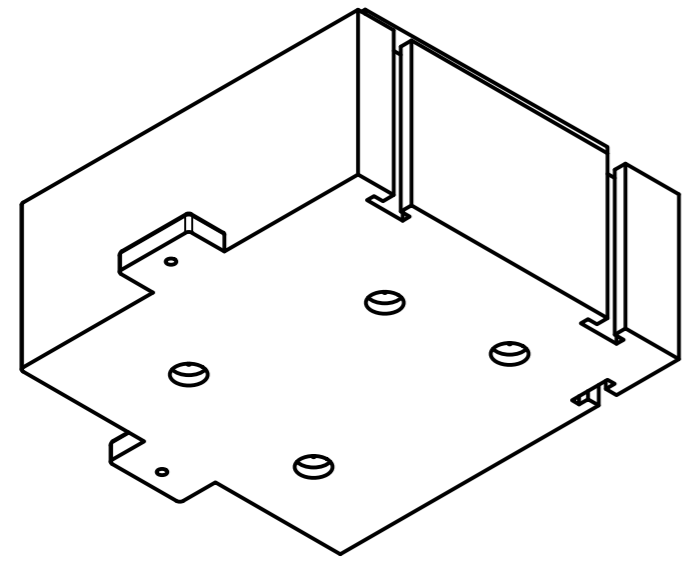





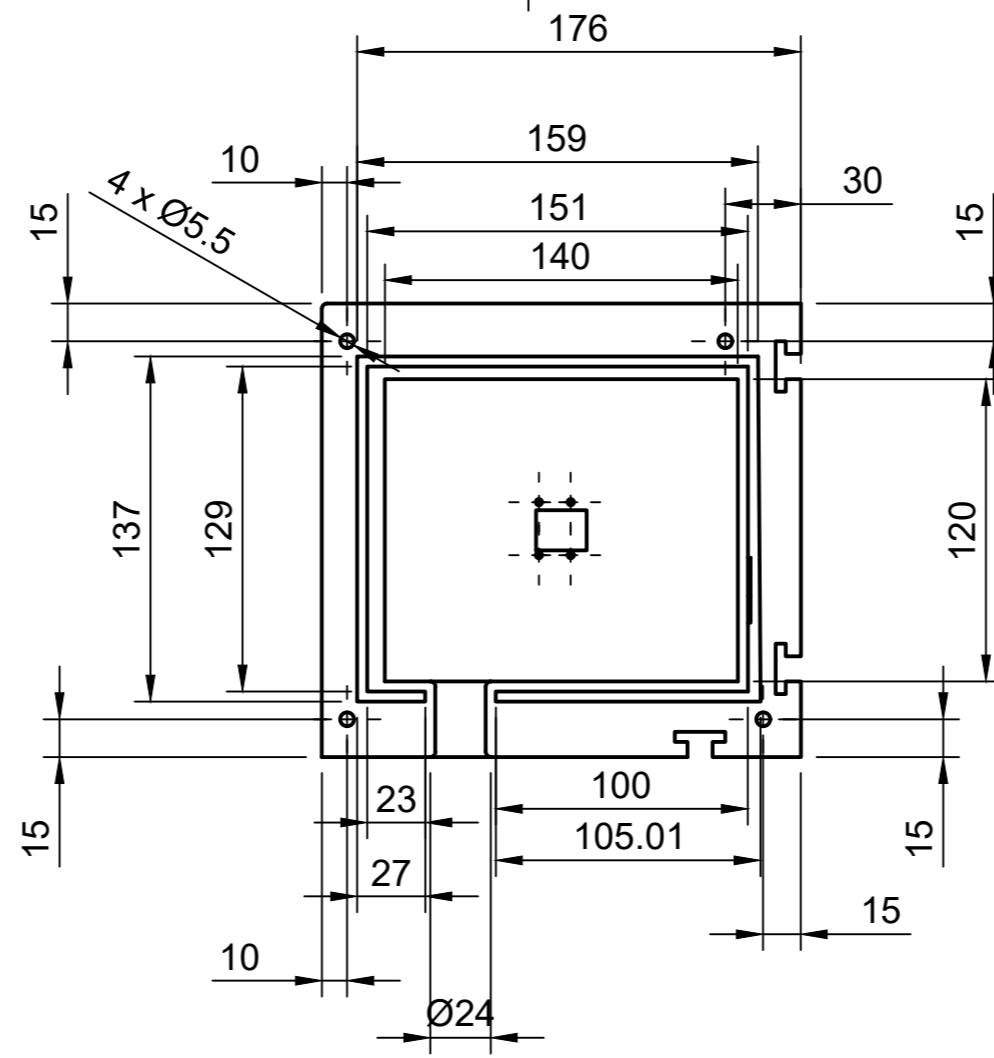
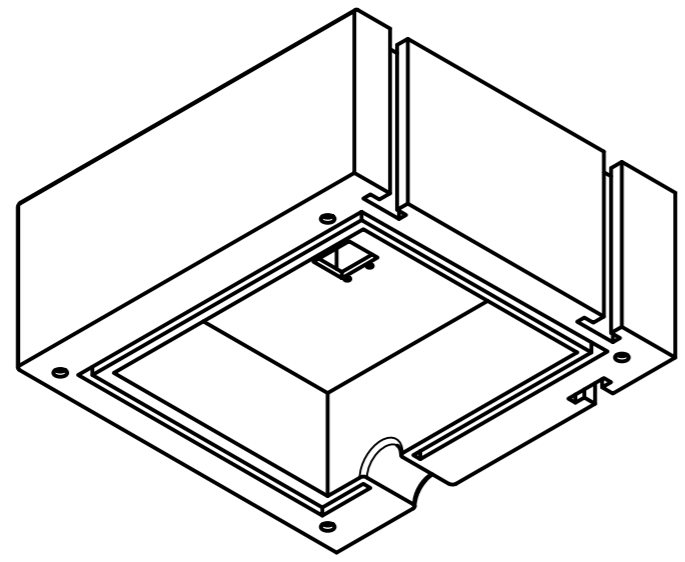
B-B (1:3)



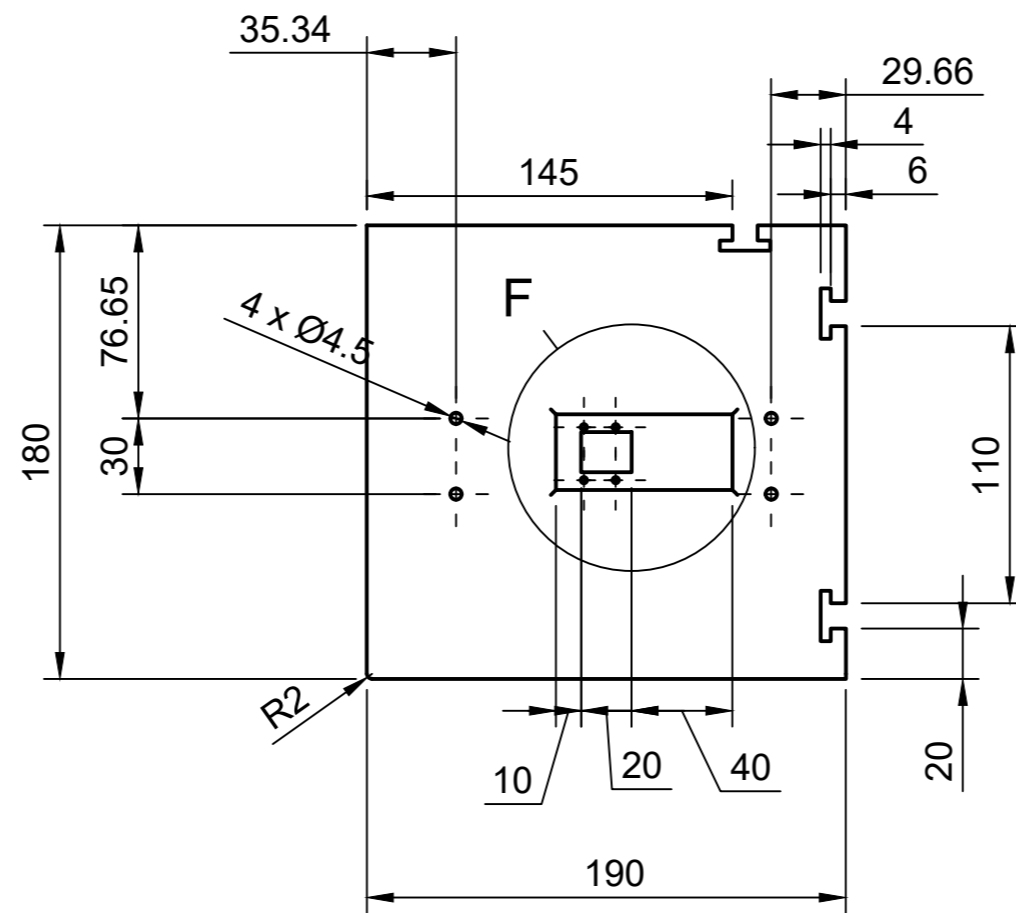
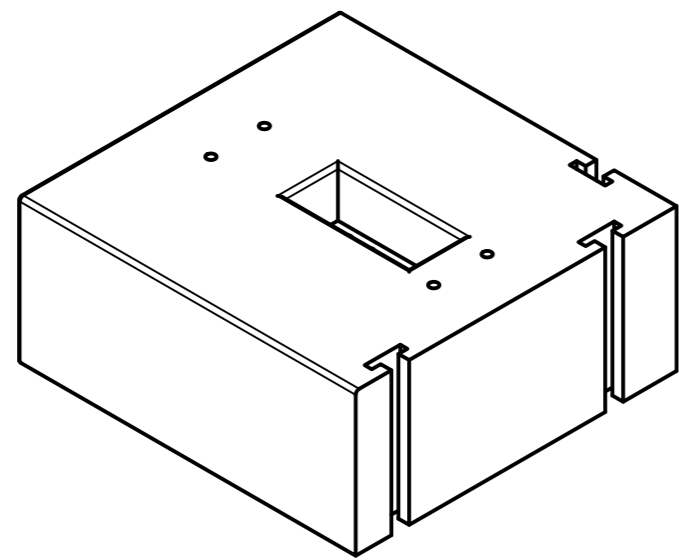
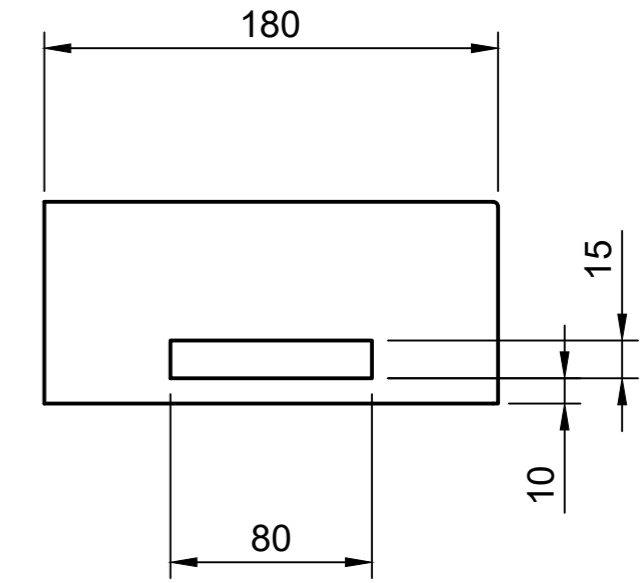
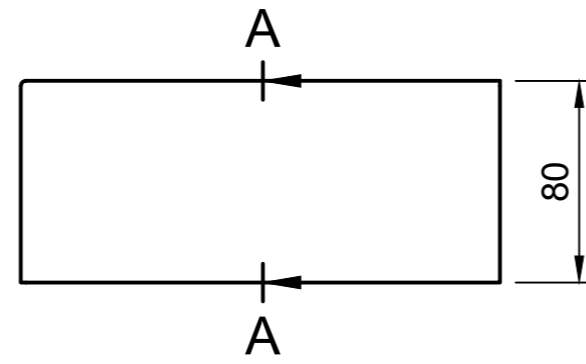
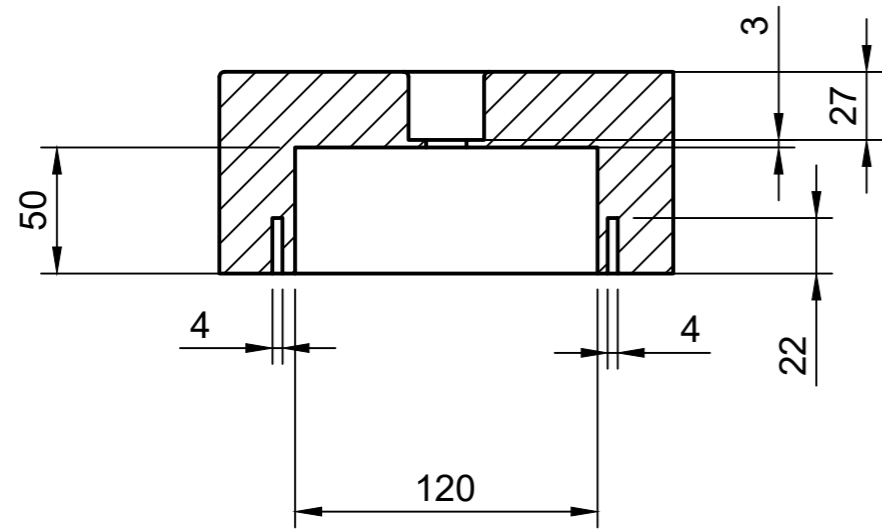
Dept.	Technical reference	Created by <b>Jan Strachota</b>	Approved by
		1:3	Document status
		Document type	DWG No.
Title <b>Segment 4 vršek</b>		Rev.	Date of issue
		Sheet	<b>8/36</b>



