

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Brno, 2020

Bc. Lukáš Suchý

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Elektrotechnická výroba a materiálové inženýrství**

Ústav elektrotechnologie

Student: Bc. Lukáš Suchý

ID: 152248

Ročník: 2

Akademický rok: 2019/20

NÁZEV TÉMATU:

Otočný stolek k 3D skeneru

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Nastudujte problematiku 3D skenování a reverzního inženýrství. Navrhněte a vyberte komponenty pro stavbu otočného stolku ke 3D skeneru DAVID SLS2. K realizaci použijte platformu arduino. Stolek by měl zvládat ruční i programové ovládání z PC. Zařízení sestavte a otestujte v praxi.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle pokynů vedoucího diplomové práce.

Termín zadání: 3.2.2020

Termín odevzdání: 19.5.2020

Vedoucí práce: Ing. Petr Vyroubal, Ph.D.

doc. Ing. Petr Bača, Ph.D.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá 3D skenováním. Vysvětluje metody reverzního inženýrství se zaměřením na jednotlivé technické obory a uvedením příkladů použití v praxi. Další část práce obsahuje samotné 3D skenování, zaměřuje se na rozdělení skenerů a používaných technologií. V základu lze skenovací metody dělit na destruktivní a nedestruktivní. Následně je nastíněna problematika digitalizace pořízených snímků a získání z-ové souřadnice. Poté se práce zabývá klíčovými parametry pro vhodný výběr skenovacího systému. Dále je zde popsán skener David SLS2, jeho základní parametry, obsluha a proces kalibrace. Závěrečná část popisuje funkci a následnou konstrukci otočného stolku k 3D skeneru David SLS2.

Klíčová slova

3D, skener, DAVID SLS2, 3D tisk, reverzní inženýrství, metody digitalizace

Abstract

This master thesis deals with the 3D scanning. This thesis explain methods of reversal engineering with a special aim for technical disciplines. Also some examples are being given. Next part deals with the 3D scanning technology and focuses on separation of scanners to a different groups and associated technology. Basically the scanning methods are separable to destructive and non-destructive groups. An images are obtained by 3D scan, its problematics and z-axis acquisition follow in next part of the thesis. Afterwards some key parameters suitable for selection of scanning systems are selected. A scanner "David SLS2" and its basic parameters, manipulation, service and calibrating process is being described. Last part deals with function and construction of rotating table used together with the 3D scanner David SLS2.

Keywords

3D, scanner, DAVID SLS2, 3D print, reverse engineering, digitization methods

Bibliografická citace:

SUCHÝ, Lukáš. *Otočný stolek k 3D skeneru*. Brno, 2020. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/123564>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektrotechnologie. Vedoucí práce Petr Vyroubal.

Prohlášení

*„Prohlašuji, že jsem svoji diplomovou práci na téma *Otočný stolek k 3D skeneru* vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho semestrální práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.*

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: **2. června 2020**

.....
podpis autora

OBSAH

1.	Úvod.....	1
2.	Reverzní inženýrství.....	2
3.	3D skenery	7
	3.1 Kontaktní skenery	8
	3.2 Bezkontaktní skenery	10
4.	Metody digitalizace.....	14
5.	Výběr 3d skeneru	16
6.	Laserové skenování v praxi.....	17
7.	Skener David sls2.....	22
8.	Koncept otočného stolku.....	28
9.	Realizace otočného stolku.....	30
	9.1 Elektrická část	30
	9.2 Mechanická část	41
	9.3 3D tisk	43
	9.4 Cenová kalkulace	45
10.	Ovládání a obsluha.....	45
11.	Rotační stolek v praxi.....	46
12.	Závěr	51
	Literatura.....	52

Seznam obrázků

Obr. 1: Skenování DigiTry Art. [1]	7
Obr. 2: Dělení technologií 3D skenování. [4].....	8
Obr. 3: MetraScan 3D-R. [6].....	10
Obr. 4: Stereo vidění lidského oka. [2].....	12
Obr. 5: Triangulační trojúhelník. [3].....	14
Obr. 6: 1D triangulace. [3]	15
Obr. 7: 3D triangulace. [3]	16
Obr. 8: Princip laserového skeneru (přímé měření). [3]	17
Obr. 9: Bélepátfalva, Maďarsko dokumentace kostela. [18].....	18
Obr. 10: Zámek Schönbrunn, Vídeň. [18]	19
Obr. 11: Klenba Karlova mostu v Praze. [18].....	20
Obr. 12: Systém FOTOM. [17]	21
Obr. 13: 3D skener David SLS. [5].....	24
Obr. 14: Nastavení kamery. [5].....	25
Obr. 15: Výběr kalibračních značek. [5]	26
Obr. 16: Proces kalibrace. [5].....	26
Obr. 17: Křivky po úspěšné kalibraci. [5].....	27
Obr. 18: Blokové schéma otočného stolku.....	29
Obr. 19: Definice pinů Atmega328P.[16]	31
Obr. 20: LCD displej – hlavní menu.	32
Obr. 21: Počítačová aplikace.....	33
Obr. 22: Řízení krokového motoru.....	35
Obr. 23: Krokový motor.[12].....	35
Obr. 24: Zapojení cívek krokového motoru. [12]	36
Obr. 25: Výstupy Hallova snímače.	37
Obr. 26: Editor plošných spojů – náhled DPS.	39
Obr. 27: Vyrobený plošný spoj.....	39
Obr. 28: Schéma zapojení Eagle.....	40
Obr. 29: Ozubení vrchní části stolku.	42
Obr. 30: Převodové kolo krokového motoru.	42
Obr. 31: Příprava tisku PrusaSlicer.....	44
Obr. 32: Objekt pro 3D skenování.....	46
Obr. 33: Zarovnání pořízených skenů.	47
Obr. 34: Sloučení skenů.	48

Obr. 35: Objekt PrusaSlicer.....	48
Obr. 36: Generování podpěr.....	49
Obr. 37: Srovnání modelů.....	49

Seznam tabulek

Tab. 1: Pozice kamery.....	25
Tab. 2: Klíčové parametry Atmega328P.....	31
Tab. 3: Mikrokrokování A3967.....	35
Tab. 4: Parametry otočného stolku.....	50

1. ÚVOD

Diplomová práce se zabývá 3D skenováním, používanými metodami a v neposlední řadě zpracováním pořízených snímků. Skenování velmi úzce souvisí s metodami reverzního inženýrství. S reverzním inženýrstvím se můžeme poprvé setkat již v letopočtech dalece před Kristem, v době kamenné, kdy docházelo ke kopírování prvních nástrojů. V 21. století je reverzní inženýrství doplněno o bezpilotní drony a získává tak úplně jiné rozměry. S nástupem moderních technologií došlo k rozšíření v oblastech 3D tisku a následovalo i odvětví 3D skenování. Tyto moderní technologie poskytují široké spektrum možností v oblasti návrhu a konstrukce zařízení. S technologií 3D skenování se můžeme setkat v řadě různých odvětví od architektury k počítačovým hrám a například i v lékařství kde tato technologie nové možnosti v oblasti lebečních náhrad přímo na míru pacienta. Menší problémy nastávají při rekonstrukci pořízených snímků, zde je potřeba se vypořádat s překážkou získávání z-ové souřadnice a využít tak moderní výpočtové technologie.

Na trhu je dostupná široká škála skenovacích zařízení, proto je velmi důležité zaměřit se na klíčové parametry při výběru zařízení. Práce se v bližším seznámení zabývá skenerem David SLS2, jeho parametry a obsluhou. Cílem diplomové práce je návrh a realizace otočného stolku pro 3D skener David SLS2 s možností obsluhy přes PC.

2. REVERZNÍ INŽENÝRSTVÍ

Je opačný proces klasického inženýrství. Objekt je konstruován na základě již vyrobeného výrobku. Tento výrobek poslouží jako vzor. Ze vzorového předmětu se tímto způsobem snažíme získat co nejvíce informací, jako je například použitý materiál, postup výroby, používaná technologie a další podstatné informace. Po získání těchto základních znalostí si můžeme udělat jakýsi obraz a objekt znovu vyrobit v podobné či lepší kvalitě. Zkoumaným předmětem si můžeme představit různé strojní součásti od automobilového průmyslu až po letectví. S reverzním inženýrstvím se můžeme setkat i v oblasti oprav, kdy je třeba nahradit poškozenou součást neopotřebovanou.

Při reprodukovatelnosti výrobku za pomoci metody reverzního inženýrství je třeba dbát na to, aby výroba byla legální a výrobek nebyl patentově chráněn. S příklady plagiátorství se můžeme setkat například v oblastech IT, v těchto případech je velmi snadné překročit hranice ochrany programu.

Historie

S reverzním inženýrstvím se můžeme setkat v dobách, kdy se začaly vyrábět první kamenné nástroje. Nástroje se postupně rozšiřovaly mezi ostatní skupiny lidí a tím se zrodilo reverzní inženýrství. Ovšem největší rozmach lze zaznamenat v dobách válek a průmyslové revoluce. V těchto dobách docházelo k různým špionážním akcím na obou stranách.

Čína a duševní vlastnictví

Čínská lidová republika patří mezi velmoci v oblasti kopírování výrobků a plagiátorství. Čína je velmi vynalézavá a schopná s velkým úspěchem okopírovat a následně prodat skoro vše. Většina padělků dostupná na světovém trhu nese označení země původu Čína. Škody, které způsobují padělky dodávané na trh jsou vyčíslovány na stovky miliard dolarů ročně. Z dostupných informací je patrné, že spolupráce s čínskými podnikateli je velmi rizikové. Ochrana know-how a ochrana duševního vlastnictví je v Číně teprve na počátku existence. V České republice existují případy, kdy byly bez jakéhokoliv upozornění okopírovány české výrobky. Jedním ze sporů, který lze dohledat je kopie motocyklů značky Blata. Mezi další případy patří obchodní centrum nacházející se v Pekingu. Velkoobchodní centrum nabízí řadu padělaného zboží za velmi nízké ceny a zboží je možno odebrat jen v balících. Mezi zbožím se vyskytují padělky předních světových značek. Na čínském trhu je možné sehnat i čínskou kopii Viagry nebo dva dosud nenapsané díly Harryho Pottera. V této krajině se s padělky setkávají i velcí výrobci SW, a to například firma Microsoft. Odhad podílu pirátského softwaru na čínském trhu se pohybuje zhruba na 80 %. Pro koncového spotřebitele je finální volba naprosto jednoduchá, závislá na ceně.

Jako příklad lze uvést pořízení operačního systému Windows za 4 dolary než platit plnou cenu.

I v České republice se lze setkat s padělkami, stačí navštívit nejednu z velkých tržnic. Na těchto velkých tržnicích se dají pořídit padělky známých světových značek za zlomek originální ceny. Nabídka výrobků je poměrně široká od parfémů až po obuv. Každou chvíli se v médiích objevují informace o zásazích celní správy na tržnice s nelegálním zbožím. Po těchto akcích skončí všechno zabavené zboží ve spalovnách. V posledních letech je ale umožněno některým institucím požádat o zabavené zboží. Po odstranění loga značky jsou oděvy a obuv distribuovány do potřebných sociálních oblastí jako jsou například dětské domovy.

Pokud by veškerá pirátská produkce zanikla, mělo by to pozitivní dopad na světovou ekonomiku, ale negativní na tu čínskou. Ta by přišla o miliony pracovních míst a o velkou část hrubého domácího produktu. Čína je na vrcholu žebříčku i v kopírování nejnovějších technologií, jako jsou polovodiče a mikročipy. Některé firmy figurující na čínském trhu se postupně snaží začlenit do procesu o podporu duševního vlastnictví. Mezi tyto firmy se úspěšně zařazuje firma Huawei nebo Lenovo. Čína má také obrovský potenciál, který je založený na největší ekonomice světa. V blízké budoucnosti lze počítat s tím, že Čína už nebude jen poskytovatelem levné pracovní síly, ale bude se podílet i na vývoji a výzkumu nových technologií. [15]

Čína se na počátku exportů výrobků do Evropské unie snažila na Evropském trhu co nejvíce prosadit se svými výrobky nevalné kvality. Na některých nabízených výrobcích se mohl koncový spotřebitel setkat s označením CE – China export. Toto označení se značně podobalo s evropskou značkou shody CE. Evropská značka shody znamená, že výrobek byl posouzen před uvedením na trh a splňuje legislativní požadavky Evropské unie. Spoléhalo tak na důvěřivost zákazníku v tuto kontrolu kvality. Nejčastěji se spotřebitel s tímto logem může setkat přímo na výrobku nebo v jeho přiložené dokumentaci. Evropská komise pro kontrolu hospodářského prostoru řešila toto obvinění s podobností loga v roce 2008. Komise ale nedošla k závěru, který by potvrdil ani vyvracoval existenci loga China export. Logo China export se dá považovat za chybné zobrazení loga shody CE. V závěru komise kontaktovala čínské úřady, aby exportéři respektovali legislativu nastolenou evropskou unií.

V tuto chvíli se můžeme proti plagiátorství čínských výrobků bránit kvalitou. Nastane ale doba, kdy i čínští výrobci budou s kvalitou na vrcholu žebříčku. Za zmínku stojí soudní proces s izraelským podnikatelem. Ten navrhnul a následně vyráběl příslušenství k mobilním telefonům. Vzal obal od smartphonu a doplnil ho teleskopickou tyčí. Vznikly tak velmi populární selfie tyče. Několik dní po uvedení výrobku na trh se na AliExpress našlo několik čínských podnikavců, kteří tento produkt okopírovali. Následně produkt nabízeli za zlomek ceny, než za kterou bylo možné pořídit originál. Případ izraelského podnikatele určitě není ojedinělý. Nastiňuje však realitu, se kterou se může setkat každý začínající podnikatel.

Reverzní inženýrství v jednotlivých odvětvích

IT

Odvětví informačních technologií patří v poslední době mezi nejvíce rozvojové a náchylné na porizování kopií. Se zveřejněním zdrojového kódu, takzvaného open – source, odpadá nutnost licencování. Licence je v zásadě velmi důležitá, specifikuje uživateli práva s nakládáním zdrojového kódu.

Umění

V oblasti umění nám metoda reverzního inženýrství pomáhá archivovat cenné exponáty. Nepostradatelnou se tato metoda stává i v oblasti renovace uměleckých děl za použití moderní technologie, kdy dochází k analyzování modelu. Při defektu objektu je tato metoda potřebná pro přesný návrh chybějící nebo poškozené části. Ovšem i v tomto odvětví se můžeme dostat na velmi tenký led a setkat se s plagiátorstvím.

Architektura

Použití 3D skeneru v kombinaci s dronem otevírá novou cestu v oblasti architektury. Díky této nové technologii lze skenovat výškové budovy i rozsáhlé stavební komplexy. Na základě těchto získaných dat je možné realizovat podobné stavby.

Automobilový průmysl

S metodou reverzního inženýrství se můžeme nejčastěji setkat v odvětví automobilového průmyslu. Na trhu můžeme často vidět čínské kopie evropských automobilů. Se začátkem této špionážní akce se setkáváme již při představení automobilu samotného. Široká škála novinářů fotící nový automobil do nejhlupejších detailů. Následně je vyráběn automobil velmi podobný originálu.

Zbrojní průmysl

Za dob válečných vznikala celá škála špionážních akcí. Tyto akce cílily na získávání konkurenčních technologií a výrobků, kde docházelo k častému kopírování. Jako jeden z mála příkladů lze uvést sovětskou samonabíjecí pistoli Makarov, která je vydařenou kopií pistole Walther PP. Oproti pistoli Walther PP je Makarov doplněn o řadu vylepšení, jako je například pohodlnější nošení a používání.

Fotogrammetrie – vývoj

První zmínka o fotogrammetrii sahá daleko před vynález fotoaparátu. První zmínku o zobrazovacích metodách popsal Leonardo da Vinci. Ten zkonstruoval tzv. dírkovou komoru. Dírková komora umožňuje překreslení pozorovaného objektu na základě centrální projekce. Tuto komoru opatřil spojnou čočkou Jan Keplet a byla nazvána camera clara. Vynález fotografie, který reprezentoval Niepce a Daguerre, dále zdokonalil H.F. Talbot, který jako první zavedl do technologie zpracování proces negativ – pozitiv a uskutečnil tak poprvé zhotovení většího počtu stejných fotografií z

jednoho negativu. Do té doby byla každá fotografie neopakovatelným originálem. Dva roky po vynálezu fotografie zkonstruoval slovenský vědec prof. J. M. Petzval první moderní objektiv a zavedl do geometrické optiky exaktní výpočetní metody, čímž významně přispěl, mimo jiné, i k rozvoji fotogrammetrie.

Za zakladatele fotogrammetrie se pokládá francouz Laussedat, který krátce po vynálezu fotografie začal fotografické snímky využívat pro měřicí účely. První fototeodolit zkonstruoval mechanik Brunner podle jeho návrhu v roce 1859. Krátce na to se český vědec Dr. K. Kooistka na studijní cestě v roce 1862 s fotogrammetrií seznámil přímo u Laussedata. Po návratu zhotovil první fotogrammetrické měření u nás. Ze dvou stanovisek, na Hradčanech a Petříně, zhotovil fotografické snímky a průsekovou metodou určil polohu věží a jiných významných bodů na území Prahy (obr.1). Po něm se zabýval fotogrammetrií prof. F. Steiner, který napsal jednu z prvních učebnic fotogrammetrie (1891–1893). Velmi brzy došlo k uvědomění si významu této měřicí metody a už v letech 1893–1897 bylo touto metodou uskutečněno mapování Vysokých Tater v měřítku 1:25 000 (průsekovou metodou). Průseková fotogrammetrie byla v mnoha ohledech nepraktická. Uplatněním jednoduchého principu stereoskopie ze začátku 20. století byly mnohé z problémů průsekové metody rázem odstraněny. Průkopníkem stereofotogrammetrie byl Dr. C. Pulfrich, který v roce 1901 zkonstruoval první přístroj na stereoskopické měření snímkových souřadnic – stereokomparátor. Tento přístroj položil základy složitějším přístrojům pro analogové (opticko-mechanické) vyhodnocování. S fenoménem létání se současně začala rozvíjet i letecká fotogrammetrie. První snímky ze vzduchu pořídil francouz Nadar už v roce 1858.

Velký rozmach zaznamenala letecká fotogrammetrie až během první světové války pro účely sledovací a interpretační. Nastal velmi rychlý vývoj fotogrammetrických kamer a vyhodnocovacích přístrojů. U nás se první letecké stereofotogrammetrické mapování uskutečnilo v roce 1921 na území města Trutnova. Obrovský význam letecké fotogrammetrie pro mapování si můžeme uvědomit z následující skutečnosti: Vojenský zeměpisný ústav do r. 1938 zmapoval pozemní fotogrammetrií cca 1600 km² a leteckou přes 67 000km².

Informace získaná optickým skenováním je v podobě videa nebo fotografie. Výstupem pak může být 3D model, mapa nebo stavební plán. Jednosnímková metoda snímání je dostačující, pokud skenujeme například fasádu domu nebo stavební půdorys. Vícesnímková metoda nám umožňuje vytvořit z dat 3D model. Fotogrammetrie je ve většině případů rozšířena o laserové skenování. Výsledkem je pak množina bodů, které mohou být doplněné i o GPS souřadnici. [13]

Dělení fotogrammetrie

Pozemní

Používá se především ve výškově členitých krajinách. Ze začátku existence se využívala při mapování vysokohorského terénu. Daleko větší význam má při mapování povrchových dolů, měření mostových konstrukcí a všeobecně ve stavebnictví. Její uplatnění můžeme najít v moderní kriminalistice při mapování místa činu, nebo následků dopravních nehod.

Letecká

Daleko širší uplatnění má letecká fotogrammetrie při zhotovování map různých měřítek. Jedná se o mapy různých měřítek v závislosti na výšce snímání. Mapy menších měřítek najdou uplatnění při projektování staveb a evidenci pozemků. Nenahraditelným dějem je schopnost zachytit ve velmi krátké době co největší zájmovou oblast. Letecká fotogrammetrie dále nachází uplatnění při dokumentaci území postiženého povodněmi, vichřicemi a rozsáhlými požáry. Nenahraditelnost metody spočívá v mapování velmi těžko dostupných míst, kde je daleko obtížné až nemožné použití jiné měřicí metody.

Fotogrammetrie s použitím dronů

Fotogrammetrie je výborná metoda určená ke skenování interiérů, exteriérů i velkých krajinných celků. Informace získané touto metodou jsou základem pro rekonstrukci chybějících částí staveb nebo poškozených dílů. Dále je metoda vhodná k revizím infrastruktury a pořizování map rozsáhlých stavenišť. Praktické využití najdeme v oblasti stavby větrných elektráren a konstrukce výškových budov.