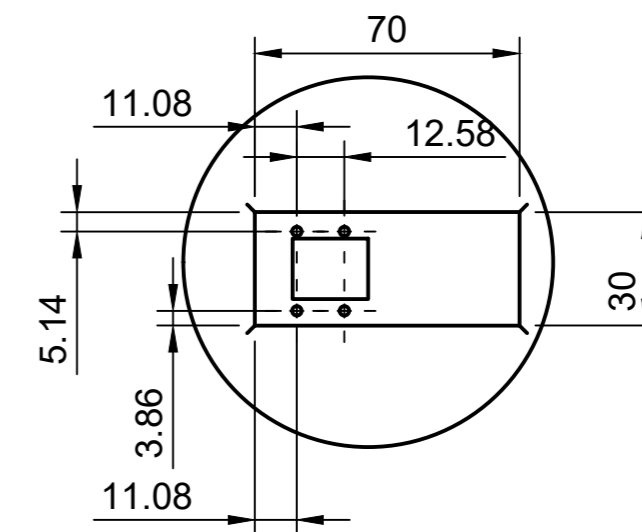
Dept.	Technical reference	Created by <b>Jan Strachota</b>	1:3	Approved by
		Document type	Document status	
		Title <b>Segment 5 spodek</b>	DWG No.	
		Rev.	Date of issue	Sheet <b>9/36</b>




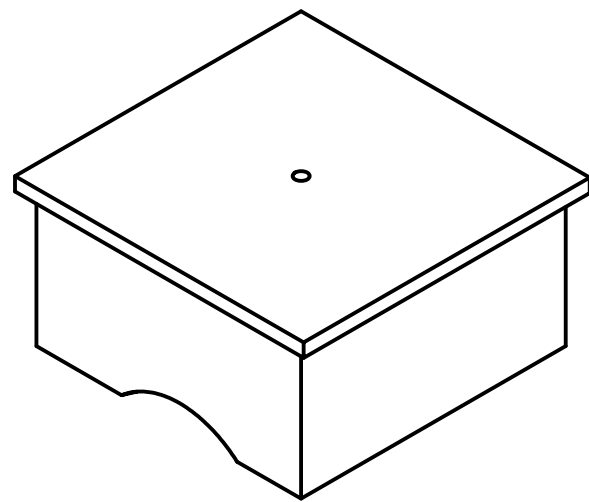
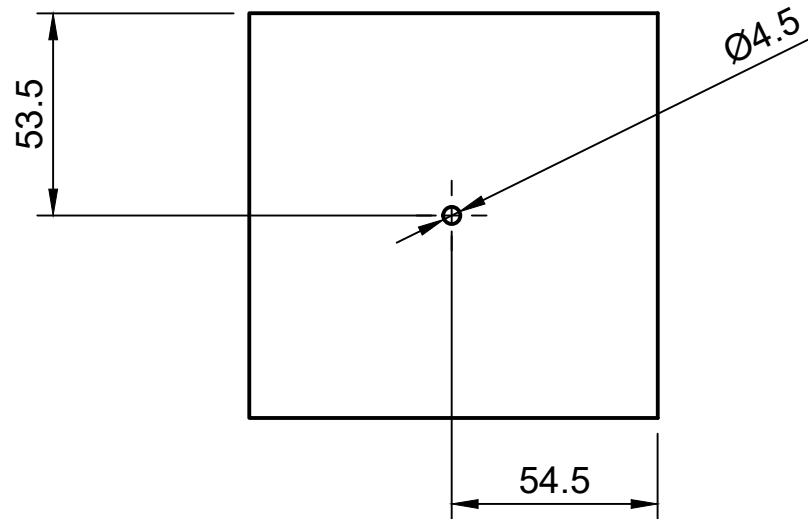
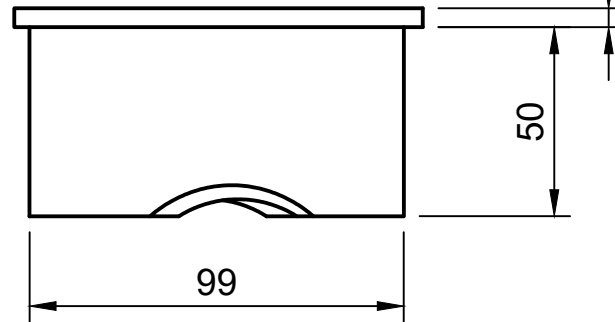
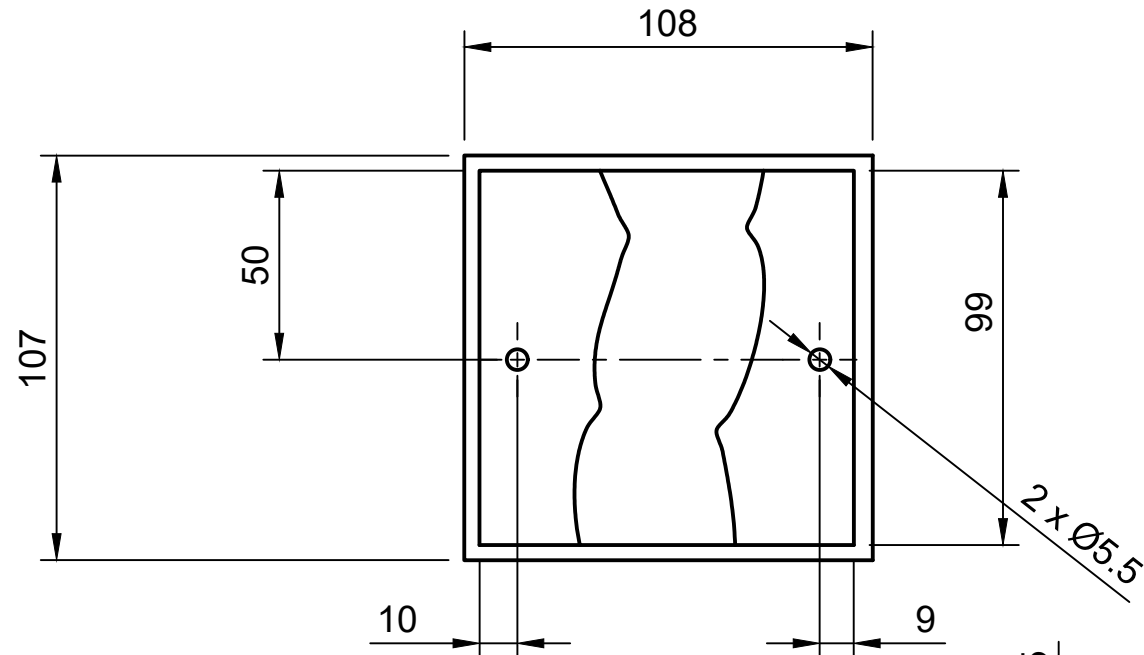
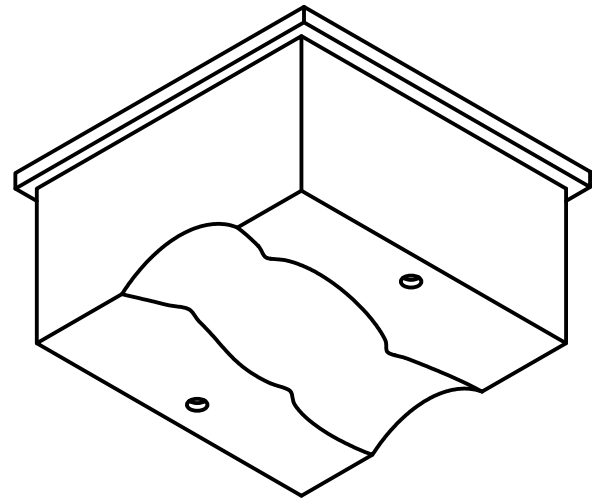
A-A (1:3)




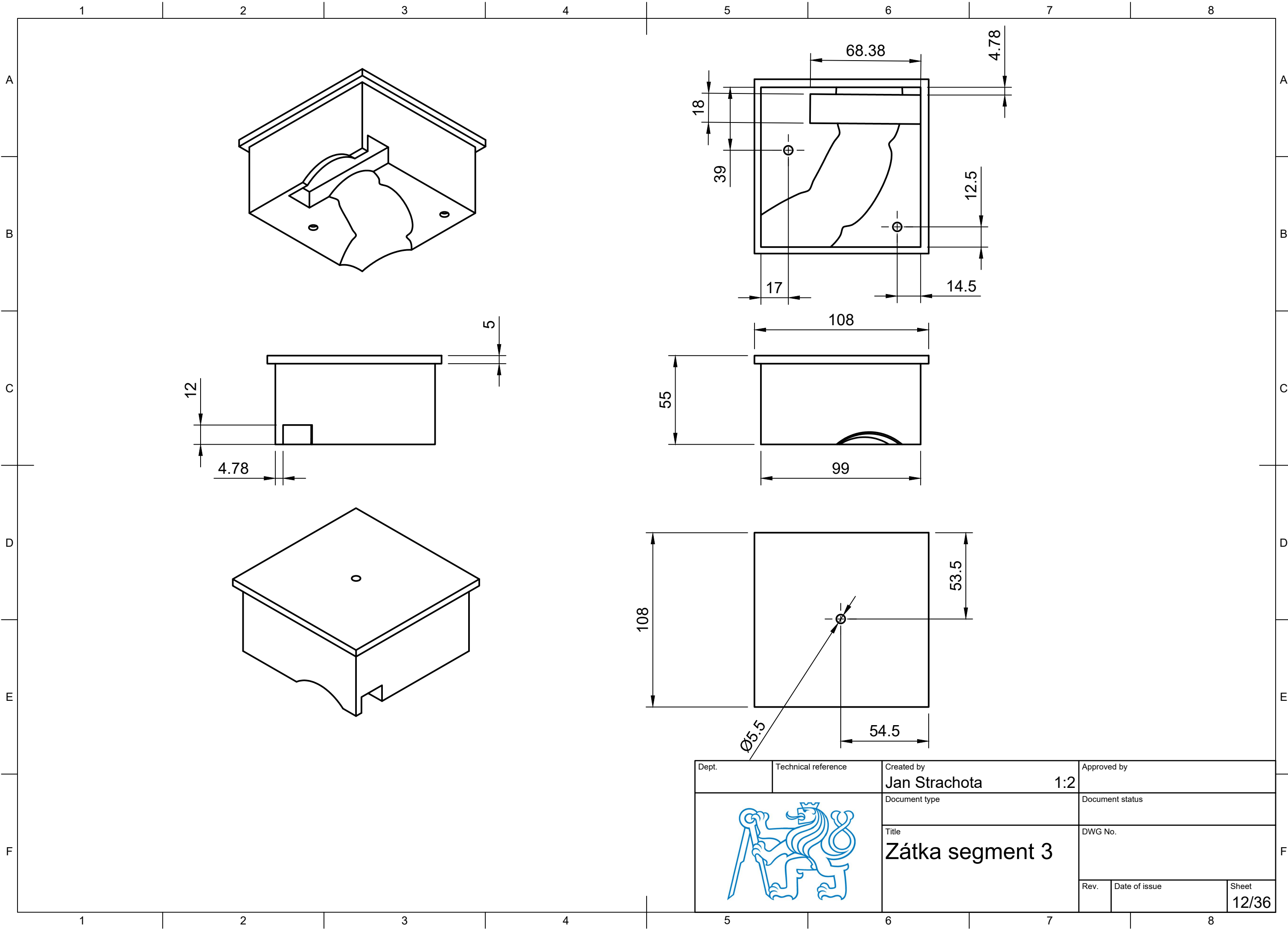
F (1:2)




Dept.	Technical reference	Created by <b>Jan Strachota</b>	1:3	Approved by
		Document type	Document status	
		Title <b>Segment 5 vršek</b>	DWG No.	
Rev.	Date of issue	Sheet		10/36

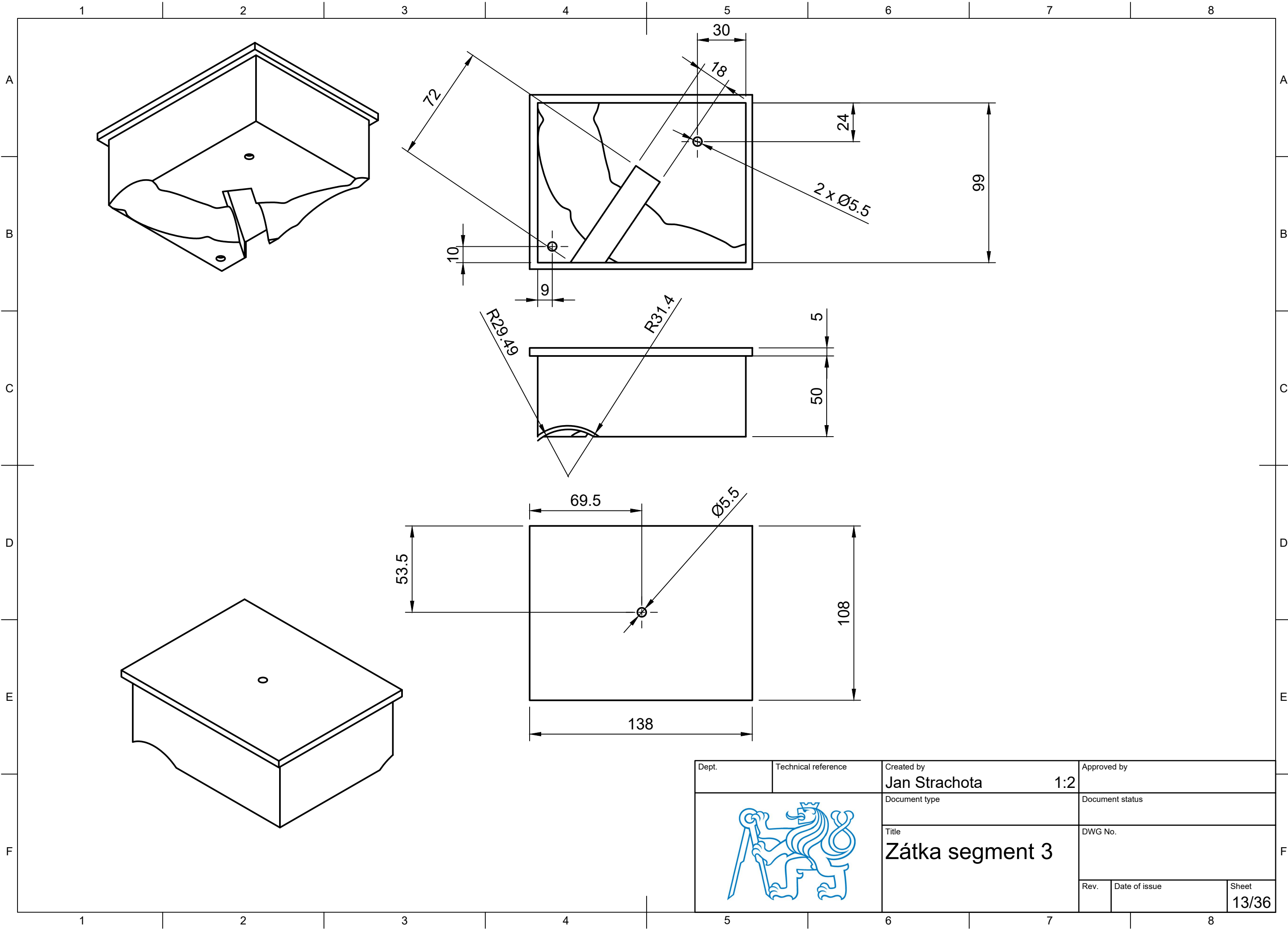



Dept.	Technical reference	Created by <b>Jan Strachota</b>	Approved by
		1:2	Document status
		Document type	DWG No.
Title <b>Segment 5 vršek</b>			Rev.
Date of issue		Sheet <b>11/36</b>	

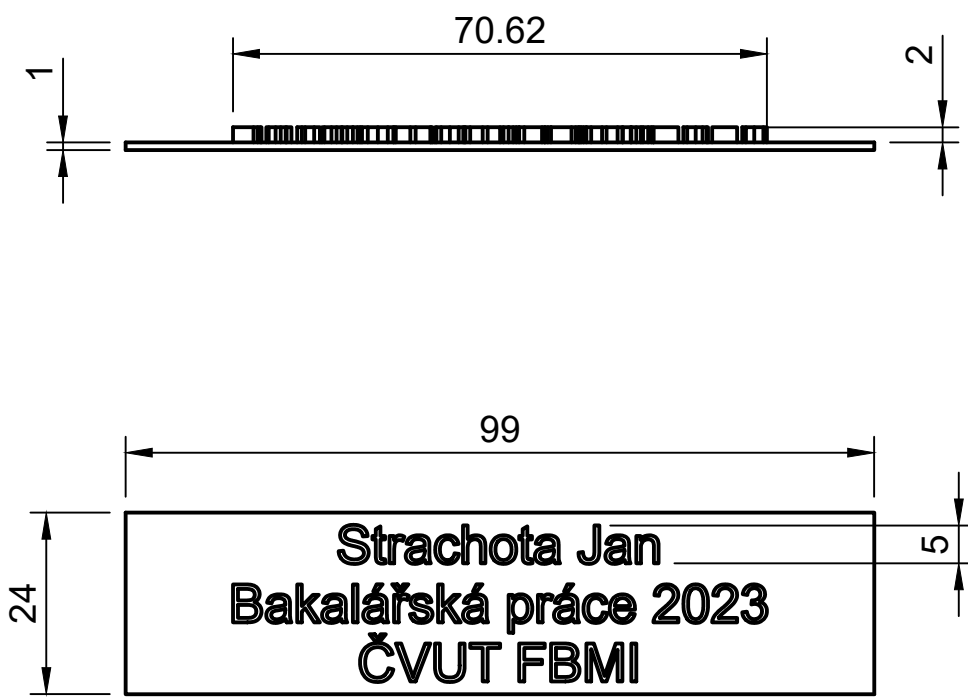



Dept.	Technical reference	Created by <b>Jan Strachota</b>	Approved by
		1:2	Document status
		Document type	DWG No.
Title <b>Zátka segment 3</b>			Rev.
Date of issue		Sheet <b>12/36</b>	

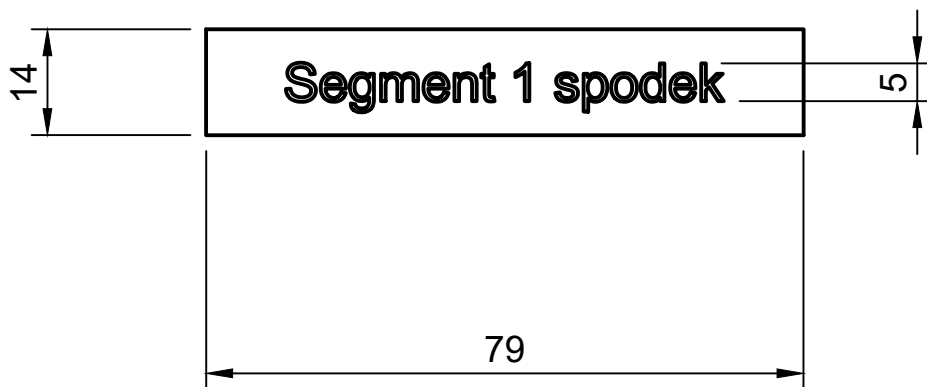
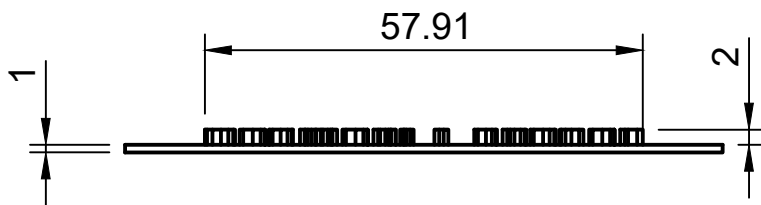





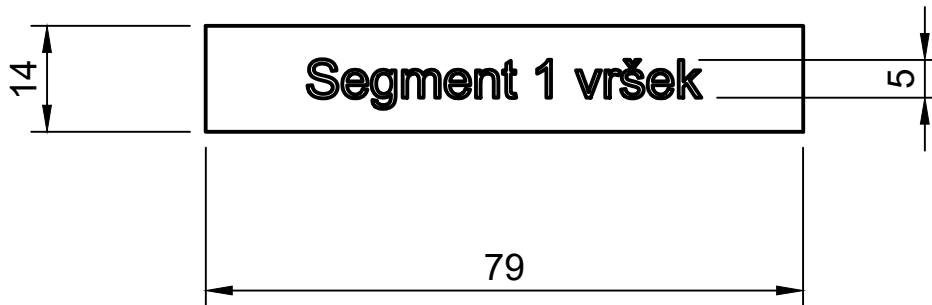
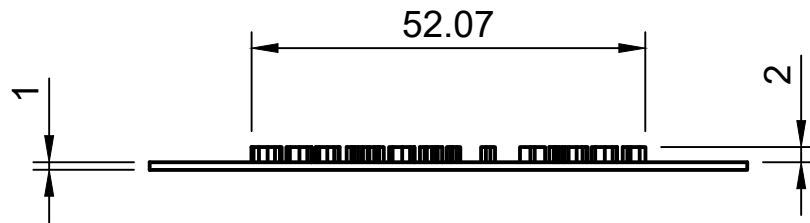
Dept.	Technical reference	Created by <b>Jan Strachota</b>	Approved by
		1:2	Document status
		Document type	DWG No.
Title <b>Zátka segment 3</b>		Rev.	Date of issue
		Sheet	13/36