Drony jsou nepostradatelnou součástí výše zmíněné skenovací metody. Jako bezpilotní zařízení plní často funkci nosiče snímače nebo fotoaparátu. Umožňují dokonale snadný přístup k libovolné části skenovaného objektu, kde jsou limity dronu omezeny pouze jeho konstrukcí. Dron lze doplnit ochranou klecí, která zajistí, že nedojde k poškození dronu při srážce se skenovanou budovou. Tato klec ochrání celé zařízení až do rychlosti nárazu 16 km/h. Použitím dronu mnohokrát snížíme dobu potřebnou ke sběru dat. Drony můžeme využít i v oblastech, ve kterých je nebezpečné použít letadlo. Nedílnou součástí je online přístup ke skenovaným datům.

V praxi lze poukázat na skenování památkově chráněné stavby sv. Cyrila a Metoděje za pomoci dronu. Skenování provedla společnost DigiTry Art. Digitalizace začala UV latinizačním a geofyzikálním průzkumem, dále následovalo 3D skenování. Po zaměření a zpracování dat byl vytvořen 3D model.



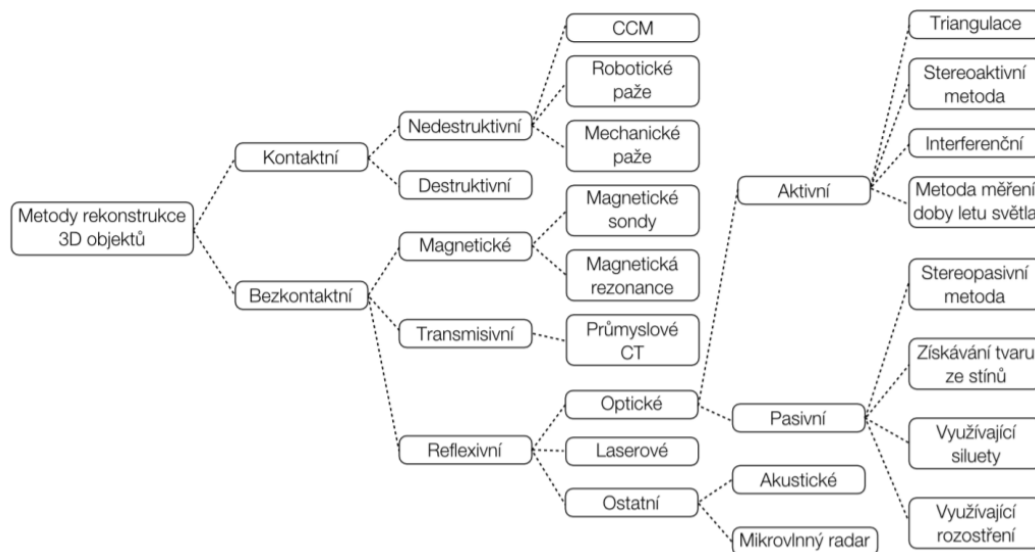
Obr. 1: Skenování DigiTry Art. [1]

3. 3D SKENERY

Jsou zařízení používající se k zachycení tvarů objektů k převedení do elektronické podoby, která je důležitá pro další počítačové zpracování. V široké škále případů je metoda snímání založena na skenování jednotlivého počtu bodů povrchu objektu. S využitím těchto bodů je dostupný software schopen objekt zrekonstruovat na základě extrapolace nasnímaných bodů. Tyto body můžeme získat různými technologiemi skenování. Od použité metody skenování se nazývají jednotlivé typy skenerů, jako jsou například mechanické, optické, rentgenové nebo ultrazvukové. V praxi se nejvíce setkáme s nedestruktivní metodou skenování, která skenovaný objekt nezničí. Každá z těchto metod má svoje klady a zápory, proto je důležité volit vhodnou metodu i vhodné skenovací zařízení. Nasnímané 3D modely mají uplatnění v široké škále vědních a technických oborů.

Dělení skenerů

Hlavním kritériem pro rozdělení skenerů je to, zda se jedná o skenování kontaktní nebo bezkontaktní.



Obr. 2: Dělení technologií 3D skenování. [4]

3.1 Kontaktní skenery

Destruktivní skener

Skenovaný předmět je při použití této technologie nenávratně zničen. Používá se u objektu se složitější vnitřní geometrií. Před zahájením skenování je objekt pokryt speciální kontrastní látkou. Následuje uložení předmětu do komory, vyčerpání vzduchu a vytvoření vakua. Tento krok se provádí hlavně z toho důvodu, aby se kontrastní látka dostala do dutin objektu. Samotné skenování probíhá tak, že se objekt upevní ke frézovacímu stolu. Uvnitř zařízení je fréza, která postupně odřezává ultratenké vrstvy materiálu. Vše je doprovázeno optickým skenováním. Doba skenování závisí na nastavení rozlišení skeneru. Tato metoda je vhodná pro plast, litinu, mosaz a antikorozi oceli.

Nedestruktivní

Hlavní výhodou těchto skenerů je to, že nedochází k poškození skenovaného objektu. Do této kategorie spadá většina skenerů kontaktních skenerů. Jak už z názvu vyplývá, jedná o skenery využívající ke skenování objektu kontakt. Ve většině případů se jedná o kuličkovou sondu, která je schopna snímat 3D data z fyzického objektu. Před zahájením skenování je velmi důležitá výstupní kalibrace. Zařadit sem můžeme tyto skenery:

CMM (coordinate measuring machine)

Využívají se především pro měření jednotlivých součástí. Jedná se o souřadnicový systém, který zajišťuje komplexní měření předmětu. CMM stroje jsou velmi využívané v oblasti kontroly kvality výrobků. Srdcem zařízení je souřadnicový systém s nástrojem snímající pohyb po skenovaném předmětu. Klíčovou částí systému je pohyblivá konstrukce, měřicí systém, měřicí hlava a v neposlední řadě software.

Skenery s mechanickou paží

Skenování je založeno na mechanickém sledování objektu, výhoda této metody spočívá v rychlosti skenování a přesnosti. Skenery se sférickým souřadnicovým systémem disponují měřicím ramenem. Po natažení měřicího ramene lze s ramenem ve všech směrech pohybovat. Rameno je ve většině případů vyrobené z lehké slitiny hliníku. Měřicí rameno můžeme vybavit různě dlouhými a širokými sondami.

Skenery s robotickou paží

Jedná se o totožnou metodu jako je skenování s mechanickou paží, ovšem zde se jedná o automatizovanou metodu.

MetraScan – 3D-R

Tento systém pro skenování spojuje skener společnosti Creaform a robotickou paží. Technologie může být velmi jednoduše implementována do výroby nebo kontroly jakosti. Zaručuje přesné a rychlé měření. Zařízení disponuje duálním senzorem C-Track780, který zajišťuje hlídání polohy skeneru a paže. Zařízení je dostupné ve dvou verzích s menší a větší skenovací hlavou. Menší skenovací hlava skenuje výrazně pomaleji, avšak s větším rozlišením. Naopak je tomu při použití větší hlavy, u které dosáhneme menšího rozlišení s výrazně vyšší rychlostí skenování. Skener MetraScan 3D-R je dodáván zákazníkovi se softwarem VxElement 3.1., který se stará o komunikaci mezi počítačem a skenerem. Díky dodávanému softwaru dokáže skener vygenerovat širokou polygonovou síť. To ho řadí mezi špičku v kontrole jakosti a automatizace procesů. Robot je vybaven CMM snímačem, který umožňuje přesnost skenování až 0,085 mm v dílenském prostředí. Zařízení se samo v průběhu používání kalibruje, neustále měří teplotu okolí a další parametry v měřicí oblasti. Na základě těchto dat dochází ke korekci. Při velmi zásadní změně korekce nebo problému zařízení samo upozorní obsluhu zvukovou signalizací.



Obr. 3: MetraScan 3D-R. [6]

3.2 Bezkontaktní skenery

Tyto skenery nevyžadují ke své funkci dotyk se skenovaným objektem. Jedná se o nejpoužívanější 3D skenery. Mezi jejich přednosti patří rychlost, přesnost a jednoduchost použití.

Dělení:

Magnetické

Jedná se o zařízení využívající magnetickou sondu či magnetickou rezonanci. S využitím magnetické rezonance dostaneme informaci o vnitřní struktuře objektu. Ve většině případů jde o přenosné zařízení, které se používají ke kontrole uzavřených nádob.

Transmisivní

Tyto skenery využívají počítačovou tomografii. Touto metodou lze získat údaje o vnitřní stavbě objektu. Lze ji přirovnat k CT zařízení používaném ve zdravotnictví. Ovšem u této metody je použito vyšší intenzity záření než ve zdravotnictví.

Reflexivní

Do těchto skenerů spadají skenery akustické, laserové a optické. Nejpoužívanější jsou ty optické. Do této kategorie můžeme zařadit i skener DAVID SLS2.

Akustické

Snímání objektu je prováděno pomocí sonaru nebo ultrazvuku. Sonda vysílá zvukové vlnění, které se převede do prostorových souřadnic. Samotný proces probíhá manuálně a jedná se o zařízení ve tvaru pistole vybavené kovovým hrotem, který se přikládá ke stěně objektu. Hlavní nevýhodou této metody je relativně malá přesnost pohybující se okolo 0,5 mm.

Optické

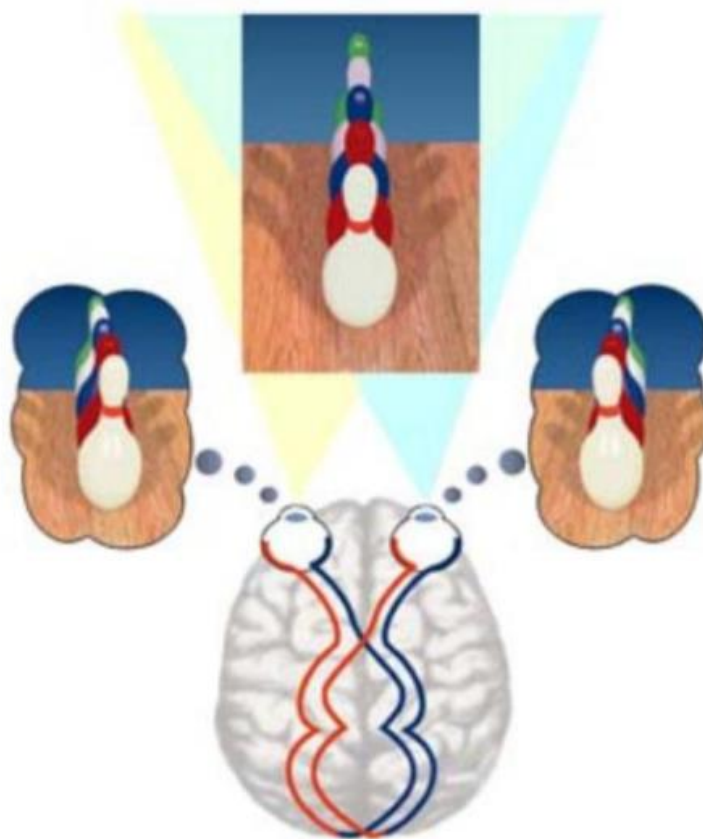
Využívá skenování z několika úhlů za pomoci optického záření. Ke změně úhlu dochází buď rotací objektu kolem různých os nebo změnou polohy snímací kamery. Digitalizace probíhá za pomoci složitých algoritmů. Výsledkem je počítačový model seskládaný z bodů, polygonů a křivek.