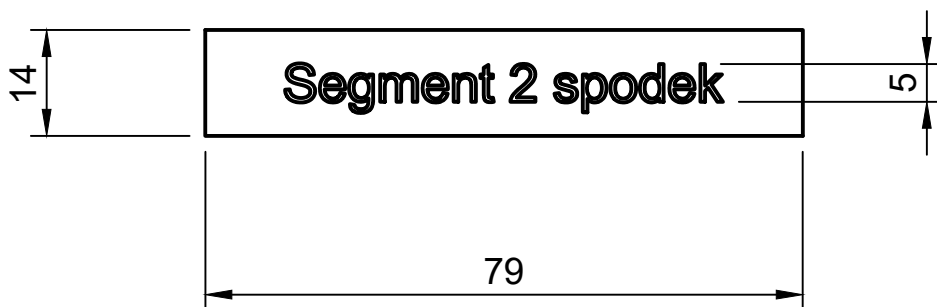
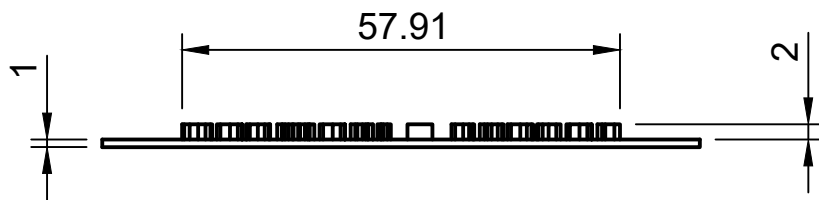
Dept.	Technical reference	Created by <b>Jan Strachota</b> 1:1	Approved by	
		Document type	Document status	
		Title <b>Písmo název BP</b>	DWG No.	
		Rev.	Date of issue	Sheet <b>14/36</b>




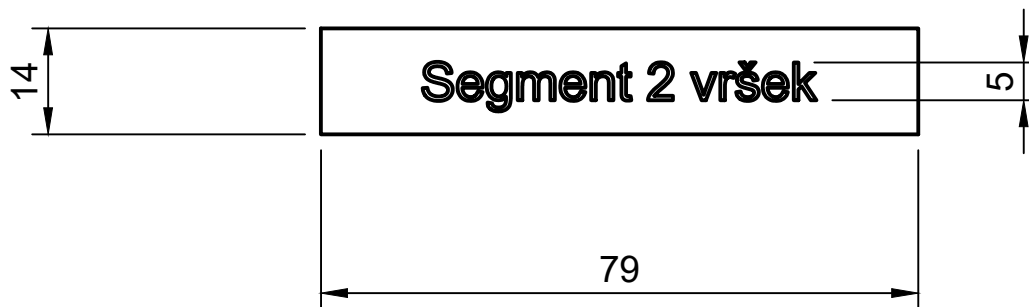
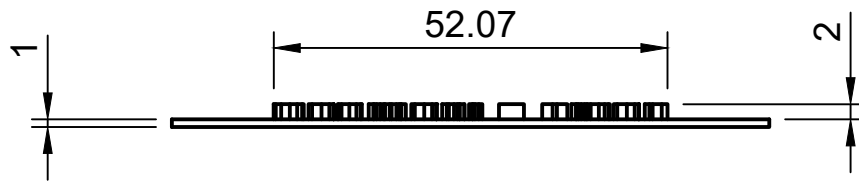
Dept.	Technical reference	Created by <b>Jan Strachota</b>	Approved by	
		Document type	Document status	
		Title <b>Písmo - segment 1 spodek</b>	DWG No.	
			Rev.	Date of issue




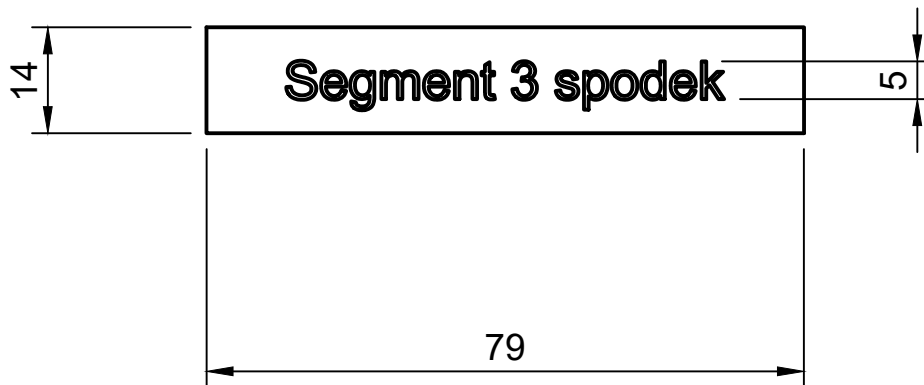
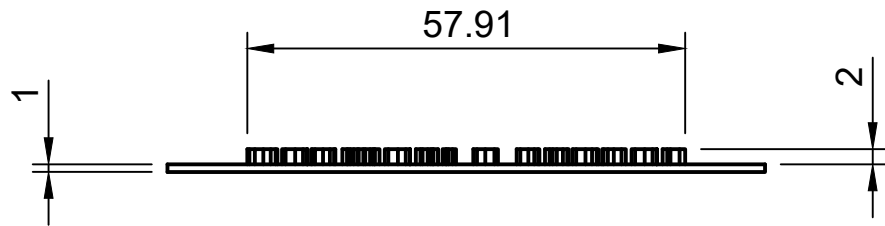
Dept.	Technical reference	Created by <b>Jan Strachota</b>	Approved by
	Document type	1:1	Document status
	Title <b>Písmo - segment 1 vršek</b>		DWG No.
	Rev.	Date of issue	Sheet <b>16/36</b>




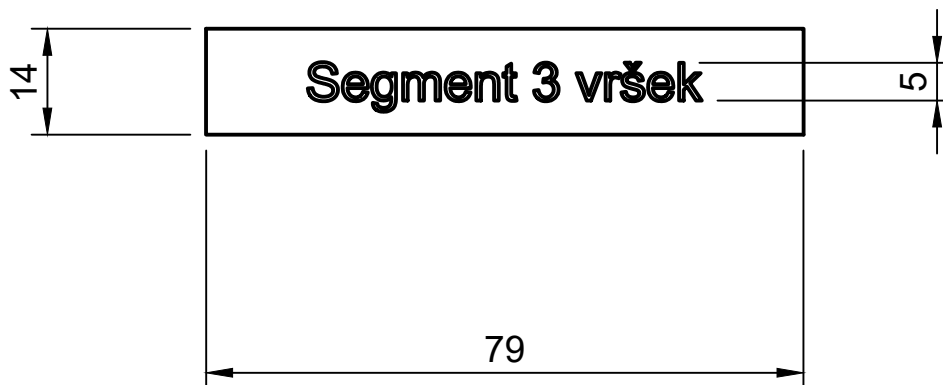
Dept.	Technical reference	Created by <b>Jan Strachota</b>	Approved by
	Document type	1:1	Document status
	Title <b>Písmo - segment 2 spodek</b>	DWG No.	
	Rev.	Date of issue	Sheet <b>17/36</b>




Dept.	Technical reference	Created by <b>Jan Strachota</b>	1:1	Approved by
	Document type	Document status		
	Title <b>Písmo - segment 2 vršek</b>	DWG No.		
	Rev.	Date of issue	Sheet <b>18/36</b>	

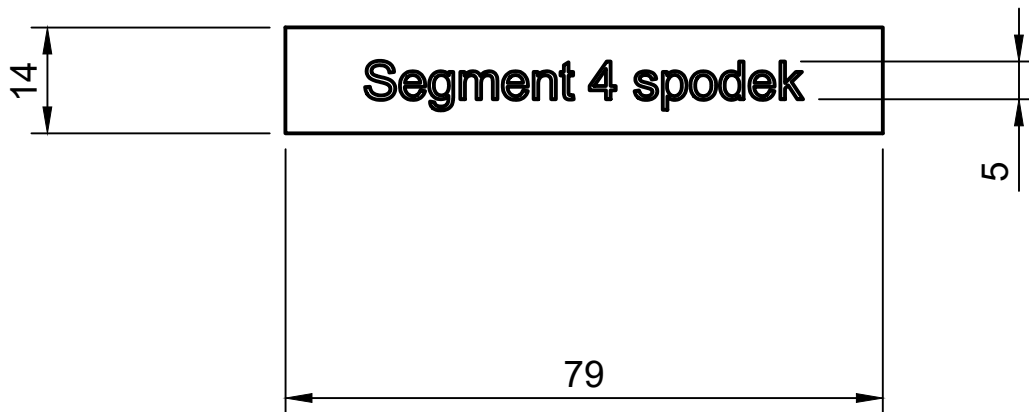
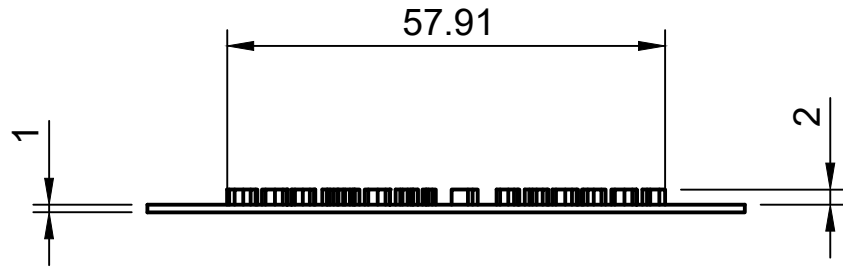



Dept.	Technical reference	Created by <b>Jan Strachota</b>	Approved by	
	Document type	1:1	Document status	
	Title <b>Písmo - segment 3 spodek</b>	DWG No.		
	Rev.	Date of issue	Sheet <b>19/36</b>	

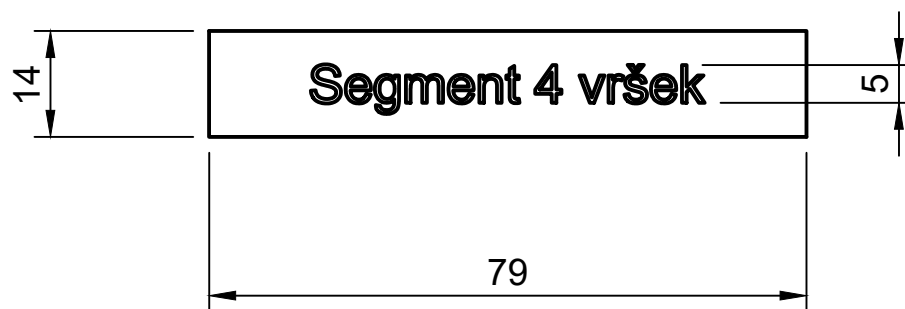



Dept.	Technical reference	Created by <b>Jan Strachota</b> 1:1	Approved by	
		Document type	Document status	
		Title <b>Písmo - segment 3 vršek</b>	DWG No.	
		Rev.	Date of issue	Sheet <b>20/36</b>

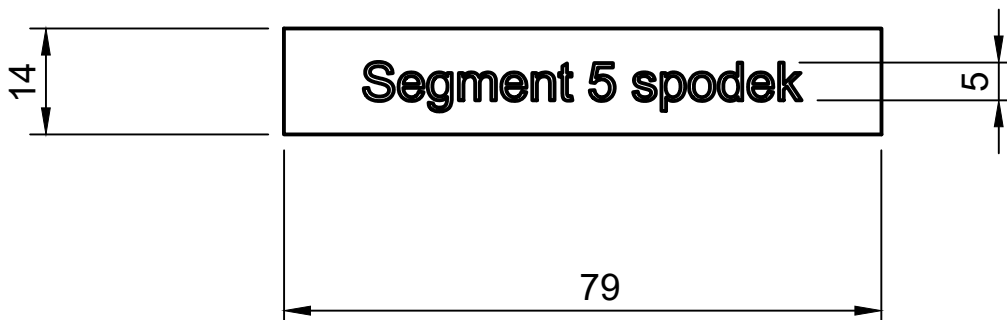
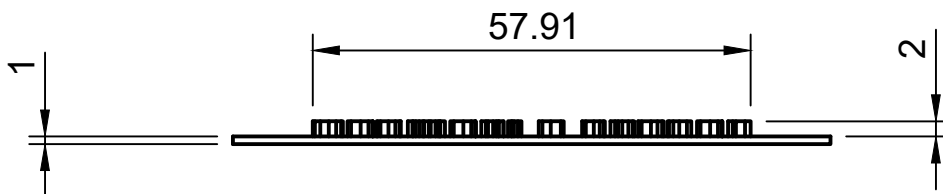