Pasivní metody

V této metodě skenování není zahrnut světelný zdroj, základní princip je nasnímání minimálně dvou různých snímků. Mezi pasivní metody patří:

Stereo vidění

Princip stereo vidění je založen na pořízení dvou snímků z různých úhlů. Klasickým příkladem této pasivní metody je lidské vidění [4]. Levé a pravé oko vidí pozorovaný předmět z jiného úhlu, kdy se na sítnici levého a pravého oka vytváří rozdílný obraz. Oba dva obrazy budou tím více rozdílnější, čím bude pozorovaný objekt blíže.



Obr. 4: Stereo vidění lidského oka. [2]

Kamery, případně lidské oči při pozorování objektu svírají konvergenční úhel. Tento úhel bude větší, čím objekt bude blíže. Při složení těchto obrazů vzniká horizontální paralaxa, což je maximální mez, kdy dokáže mozek spojit dva snímky v jeden. Tato mez je asi 40 – 50 mm.

Stereo vidění nastává pouze u člověka, který má obě oči zcela zdravé. Při skládání obrazu si lze pomoci dalšími pomůckami jako jsou například vzdušná perspektiva, přirozená perspektiva nebo vržené stíny. Přirozený stereoskopický efekt lze nahradit pozorováním umělým za pomoci dvou kamer ,nebo jedné kamery umístěné postupně v různých úhlech od zkoumaného předmětu. Osy záběru by měly být zhruba rovnoběžné. Výška kamery by se neměla výrazně změnit. Nesmí dojít ani k záměně snímků, levý za pravý a naopak.

Analýza pohybu

Jedná se o záznam pohybu objektu v obrazové rovině snímače. Tato metoda je založena na redukci spojitého 3D signálu získávaného kamerou nebo snímačem na diskretní 2D signál. Při analýze může docházet ke ztrátě informací vlivem skutečného pohybu v prostoru i času, za přispění kvantizace a vzorkování. Při používání analýzy pohybu se můžeme setkat s aperturním problémem, který způsobuje nejednoznačné posunutí v obraze.

Zoomování

Použití metody je vhodné pouze v případě, že je zde schopnost zajistit vzájemné propojení obou kamer. Na základě propojení dokážeme obě kamery synchronizovat z časového hlediska. V naprosto totožném okamžiku dokážeme pořídit snímek z obou kamer a ještě synchronně zzoomovat. Zoomování spočívá ve změně ohniskové vzdálenosti. Špatná nebo nedokonalá synchronizace obou kamer nám dokáže při rekonstrukci obrazu přidělat spoustu práce.

Využití siluet

Metoda využívá detekce hran pozorovaného objektu. Samotná detekce probíhá jak ve svislých, tak vodorovných rovinách. V některých případech se používá korelační metoda, která najde významné body a na základě těchto bodů vytvoří algoritmus pro skenování hran. Snímky se pořizují jak ve viditelném spektru, tak i v infračerveném.

Změna ohniskové vzdálenosti

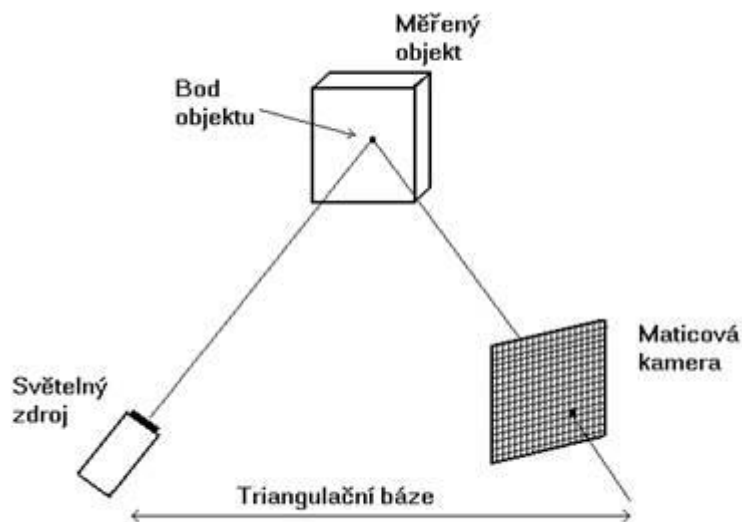
Klíčovým parametrem metody je hloubka ostrosti a průměr kruhu vzniklého difrakcí v ohniskové rovině. Průměr kruhu závisí na ohniskové vzdálenosti a numerické apertuře. Ke zmíněné metodě lze zařadit další techniky jako je konfokální mikroskopie, kontrolované fokusování a rozkusování. První zmíněná metoda je založena na dvojitě prostorové filtraci skenovaného objektu i osvětlení do ohniskové roviny za pomoci malého otvoru. Snímač vidí pouze osvětlené body v ohniskové rovině. K získání dat je důležité skenování ve třech osách nebo použití maticového snímače. Kontrolované fokusování spočívá ve skenování roviny s pevnou kontrolou třetího rozměru.

Stínování

Jak je patrné z názvu, metoda využívá stínů vržených předmětem. Určují se normály povrchu z ozáření, stíny a odlesky. Pro tuto metodu je velmi důležité znát přesně pozice kamery a zdrojů světla. Z těchto získaných dat jsou pak vypočteny 3D modely. Techniku je možno rozšířit o použití obrazů s pohyblivými zdroji světla, nebo odrazy světla s různou intenzitou osvětlení.

Aktivní metody

Oproti pasivním metodám je zde dodáván určitý druh energie, může se jednat o světlo nebo elektromagnetické záření. Princip spočívá ve fotogrammetrické rekonstrukci skenovaného předmětu. Objekt je po celém jeho povrchu nasvícen specifickým světlem a zároveň snímán snímačem anebo kamerou. Snímač spolu se zdrojem světla a osvětleným bodem na zkoumaném předmětu tvoří triangulační trojúhelník [5]. Spojnici snímače a světelného zdroje nazýváme základnou triangulační báze. Na straně světelného zdroje je úhel, který se svírá s triangulační základnou a je neměnný. Na straně snímače je tento úhel určený změnou pozice na CCD snímači. Ze známé velikosti tohoto úhlu a znalosti triangulační základny můžeme vypočítat z-ovou souřadnici.



Obr. 5: Triangulační trojúhelník. [3]

Na základě typu nasvícení dochází k dělení: světelný paprsek – 1D, světelný pruh – 2D a strukturované světlo – 3D. Pokud dojde k nasvícení objektu pomocí světelného svazku – 3D triangulace, je celý objekt nasvícený najednou, a to je obrovská výhoda proti metodám 1D a 2D. Při použití 1D a 2D triangulace je potřeba pracně a velmi zdlouhavě zpracovávat scénu.

4. METODY DIGITALIZACE

Největším problémem v oblasti 3D skenování je získávání zpravidla Z-tové souřadnice. K získávání tohoto třetího rozměru se používá těchto metod:

Měření doby letu světla (Time of lighting)

Od doby vyslání paprsku k jeho odražení, až po dopad na snímač můžeme zjistit dobu, kterou paprsek urazil. Z této známé doby se dá vypočítat vzdálenost od detektoru ke skenovanému objektu. Zásadním problémem této metody je to, že vychází z rychlosti světla. Tudíž je zde požadavek na vysokou přesnost měřicího systému a omezení vycházející z limitování měřené vzdálenosti.

Optická interferometrie

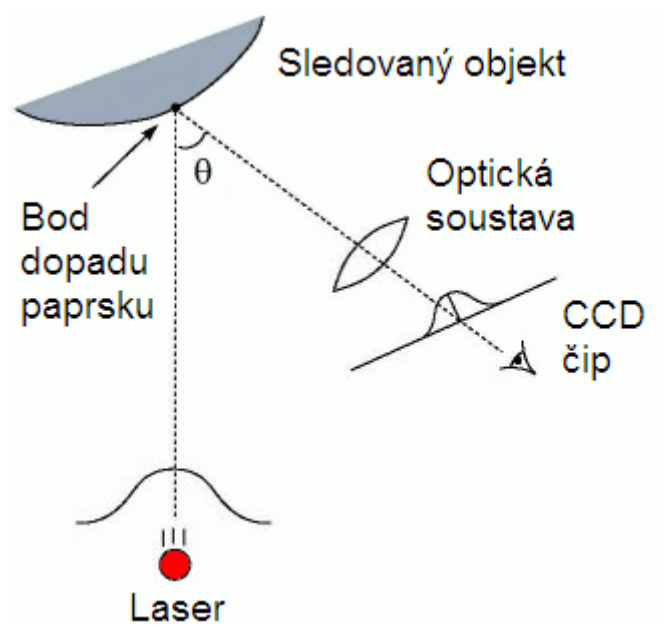
Metoda spočívá v principu měření doby letu koherenčního záření. Výsledným snímačem může být například fotodioda, která zachycuje vlnění světelného měřicího paprsku, tedy přesně řečeno jeho dvě složky – měřicí a referenční. Před foto snímačem je použit polarizační dělič a odražeč, který filtruje tyto dvě vzájemně interferující složky.

Triangulace

Pokud je řeč o triangulaci, jedná se o tři prvky v sestavě – zdroj záření, povrch skenovaného objektu a koncový snímač. Metody triangulace lze rozdělit na aktivní a pasivní.

Aktivní triangulace

Základem je aktivní zdroj záření, snímač CCD a skenovaný objekt. Toto uspořádání se nazývá triangulační trojúhelník. Dále se můžeme setkat s pojmem triangulační báze – což je vzdálenost mezi světelným zdrojem a snímačem. Úhel, který je mezi světelným paprskem a triangulační bází je neměnný, zatímco úhel svírající triangulační bázi a paprsek dopadající na snímač je závislý na místě odrazu paprsku od skenovaného předmětu. Z těchto informací lze vypočítat Z-ovou souřadnici. V závislosti na použitém zdroji záření rozlišujeme tři typy aktivní triangulace: 1D, 2D a 3D triangulace. Jak je z názvu patrné, tak 1D triangulace je založena na měření bod-bod. 2D triangulace je založena na pruhu bodů a 3D na snímání celého povrchu najednou.