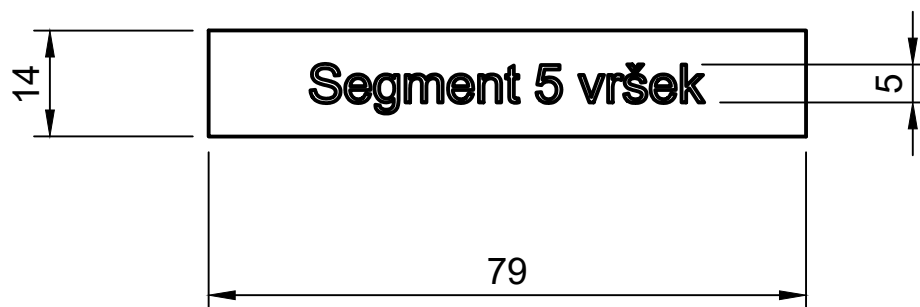
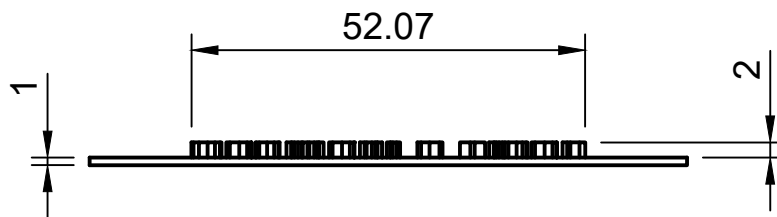
Dept.	Technical reference	Created by <b>Jan Strachota</b>	Approved by
	Document type	1:1	Document status
	Title <b>Písmo - segment 4 spodek</b>	DWG No.	
	Rev.	Date of issue	Sheet <b>21/36</b>




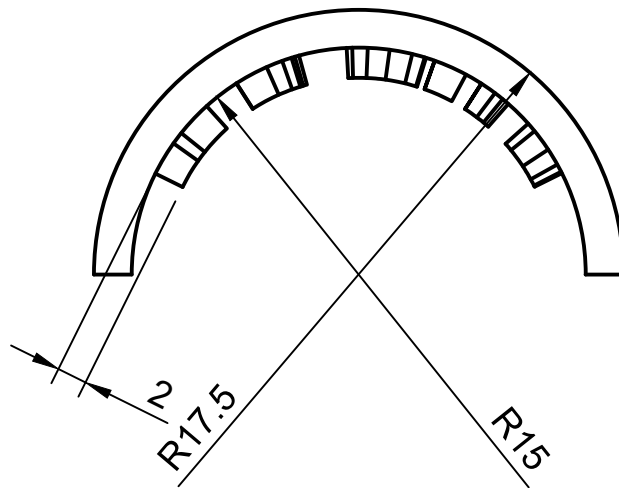
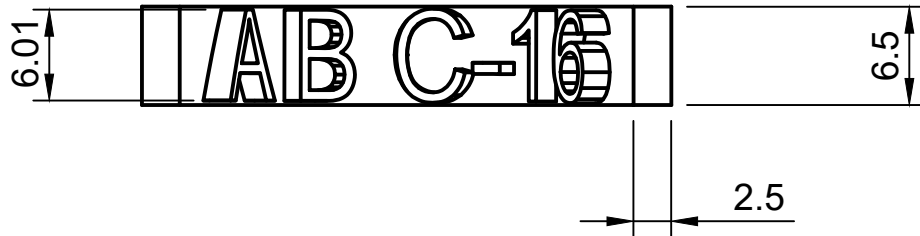
Dept.	Technical reference	Created by <b>Jan Strachota</b> 1:1	Approved by	
		Document type	Document status	
		Title <b>Písmo - segment 4 vršek</b>	DWG No.	
		Rev.	Date of issue	Sheet <b>22/36</b>




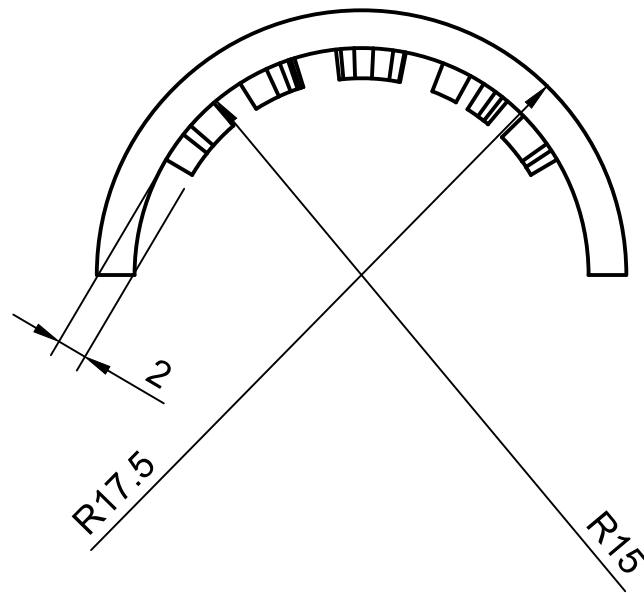
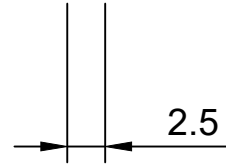
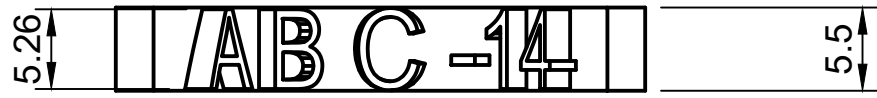
Dept.	Technical reference	Created by <b>Jan Strachota</b> 1:1	Approved by	
		Document type	Document status	
		Title <b>Písmo - segment 5 spodek</b>	DWG No.	
		Rev.	Date of issue	Sheet <b>23/36</b>




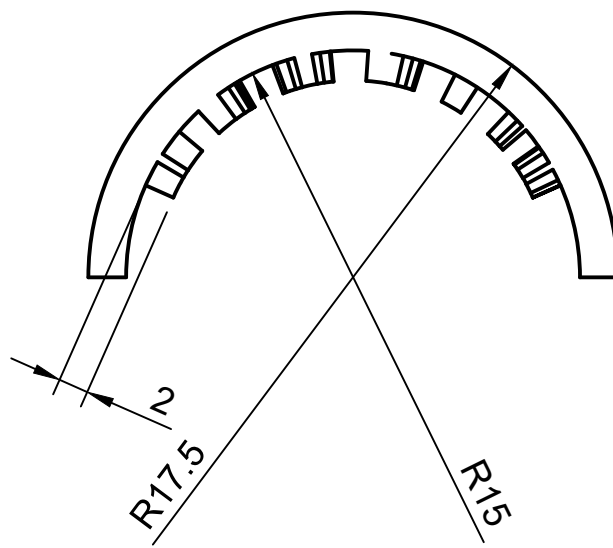
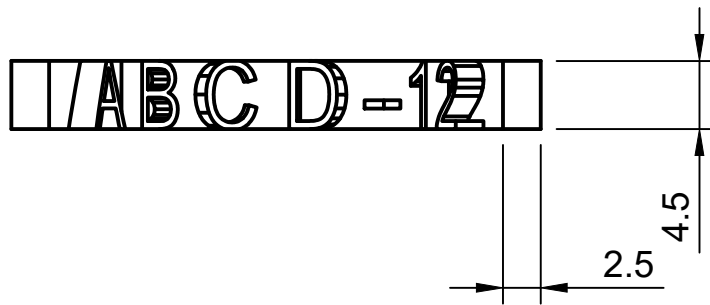
Dept.	Technical reference	Created by <b>Jan Strachota</b>	Approved by	
	Document type	1:1	Document status	
	Title <b>Písmo - segment 5 vršek</b>	DWG No.		
	Rev.	Date of issue	Sheet <b>24/36</b>	




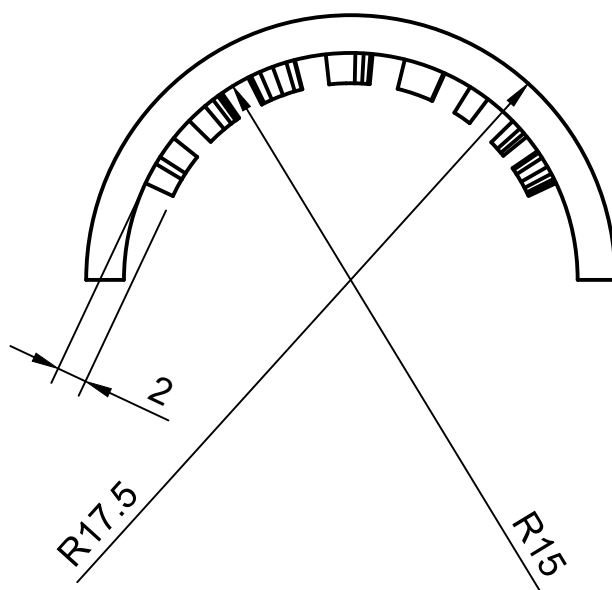
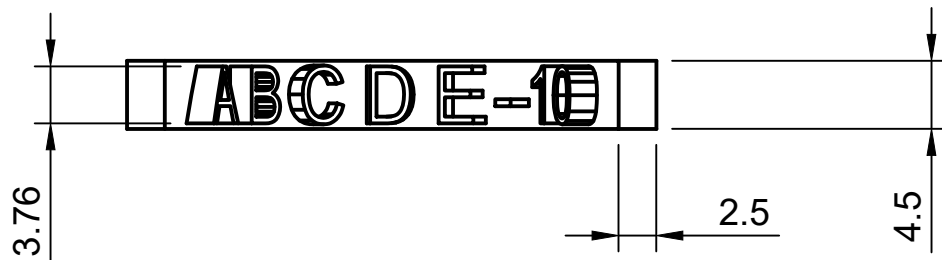
Dept.	Technical reference	Created by <b>Jan Strachota</b>	Approved by	
		Document type	Document status	
		Title Písmo - segment 1 rozlišovací schopnost 1	DWG No.	
		Rev.	Date of issue	Sheet <b>25/36</b>




Dept.	Technical reference	Created by <b>Jan Strachota</b>	Approved by	
		Document type	Document status	
		Title <b>Písmo - segment 1 rozlišovací schopnost 2</b>	DWG No.	
			Rev.	Date of issue