Obr. 6: 1D triangulace. [3]



Obr. 7: 3D triangulace. [3]

Pasivní triangulace

Z této metody je vyřazen aktivní zdroj záření, neznáme tedy parametry zdroje záření ani geometrické uspořádání mezi zdrojem a snímačem. Ve většině případů se jedná o kombinaci více snímačů. Hlavní nevýhodou této metody je vliv okolního prostředí, a to negativní vliv osvětlení – přexponování. Nejpoužívanější metodou pasivní triangulace je stereo vidění využívající stejného principu jako lidský zrak. Ze dvou CCD snímačů se získává třetí rozměr. Výstupy této metody však mohou mít v některých případech neostré hrany a textury. Oproti tomu se jedná o jednu z nejlevnějších metod 3D skenování, ovšem na úkor kvality.

5. VÝBĚR 3D SKENERU

Pokud dojde na pořízení 3D skeneru, je potřeba si ještě před finálním výběrem zodpovědět na tyto klíčové otázky, které nám pomůžou s nákupem skenovacího zařízení: základním kritériem pro výběr zařízení je velikost skenovaného modelu. Pokud se jedná o skenování menších částí, lze předpokládat, že k tomuto skenování bude docházet uvnitř budovy někde v kanceláři. Na druhou stranu, pokud bude docházet k používání skeneru ve venkovních podmínkách, je potřeba přizpůsobit tomu i finální výběr. Pro venkovní prostředí je důležitá velikost snímaného objektu, ve většině případů se bude nejspíše jednat o stavby. Zde se nám promítá další důležitý parametr pro výběr skeneru, a to je doba skenování. Při použití dronu nebo letadla lze dobu skenování výrazně zkrátit, avšak za cenu vyšších finančních nákladů. Pro používání skeneru ke kontrole jakosti výrobků je doba skenování taktéž důležitá, hlavně v případech, jedná-

li se o pásovou výrobu. Při pásové kontrole výrobků je vhodné vyřadit z tohoto procesu lidský faktor a použít tak plně automatické zařízení nevyžadující obsluhu. Oproti tomu při jednotlivém skenování objektů, které povede k dalšímu zpracování, je lepší sáhnout po manuálním skeneru. Tento skener nám umožní se zaměřit na problematické místa. V tomto případě je důležité pamatovat i na další zpracování a zajistit kompatibilitu výstupu s konstrukčním programem.

Na základě těchto kritérií lze doporučit komerčně dostupný skener, kdy se cena nejlevnějších skenerů pohybuje v řádech tisících korun, ovšem jejich parametry jsou pro mnohé účely nedostatečné. Průměrně výkonný 3D skener jde na českém trhu pořídit za zhruba 80 tisíc korun.

6. LASEROVÉ SKENOVÁNÍ V PRAXI

Je založeno na principu měření vertikálního i horizontálního úhlu a počítání prostorové vzdálenosti. V horizontální rovině zajišťuje vychylování paprsku přesný krokový motor. O vychylování laserového paprsku ve vertikální rovině se stará rotující zrcadlo nebo hranol. Na základě známé doby letu laserového paprsku se vypočítá vzdálenost jako rozdíl mezi dobami vyslaného a přijatého paprsku. Laserové skenery disponují malou rotační základnou, díky ní je možno skenovat široké okolí.

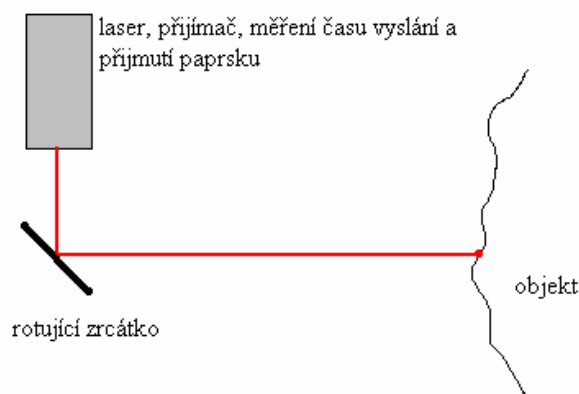
Cena těchto skenerů se pohybuje v řádu několik milionů korun, na českém trhu disponují těmito skenery například tyto instituce: Callidus, Optech a Riegl. V praxi existují dvě modifikace laserového skenování:

1, přímé měření vzdálenosti

- měří se čas mezi vysláním pulzu a přijmutím odrazu

2, porovnávání fáze

- laserový paprsek je modulován harmonickou vlnou, vzdálenost se vypočítá jako fázový rozdíl mezi přijatou a vyslanou harmonickou vlnou



Obr. 8: Princip laserového skeneru (přímé měření). [3]

Dnes jsou již všechny dostupné laserové skenery vybaveny moderní digitální kamerou, disponující vysokým rozlišením, která umožňuje možnost kalibrace. Některé skenery jsou vybaveny nadstavbovým GPS modulem, který je důležitý pro přesné určení polohy skeneru. Většina zařízení zaznamenává navíc ještě hodnoty odrazivosti od jednotlivých předmětů, tato informace se využívá při zpětné rekonstrukci.



Obr. 9: Bélepátfalva, Maďarsko dokumentace kostela. [18]

Letecké laserové skenery

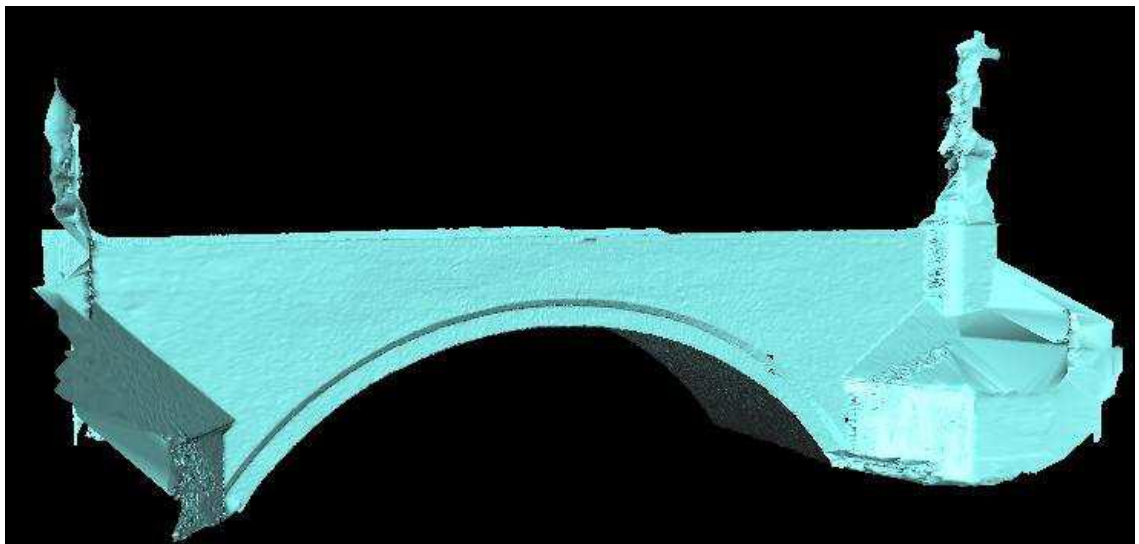
Letecké skenery jsou založeny na stejném principu jako skenery pozemní. Disponují skenerem s rotujícím zrcátkem, případně hranolem. Zásadní rozdíl spočívá v umístění skeneru a jeho dynamickém pohybu. S přihlédnutím na nepravidelnost letu je potřeba získat velmi přesnou informaci o poloze skeneru. Získání této informace zajišťuje modul GPS doplněný o IMU. IMU (inertial measurement unit) je zařízení obdobné GPS. Oproti GPS obsahuje jeden či více typů snímačů, jako jsou gyroskop, akcelometr, magnetický a tlakový snímač. Získávání polohy z takového snímače je tak přesnější než z GPS. Hustota získaných bodů závisí především na výšce letu. V normálních podmínkách lze dosáhnout rozlišení okolo 20 cm a přesnosti v desítkách centimetrů. Letecké laserové skenery se využívají především pro získávání dat pro tvorbu 3D modelů měst a dále také digitálních modelů terénu.

Praxe

Jako příklad skenování z praxe lze uvést postup skenování klenby Staroměstské věže Karlova mostu. Skenování provádělo ČVUT FSV (katedra mapování a kartografie). Ke skenování byl využit panoramatický skener Callidus 1.1. se softwarovým vybavením od firmy Trimble. V laboratoři ČVUT používají následující postup:

- 3D extraktor – převod souřadnic
- RealWorks – spojení skenů
- 3Dipsos – filtrace mračna bodů, tvorba „mesh“, vyhodnocení a úprava hran

Samotný sběr dat trval okolo 30 minut a celkem bylo nasbíráno přes milion bodů. Poté následovalo zpracování naměřených dat včetně filtrace a spojování skenů. Tato operace patří k těm náročnějším a zabere zkušenější obsluze zhruba půl dne práce.



Obr. 11: Klenba Karlova mostu v Praze. [18]

Fotogrammetrie ve zdravotnictví

Rozmach technologií v oblasti fotogrammetrie se nevyhnul ani zdravotnictví. Jednosnímková, která v posledních letech zasahuje digitální fotogrammetrie je reprezentovaná systémem FOTOM^{NG}. Tento systém je vyvíjen na katedře Informatiky FEI VŠB Technické Univerzity Ostrava. Jedná se o systém umožňující analyzovat snímky a objekty různých charakterů. Systém dále disponuje moduly, které umožňují kalibrace snímku a transformace objektů, 2D animace měření, 2D modelování a modul umožňující fúzi několika snímků se stejnými objekty a vytvoření jednoho kvalitního snímku a korekce 2D objektů.