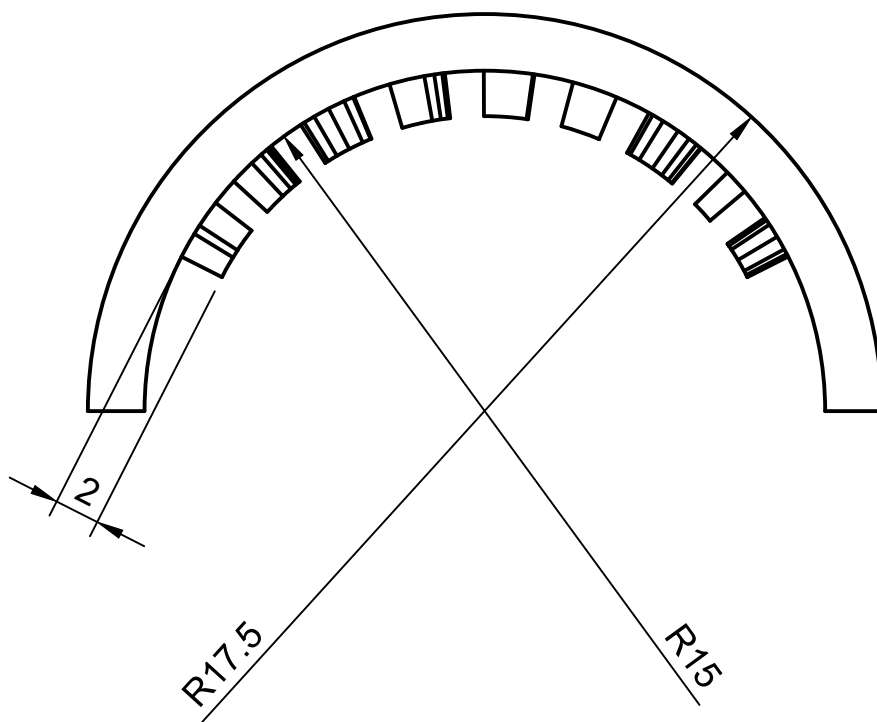



Dept.	Technical reference	Created by <b>Jan Strachota</b>	Approved by	
	Document type	2:1	Document status	
	Title	<b>Písmo - segment 1 rozlišovací schopnost 3</b>	DWG No.	
	Rev.	Date of issue	Sheet	<b>27/36</b>

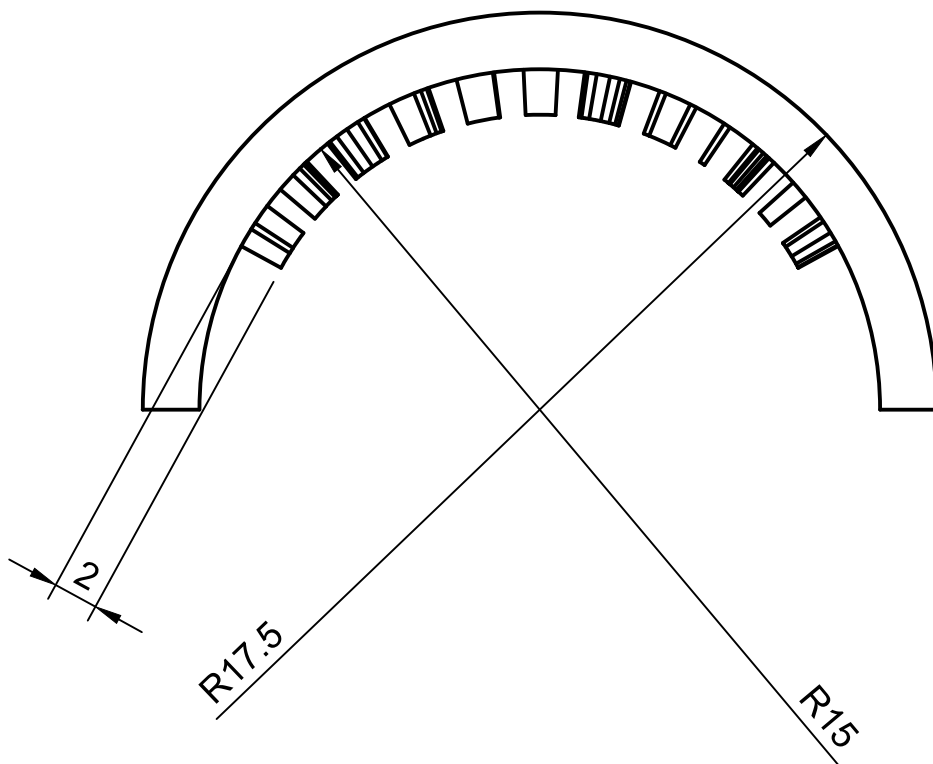



Dept.	Technical reference	Created by <b>Jan Strachota</b>	Approved by	
	Document type		Document status	
	Title <b>Písmo - segment 1 rozlišovací schopnost 4</b>		DWG No.	
	Rev.	Date of issue	Sheet <b>28/36</b>	