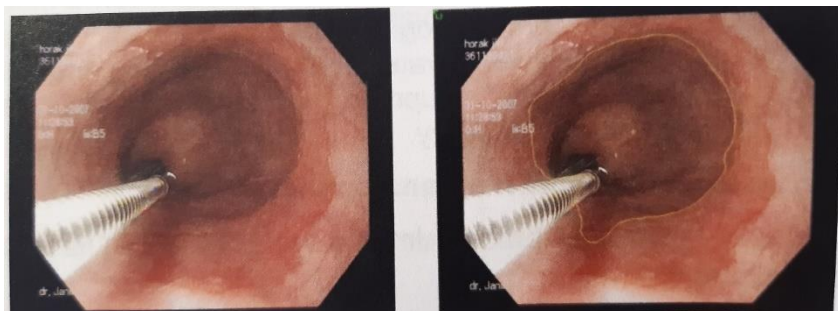
System FOTOM 2008 je tvořen několika moduly:

- Fotom1: Modul definuje zájmové modely, identifikuje objekty na snímku a umožňuje dále sledovat změny. Modul disponuje funkcí definice bodů, hran, vrcholů, kružnice a elipsy.
- Fotom2: 2D modelace a měření. Tímto modulem je možné ve 2D zobrazení porovnávat dvě měření a sledovat odchylky. Je možné měřit vzdálenosti mezi středy sledovaných objektů, proměřovat nasnímané objekty a za pomoci vhodného softwaru tyto změny vykreslovat. Změny lze zaznamenat například ve formě grafu nebo porovnávat vůči výchozí hodnotě.
- Fotom3: Tento modul slouží především pro 3D vizualizaci měření. Ze série snímků se sestaví 3D model. S tímto modelem lze dále pracovat a provádět měření, která nejsou možné v 2D modelech.
- Fotom4: Tento modul disponuje animací procesů. Umožňuje prezentovat měření jiným způsobem. Snímky jsou přetransformovány dle referenčních bodů. Výsledná animace tak závěrem obsahuje průchod objektem.
- Fotom5: Rozpoznávání zájmových bodů. Automatická funkce sledování předem definovaného objektu. Za přispění vhodných algoritmů je nalezen předem definovaný objekt v nově pořízeném snímku.

Na jádře systému FOTOM 2008 byl později postaven nový systém FOTOM^{NG}. FOTOM 2008 byl sestaven jako jednoúčelový a nepočítalo se s dalším vývojem. Nová architektura systému byla postavena na modulárním systému. Tento systém umožňoval rozšiřování a získávání nových aktualizací. Systém je programován v jazyce C ve vývojovém prostředí Netbeans.

Metoda snímkování a měření důlních děl představuje jedno snímkovou metodu využívající současně dvě světelné roviny. Na každém snímku jsou vyobrazeny dvě vodorovné roviny vzdálené od sebe o konstantní délku. Ve výchozím profilu dojde k nastavení tak, aby vyšší z rovin byla v úrovni výchozího profilu. V profilu nastavíme dva body a určíme jejich polohu. Po expozici bude na snímku zobrazen nejen výchozí profil, ale i následující. Tento postup se opakuje v celé hloubce.

System s označením FOTOM^{MG} plně nahrazuje aplikace FOTOM 2008. Byly vyvinuty nové moduly: kalibrace, transformace, 2D animace, 3D modelování. System FOTOM^{MG} je rozsáhlý a poměrně složitý ucelený nástroj pro práci se snímky. V současnosti jsou vyvíjeny další moduly.



Obr. 12: System FOTOM. [17]

Další odvětvím, kde se vykytuje 3D skenování je tvorba protéz, například protéz v podobě končetin nebo obličejových částí. Lidské tělo je symetrické kolem své osy. Využívá se naskenování zdravé části těla. Po důkladném nasnímání zdravé a chybějící části dochází k složitým simulacím. Základem je zrcadlové otočení pořízených modelů. Na základě získaných dat dojde k návrhu a následné konstrukci. V prvotní části výroby se může vytisknout model na 3D tiskárně. Po otestování modelu lze přikročit k výrobě ze složitějších a odolnějších materiálů.

S 3D skenováním se lze setkat i v dentální oblasti. Například proces vytvoření můstkové náhrady. Nejprve dojde k naskenování čelisti pacienta intraorálním skenerem, nebo je skenerem naskenován až sádrový odlitek z otisku čelisti. Tyto data jsou následně zpracována ve speciálním programu, se kterým již pracuje zubní laborant. Ten vytvoří model budoucího můstku tak, aby co nejlépe nahrazoval původní chrup a co nejlépe zapadal do celku. Správnost modelu si následně ověří vytisknutím na 3D tiskárně. Pro tyto účely je vhodnější použít SLS tiskárnu. Ta pracuje na základě vytvrzování pryskyřice pomocí UV světla. Tiskne se i samotný koncový produkt a používá se keramického kompozitního materiálu od německého výrobce Detax. Tisk probíhá ve světelném spektru 385 nm. Výtisk si zachovává svou biokompatibilitu a neohrožuje lidské zdraví.

Dentálním tiskem je možné vyrobit neviditelná rovnátka, dlahy, chrániče zubů pro sportovce anebo například snímatelné náhrady. V České republice se tímto tiskem zabývá pouze firma Cotu. Všechny ostatní laboratoře používají fotocitlivé pryskyřice, které ještě nejsou dostatečně prozkoumány a mohou mít negativní vliv na lidské zdraví. Až ve třetině stomatologických laboratořích se používá zastaralá metoda výroby náhrad. Jedná se o náročnou ruční práci s kladením důrazu na kvalitu. Přesností se tyto zastaralé metody nemohou ani zdaleka přiblížit moderním. [14]

7. SKENER DAVID SLS2

David SLS2 je 3D skener, který využívá inovativní technologie Structured light – ta umožňuje pořídit sken během několika vteřin. Jedná se o mobilní zařízení, ke kterému je dodáván intuitivní software DAVID a bohaté příslušenství s potřebnou kabeláží a stativ.

Postupem času došlo k prodeji projektu David SLS2 společnosti HP. Ta přišla s aktualizací ovládacího softwaru a nazývá jej HP 3D Scan Software Pro. Uživatel, který zakoupil skener s ovládacím programem David, může provést zdarma upgrade na HP 3D Scan Pro. Tento software poskytuje kompletní řešení pro vytváření 3D modelů. Instalace je dostupná na přiloženém USB disku i s licenčním kódem. Po úspěšné instalaci a zapojení skeneru do počítače, je nutné nainstalovat přiložené ovladače pro kameru a projektor. Nyní je možné spustit samotný software. V úvodním menu je důležité vybrat ze seznamu připojený skener a kameru.

Následuje proces kalibrace pomocí kalibračních panelů. Dále je již možné přistoupit ke skenování. Objekt umístíme před skener a namíříme na něj projektor tak, aby osvětloval povrch předmětu. Důležité je se ujistit, že je celý objekt osvětlen s co nejmenším přesahem osvětlení mimo objekt. V dalším kroku je důležité se zaměřit na obraz snímáný kamerou. Skenovaný předmět musí být snímáný v celém rozsahu. Pokud tomu tak není, je nutné posunout skener blíže nebo dál od objektu. V případě, že uživatel není ani po tomto kroku spokojený s nasnímanou expozicí na obrazovku, může změnit vzdálenost kamery od projektoru. Po tomto kroku je nutné provést znovu celou kalibraci. V podmenu „camera control“ a „projector control“ může obsluha projektoru měnit parametry expozice kamery a jas projektoru. Toto nastavení se volí tak, aby na skenovaném objektu byla co nejlépe promítnuta šachovnice. V náhledu kamery je špatné nastavení zvýrazněno červenou barvou. Červená barva se toleruje na pozadí a okolo skenovaného objektu. V procesu skenování jsou tyto hodnoty vyobrazeny červenou křivkou. Křivka by měla být sinusového průběhu a nesmí přesáhnout modré linie. Pokud červené křivky přesahují modré čáry již při prvním skenu, může pomoci zatemnění místnosti.

Nabídka skenování poskytuje široký rozsah funkcí od nastavení parametrů skenování, po zachycování textur, až k filtrování a exportu dat. V nabídce skenování je nutné vybrat jeden z předdefinovaných profilů, anebo si vytvořit vlastní. V nabídce jsou profily, kde se klade důraz na kvalitu skenování nebo na rychlost. Po stisku tlačítka start probíhá skenování. Pořízení jednoho skenu trvá od 2 do 4 sekund v závislosti na zvoleném profilu. Po dobu skenování promítá projektor na objekt sadu vzorů. Pokud je v nabídce zvoleno získávání textur, projektor promítne na objekt škálu barevných vzorů. Na základě toho získá textury.

K dispozici jsou čtyři skenovací módy: single, automatic turntable, manual a background scan mode. Režim single umožňuje pořídit jeden samostatný sken a poté ho importovat do seznamu skenů. Automatický režim je funkční pouze s originálním příslušenstvím, které je možné ke skeneru dokoupit. Nejpoužívanějším módem je manual. Z podseznamu se volí požadovaná rotace objektu. Povolením možnosti „Auto next scan“ je možno zachytit několik skenů za sebou. Pokud nedojde za určitou dobu k pohybu nebo rotaci objektu pořídí se automaticky sken. Výběrem správného typu rotace objektu pomůžeme softwaru s finálním zarovnáním skenů. Na výběr jsou následující rotace: volný pohyb, pohyb na stole a manuální otočný stůl. Při volbě volného pohybu může obsluha otáčet objektem libovolně ve všech osách. Pohyb objektu na stole je nejpoužívanějším režimem při skenování. Objekt lze posouvat libovolně po stole a kolem své osy. Nelze však objekt naklonit. Manuální otočný stolek je režim, kdy je objekt umístěn na rotační stůl. Objekt nelze přesunout ani natočit. Pokud je známý úhel natočení, lze tuto informaci doplnit. Pokud uživatel chce odstraňovat ze skenů pozadí, je důležité před započítím skenování pozadí nasnímat za pomoci background scan mode.

Po dokončení skenování lze provést několik dalších kroků za pomoci filtrů. Rozšířené zobrazení umožní využít stereovidění, tato funkce je k dispozici pouze když jsou připojeny dvě kamery. Vyhlažovacím filtrem je možné vyhladit výsledek

skenování. Tento filtr se však příliš nedoporučuje. Pokud máme na skenu hluché nebo nejasné místo, je doporučeno nasnímat problematickou část znovu. Filtr kontrola kvality odstraní skenovaná data, která jsou pravděpodobně nepřesná. Tato data mohou být na okraji skenů nebo na přechodech mezi tmavými a světlými místy. Doporučená výchozí hodnota filtru je 0,5. Odstranění pozadí je další nástroj, který odstraňuje z každého skenu nežádoucí pozadí, ve výchozím nastavení je zapnutý.