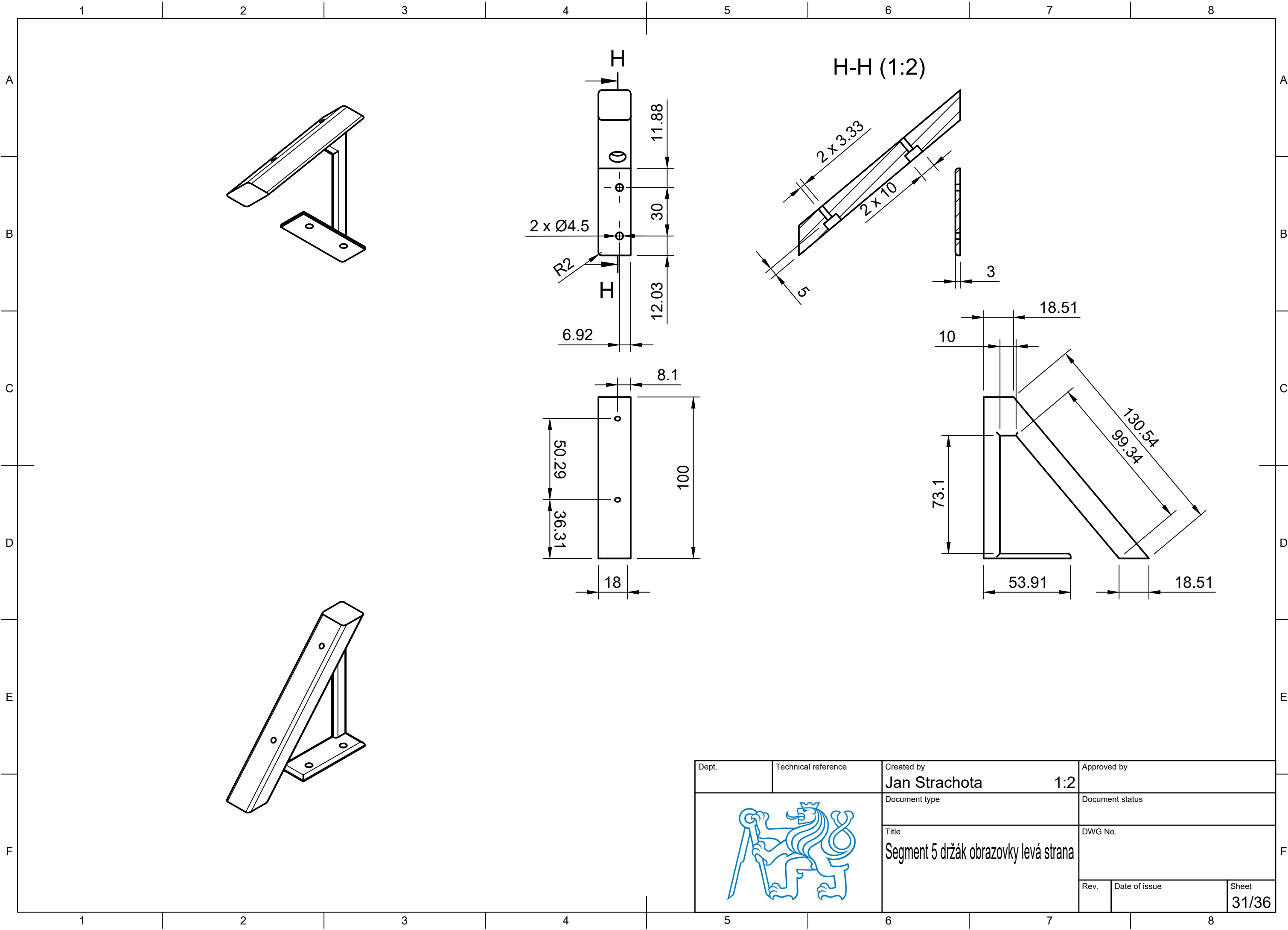





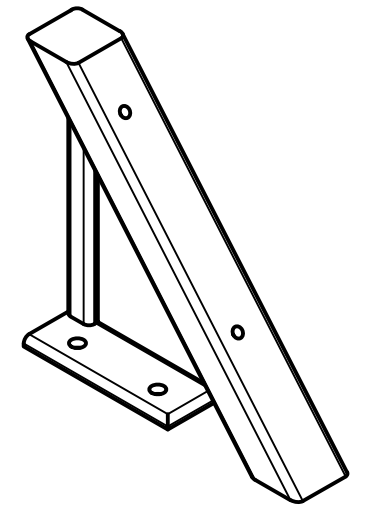
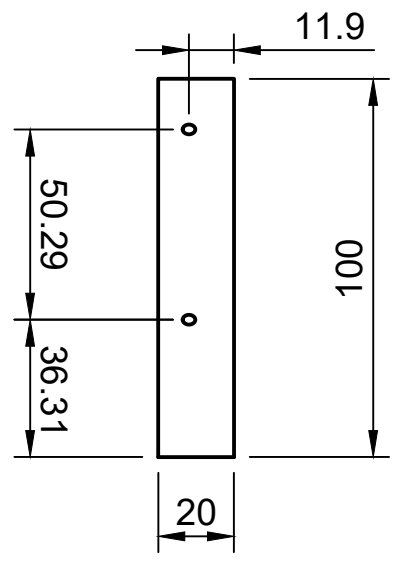
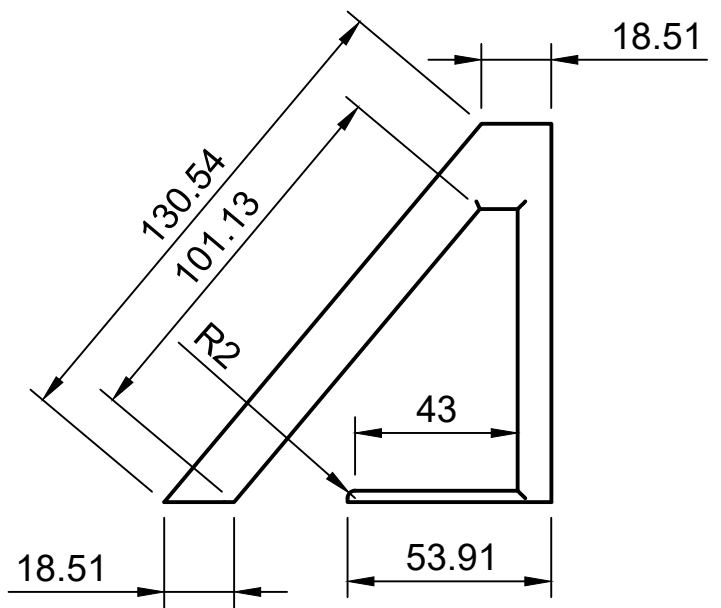
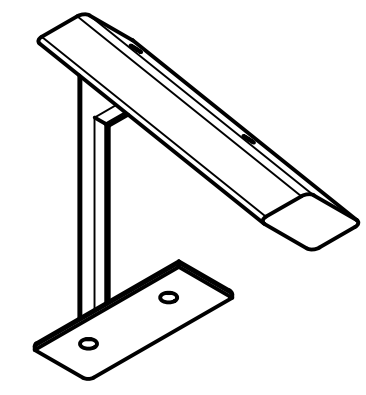
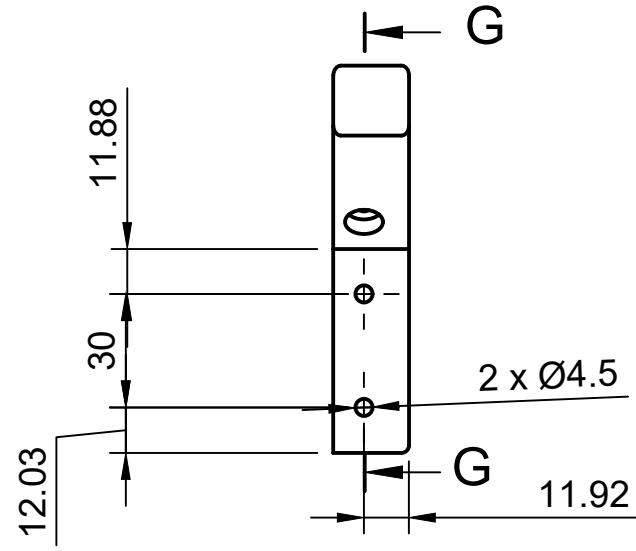
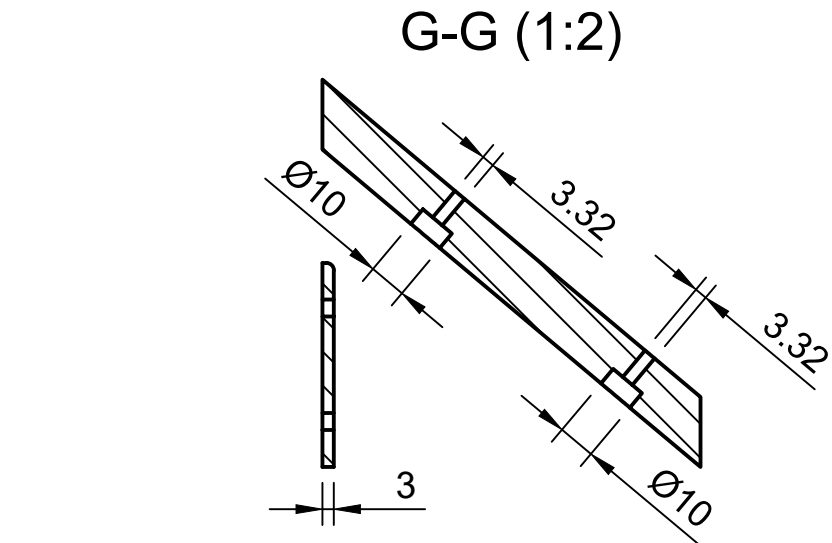
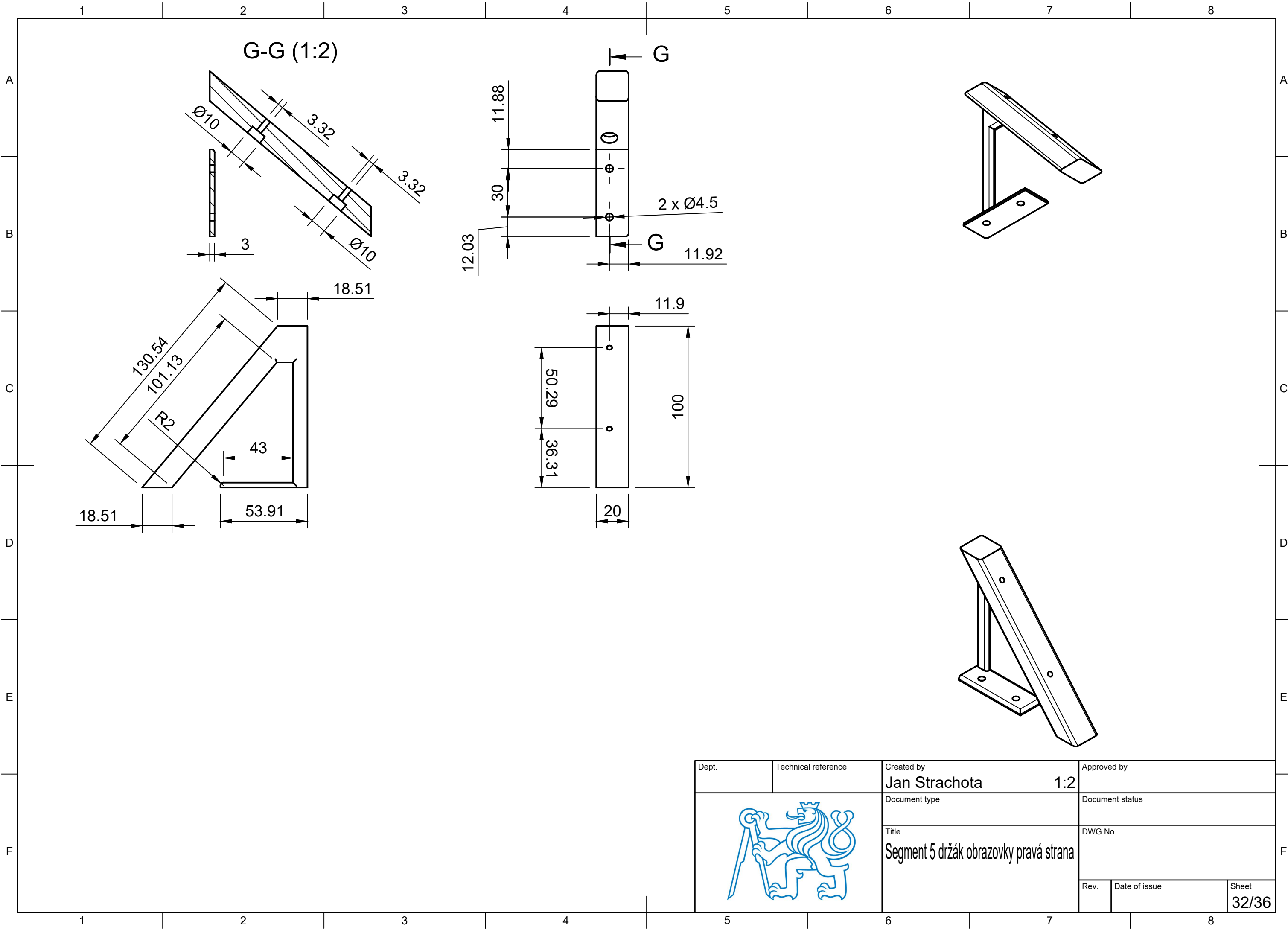
Dept.	Technical reference	Created by <b>Jan Strachota</b>	Approved by	
		Document type	Document status	
		Title <b>Písmo - segment 1 rozlišovací schopnost 4</b>	DWG No.	
			Rev.	Date of issue




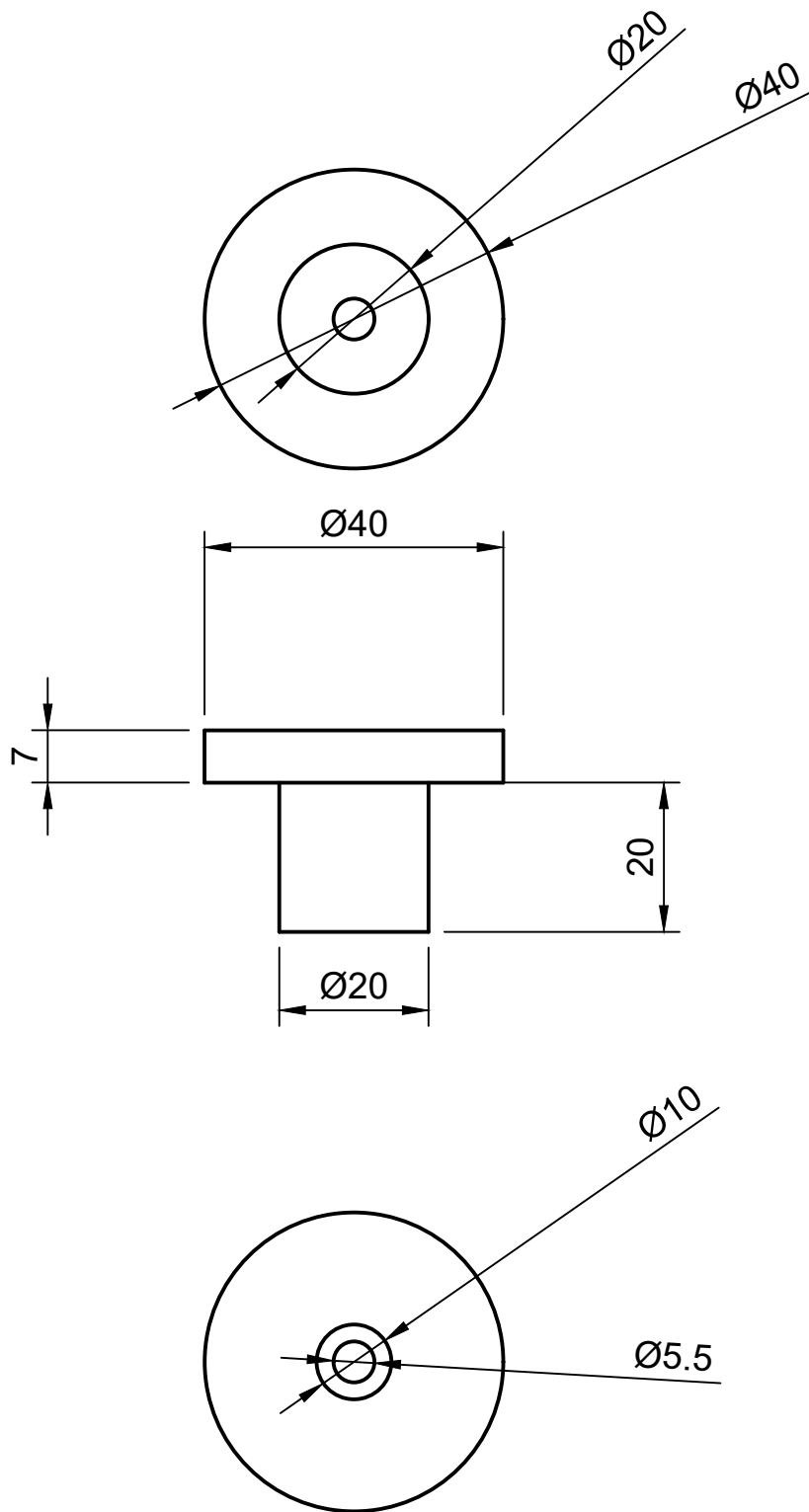
Dept.	Technical reference	Created by <b>Jan Strachota</b>	3:1	Approved by
	Document type	Document status		
	Title <b>Písmo - segment 1 rozlišovací schopnost 5</b>	DWG No.		
	Rev.	Date of issue	Sheet <b>30/36</b>	




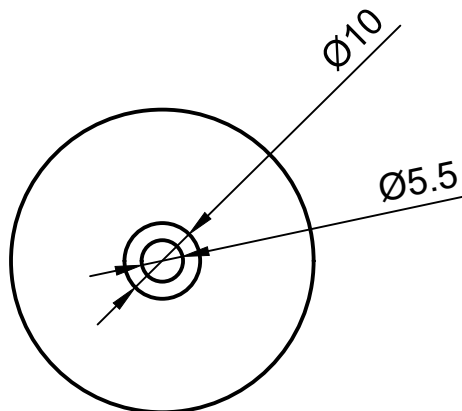
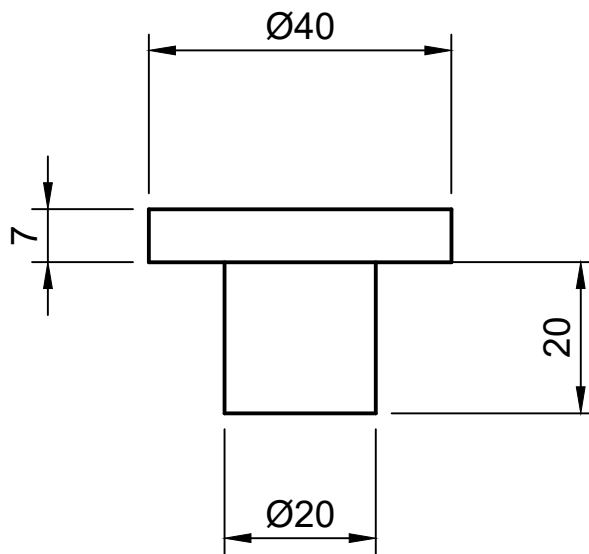
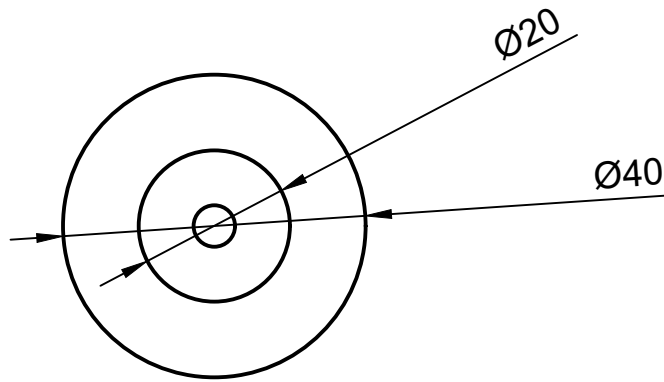
Dept.	Technical reference	Created by <b>Jan Strachota</b>	Approved by
		1:2	Document status
		Document type	DWG No.
Title <b>Segment 5 držák obrazovky levá strana</b>			Rev.
Date of issue		Sheet <b>31/36</b>	