V 3D prohlížeči naskenovaného objektu je možnost otáčet již vytvořeným modelem, přibližovat, oddalovat objekt a ručně odstranit nežádoucí části. Nabídka Shape Fusion poskytuje funkce pro čištění, zarovnání a sloučení více skenů do jednoho modelu. Sloučený objekt lze poté exportovat do různých formátů, které se používají v 3D tisku. Pokud automatické zarovnání nenajde optimální řešení, lze výrazných bodů na objektu zarovnat skeny ručně. Při aktivovaném výběru kontaktních míst je okolo ukazatele myši červený kruh. Velikost této kružnice definuje velikost kontaktní oblasti. Pokud je potřeba označit kontaktní oblasti velmi přesně přiblíží se myši. Pro hrubé zarovnání se vybraná oblast myši oddálí. Po úspěšném zarovnání se doporučuje vybrané skeny zkombinovat a sloučit v jeden. Vybrané skeny se označí a pravým tlačítkem se provede volba kombinovat skeny. Seskupení skenů je možné stejným způsobem zrušit. Nakonec je nutné spustit automatické zarovnání, aby se zarovnaly i ostatní pořízené skeny.



Obr. 13: 3D skener David SLS. [5]

Skener dokáže zdigitalizovat objekty o velikosti 60–500 mm. Výrobce uvádí, že maximální rozlišení skenované oblasti je až 0,06 mm. K pořízení jednoho záznamu jsou potřeba zhruba 2–4 sekundy. Hustota skenování v nejvyšší kvalitě odpovídá asi 1 200 000 vrcholům na jeden pořízený snímek.

Software požaduje naskenovat objekt minimálně ze čtyř stran a poté je dokáže zkombinovat do uzavřeného 360° modelu. Hardwarové nastavení umožňuje skenovat

různé velikosti objektů. Výsledky mohou být vyexportovány v následujících formátech: obj., stl., ply.

V balení nalezneme kameru s vysokým rozlišením, videoprojektor, stativ, kalibrační panely a stínítko. Pro připojení k počítači slouží dva USB a jeden HDMI nebo VGA port.

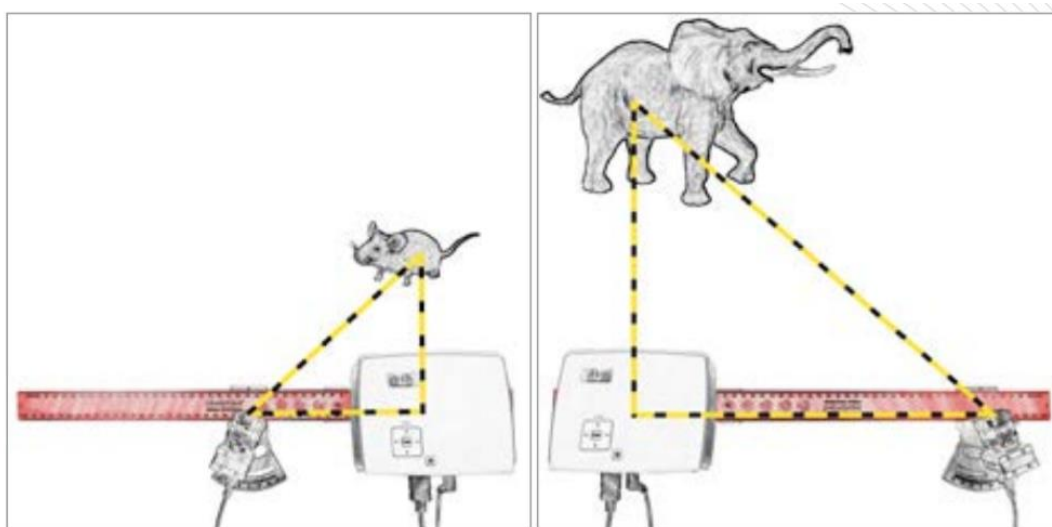
Zařízení je možné doplnit o duální kameru, která výrazně zlepšuje přesnost, kvalitu a rychlost celého skenování. V základním balení ji však nenajdeme a výrobce ji dodává jako upgrade zařízení. Celková cena skenovacího systému tak vzroste o 30 000 Kč.

Umístění kamery

V závislosti na velikosti objektu je třeba dbát na vhodné umístění kamery vedle projektoru.

Tab. 1: Pozice kamery.

Velikost skenovaného objektu	Pozice kamery
<110 mm	Vlevo od projektoru
110–350 mm	Volitelně, vhodné spíše nalevo
> 350 mm	Vpravo od projektoru

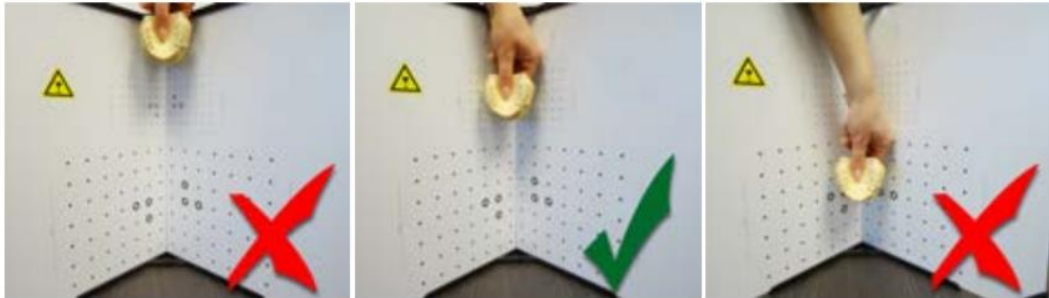


Obr. 14: Nastavení kamery. [5]

Kamera by měla směřovat na skenovaný objekt pod úhlem 22° . U velmi velkých objektů nebo u objektů s velkými dutinami může být úhel natočení menší než 22° . Úhel menší jak 20° může vést ke snížení kvality skenování. Naopak úhel natočení větší než 30° může pomoci u skenování velkých objektů ovšem tyto objekty by neměly disponovat velkými dutinami.

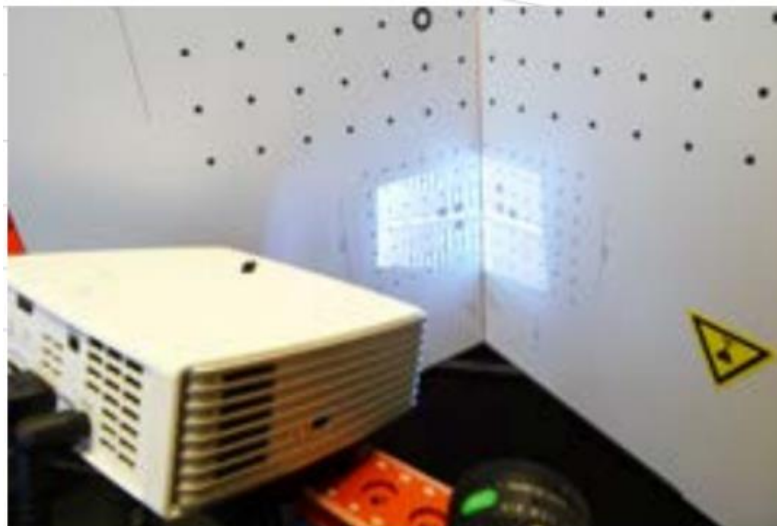
Kalibrace

Kalibrace skenovacího systému probíhá za pomoci skleněných kalibračních desek, které jsou součástí balení. Po sestavení kalibračního panelu jej položíme na rovinu a upevníme do fixačních rohů zaručujících úhel otevření 90°. V dalším kroku vybereme vhodný kalibrační vzor, který vybíráme na základě velikosti skenovaného objektu. Vybraný vzor by měl být o něco větší než objekt. Pro objekt větší jak 280 mm použijeme kalibrační vzor, který se nachází na zádech kalibračního panelu.



Obr. 15: Výběr kalibračních značek. [5]

Odstraníme skenovaný objekt a kalibrační desky umístíme před sebe, snažíme se dodržet stejnou vzdálenost mezi kamerovou základnou a kalibračními panely. Obrázek promítaný projektorem by měl být co největší a co nejostřejší. Pro kalibraci je velmi důležité, aby bylo vidět šest kruhů umístěných na panelech. Celý obraz kamery by měl být vyplněn přibližně patnácti až sedmdesáti kalibračními značkami. Kamera by neměla vidět nic jiného než kalibrační značky na panelech. Toho lze dosáhnout pohybem panelů nebo seřízením stativu. Nemělo by docházet ke změnám vzdálenosti mezi kamerou a projektorem.

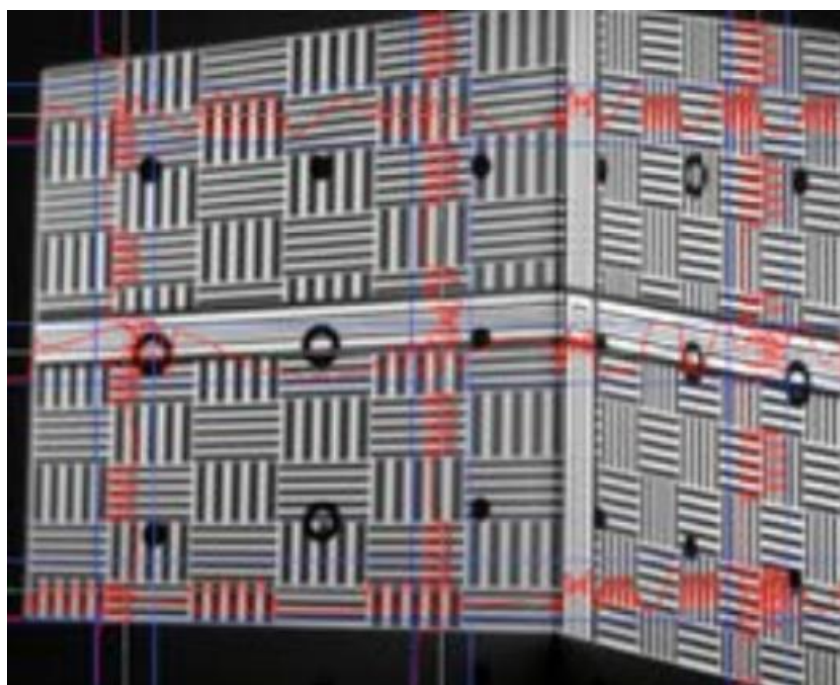


Obr. 16: Proces kalibrace. [5]

Do kolonky stupnice je potřeba zadat správnou velikost kalibračního pole. Najdeme ji na okraji vybraného kalibračního vzoru. Na monitoru poté kontrolujeme obrázek kamery, kde jsou viditelné červené křivky a modré čáry. Tyto červené křivky by neměly

dosáhnout úrovně modrých čar. Pokud dochází k přesahu červených čar snížíme jas projektoru, tímto zásahem by mělo dojít ke zlepšení.