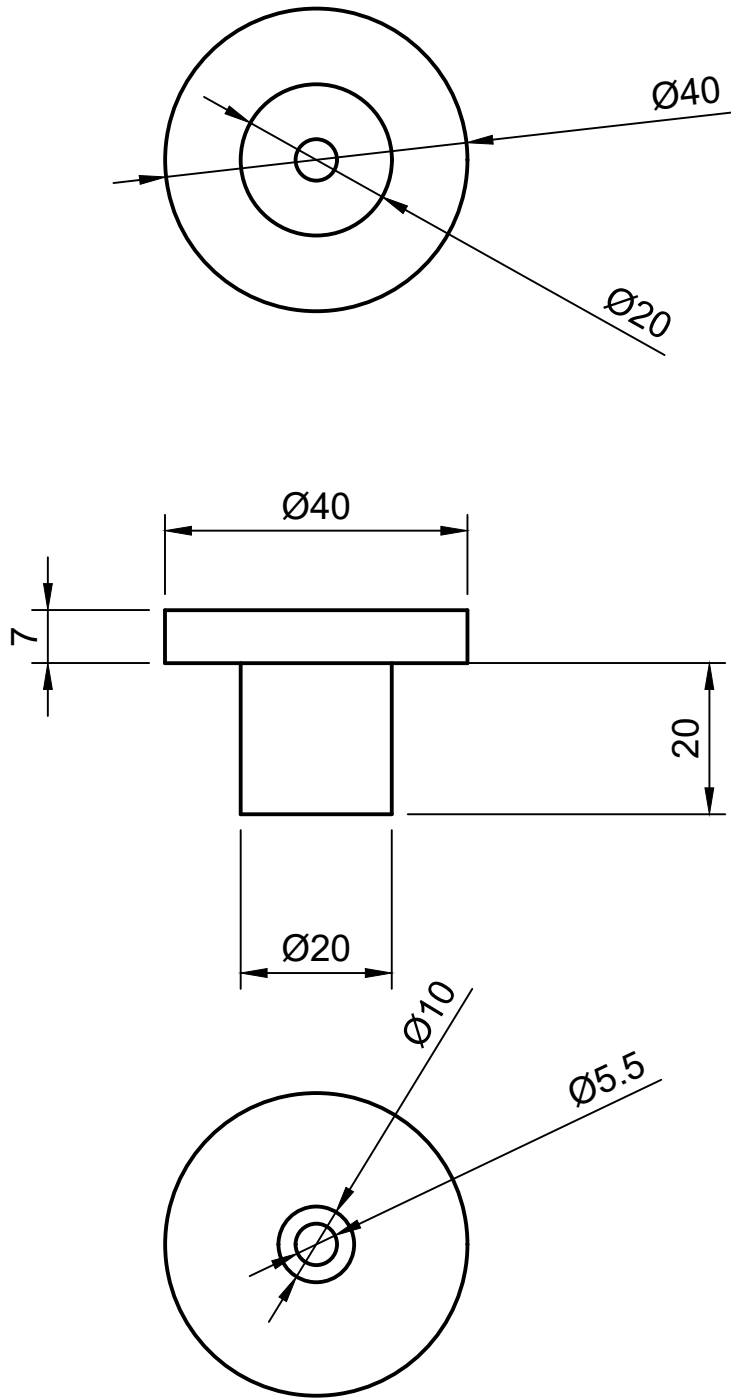
Dept.	Technical reference	Created by <b>Jan Strachota</b>	Approved by
	1:2		Document status
	Document type		DWG No.
	Title <b>Segment 5 držák obrazovky pravá strana</b>		Rev.
		Date of issue	Sheet <b>32/36</b>




Dept.	Technical reference	Created by <b>Jan Strachota</b> 1:1	Approved by	
		Document type	Document status	
		Title <b>Držák zátky segmentu 2</b>	DWG No.	
		Rev.	Date of issue	Sheet <b>33/36</b>



Dept.	Technical reference	Created by <b>Jan Strachota</b>	1:1	Approved by
	Document type	Document status		
	Title <b>Držák zátky segmentu 3</b>	DWG No.		
	Rev.	Date of issue	Sheet <b>34/36</b>	



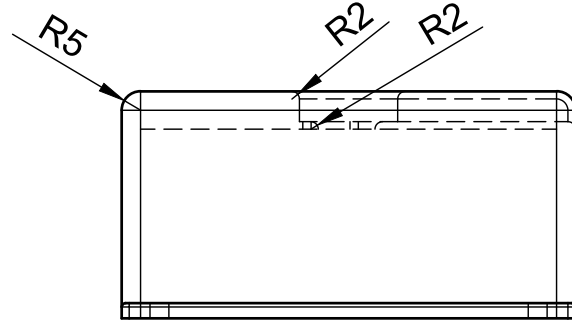
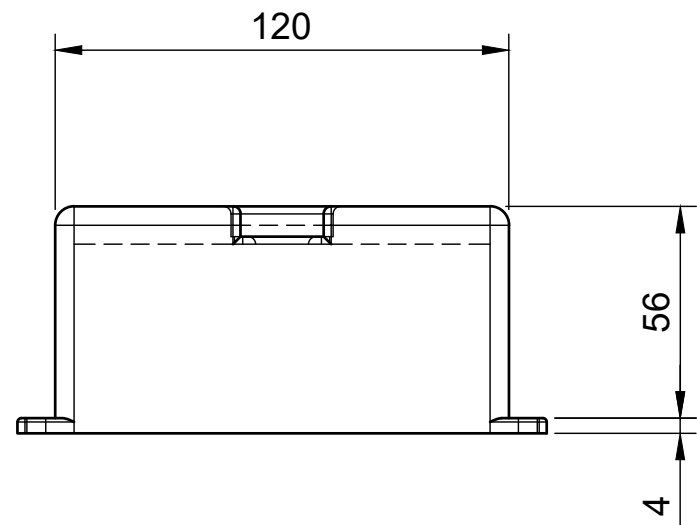
Dept.	Technical reference	Created by <b>Jan Strachota</b>	1:1	Approved by
	Document type	Document status		
	Title <b>Držák zátky segmentu 4</b>	DWG No.		
	Rev.	Date of issue	Sheet <b>35/36</b>	

1 2 3 4 5 6 7 8

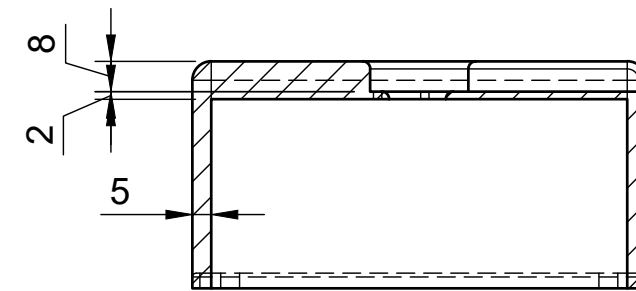
A

A

B



B-B (1:2)



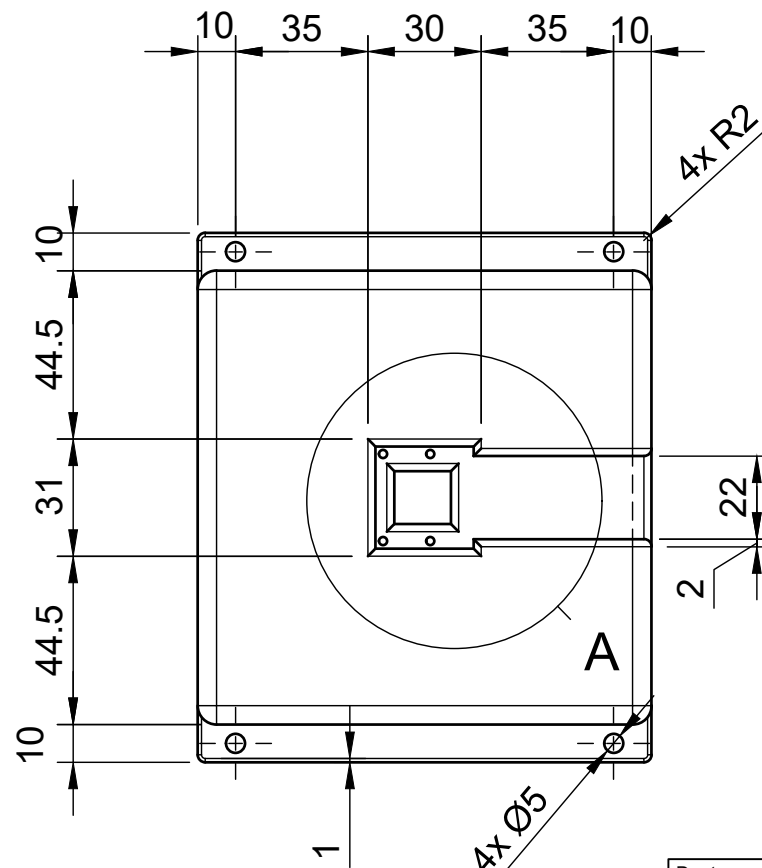
B

B

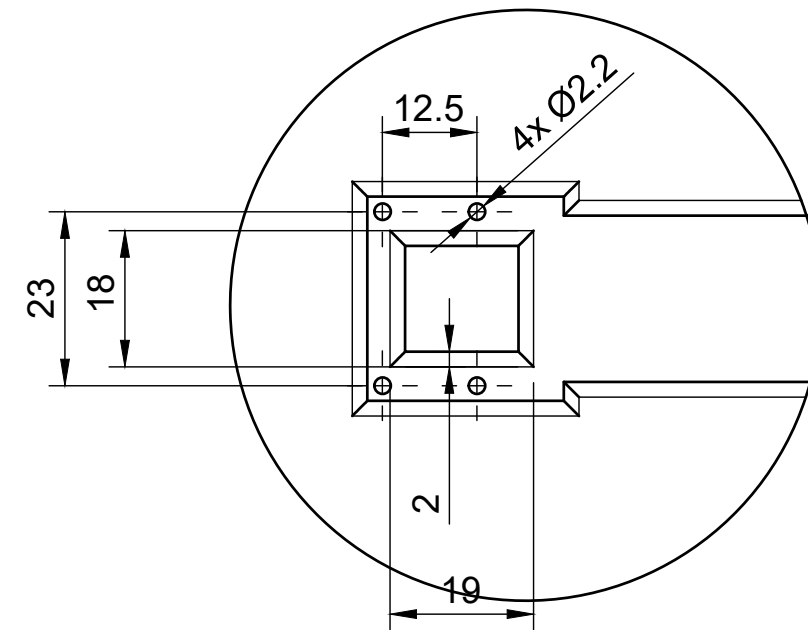
C

C

B



A (1:1)



D


D

E

E

F

F

Dept.	Technical reference	Created by <b>Jan Strachota</b>	1:2	Approved by
		Document type		Document status
		Title <b>Krabicka na kameru</b>		DWG No.
	Rev.	Date of issue		Sheet <b>36/36</b>

1 2 3 4 5 6 7 8