Nyní spustíme samotnou kalibraci, v tomto kroku software nejprve změří vzájemné polohy, ohniskovou vzdálenost a nastavení pozice kamery. Poté se na kalibrační panely promítnou optické kalibrační obrazce. Pokud není v nastavení vypnuto texturování, program provede vyvážení bílé barvy. Po úspěšné kalibraci se na panely promítne šachovnicový vzor, kde by měly rohy vzoru přesně zapadat do kalibračního obrazce. Skener je v tuto chvíli zkalibrován. Tato kalibrace se týká polohy kamery a projektoru. Můžeme pohybovat se skenovací základnou, libovolně naklánět a otáčet. Pokud dojde k ukončení softwaru, nedojde ke ztrátě kalibrace. Dále lze měnit jas projektoru, a tak upravovat vyváženost červené křivky. Pokud však natočíme kameru nebo posuneme projektor na liště, musí být celý proces kalibrace proveden znovu.



Obr. 17: Křivky po úspěšné kalibraci. [5]

Skenování

Po úspěšném dokončení procesu kalibrace je možné začít se samotným skenováním. V první kroku volíme základní parametry jako je nastavení kvality a orientace snímání.

Při volbě orientace snímání je výhodné zvolit horizontální nebo vertikální. Softwaru pak trvá mnohem kratší dobu složit jednotlivé skeny ve 3D objekt. Samotné skenování objektu probíhá většinou na pracovním stole, kde je objekt nasvícený projektorem a musí být zcela zarovnaný. V průběhu skenování je doporučeno postupně data ukládat. S každým skenem vznikají tři soubory: mtl, .obj a .png.

Samotný proces skenování se spouští tlačítkem start, po pořízení prvního skenu je nutné objekt potočit, aby se plocha objektu co nejvíce překrývala s prvním skenem. Tento postup se opakuje až do doby, kdy bude objekt nasnímán ze všech úhlů.

Postprocessing

Jedná se o proces, který lze popsat jako sesazování jednotlivých skenů do 3D modelu. Tato část je časově zdlouhavá a poměrně složitá. Po osvojení základních funkcí netrvá zkušené obsluze skenování a následné složení modelu déle než pár hodin.

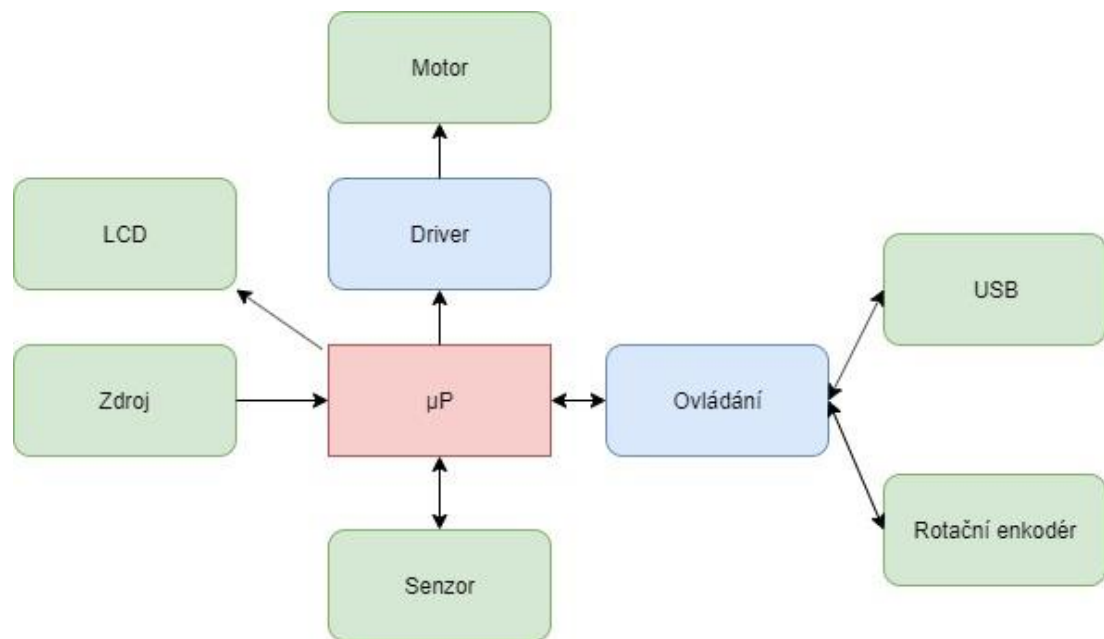
Před spojováním skenů je důležité všechny pořízené skeny důkladně očistit od nečistot a případných nedokonalostí, které by bránily softwaru v důkladném sesazování skenů. Tímto krokem se urychlí finální vytvoření 3D objektu. Samotné sesazování probíhá tak, že se porovnávají dva skeny, které byly pořízeny za sebou. Druhý sken program sesazuje s prvním a sestaví je tak, aby skeny lícovaly. Doporučuje se využít na skenech referenční body a tím urychlit dobu sesazování. Takto se pokračuje do doby, než dojde k postupnému sesazení všech skenů. Výsledná kvalita 3D objektu je závislá na preciznosti práce uživatele, který zařízení obsluhuje.

8. KONCEPT OTOČNÉHO STOLKU

Otočný stolek je doplňkové zařízení ke 3D skeneru. Použitím stolku odpadá nutnost manuálního natáčení skenovaného objektu. Nespornou výhodou je, že se skenovaný objekt otáčí kolem své osy a pro software je tak následná digitalizace o něco snazší. Stolek se připojuje k počítači přes kabel USB. Pokud se použije originálního příslušenství DAVID, dokáže software komunikovat se stolem automaticky. Řada neoriginálního příslušenství vyžaduje instalaci obslužné aplikace.

Navrhovaný stolek disponuje těmito funkcemi. Po zapnutí otočného stolku dojde k inicializaci a nastavení mikroprocesoru. Po úspěšném nastavení stolek začne hledat svoji výchozí pozici HOME. Jakmile pozici nalezne, je na obsluze, zda dá přednost ovládání přímo na stolku pomocí rotačního enkodéru nebo připojí zařízení do PC pomocí USB a bude otočný stolek ovládat přes aplikaci. Obě metody ovládání disponují stejnými funkcemi.

Výchozí menu nabízí čtyři možnosti: MANUAL, STEPS, SETTING a PC_connect. V manuálním režimu lze zvolit krok otáčení po potvrzení výběru za pomoci rotačního enkodéru stolem otáčet. Stolek se bude otáčet na stranu podle směru otáčení enkodéru. V režimu PC_connect se ovládání provádí přes PC.



Obr. 18: Blokové schéma otočného stolku.

Blokové schéma otočného stolku [13] popisuje návrh jednotlivých částí. Srdcem celého stolku je mikroprocesor, který zajišťuje komunikaci s jednotlivými bloky a uživatelem. Dále zajišťuje propojení se sensorickou částí. Sensorika se v této konstrukci využívá pro nastavení domovské pozice HOME. Ovládací část stolku je rozdělena na dva bloky: USB a Rotační enkodér. Rotačním enkodérem uživatel nastavuje krok, úhel a časovou prodlevu natáčení stolku. Přes konektor USB je realizováno propojení s PC. Pro ovládání krokového motoru je nutno použít driver. Tento driver umožňuje ovládat motor mikroprocesorem. Neposlední částí je část zdrojová, ta zajišťuje různé napájecí úrovně pro jednotlivé bloky.

Diplomová práce

V rámci diplomové práce došlo k realizaci zařízení. Práce spočívala v konstrukci elektronické a mechanické části.

Elektronická – řídicí část, která se stará o chod celého zařízení a ovládání. Srdcem je mikroprocesor z řady AVR, k jehož naprogramování lze použít mikropočítač Arduino. Pro tyto procesory je dostupná široká škála knihoven, které lze bez většího zásahu použít. Program pro mikroprocesor je psán v jazyce C, v prostředí Arduino IDE. Bylo důležité důkladně zvolit typ mikroprocesoru, aby disponoval potřebnou škálou připojovacích pinů a rozhraním. O sensoriku otočného stolku se stará Hallův snímač fungující na principu Hallova efektu. Aby obsluha stolku byla co nejjednodušší, otočný stolek disponuje monochromatickým LCD displejem. Na tomto displeji se zobrazují všechna důležitá data.

Nedílnou součástí otočného stolku je krokový motor. Pro připojení krokového motoru k mikroprocesoru z řady AVR bylo nutné použít vhodný řídicí prvek. Ovládání stolku je možno provádět ve dvou základních režimech. První možností je ovládání přímo na zařízení za pomoci rotačního enkodéru, disponujícím tlačítkem pro potvrzování výběru. Druhá možnost je pro obsluhu pohodlnější. Ovládání je realizováno přes PC aplikaci vytvořenou v prostředí Visual Studio. Komunikace mezi mikrokontrolerem a počítačem běží na rozhraní UART.

Konstrukce jednotlivých mechanických částí probíhala v softwaru Solidworks. Jednotlivé součásti stolku byly vyexportovány ve formátu .stl a následně slicovány v programu PrusaSlicer. Pro tisk komponentů je nejvhodnějším materiálem PETG. Tento materiál disponuje vhodnými mechanickými vlastnostmi pro tisk namáhaných částí. Nejvíce namáhanou částí stolku je převodovka, která zajistí vhodný převodový poměr mezi otáčkami motoru a stolkem. Celou mechanickou část otočného stolku lze v podstatě rozdělit na čtyři konstrukční díly. Vrchní deska stolku usazena na ložiscích zasazena do těla stolku. Dalším důležitým komponentem je převodové soukolí a držák Hallova snímače.

Finálním výstupem diplomové práce je rotační otočný stolek vytištěný na 3D tiskárně. Hlavním důvodem k realizaci této práce byla nákupní cena komerčně dostupného otočného stolku. Cena originálního příslušenství se pohybuje okolo 30 000 Kč. Nevýhodou tohoto výrobku je nemožnost připojení navrhnutého stolku k originální aplikaci HP 3D Scan Pro. V následující části práce je popsán postup realizace a následné testování stolku v praxi.

9. REALIZACE OTOČNÉHO STOLKU

9.1 Elektrická část

Mikroprocesor Atmega328P

Klíčovým parametrem pro výběr procesoru byl počet potřebných digitálních a analogových pinů. Těmto požadavkům vyhovovala většina dostupných mikroprocesorů. Na základě předchozích znalostí a zkušeností s procesory AVR byl zvolen mikroprocesor Atmega328P. Po základním zapojení mikroprocesoru do obvodu je k dispozici 22 digitálních a analogových pinů, což je pro tuto konstrukci naprosto dostačující. Procesor disponuje interním krystalem 8 MHz, a tak je možné jej použít i do aplikací, kde je kladen důraz na spotřebu.

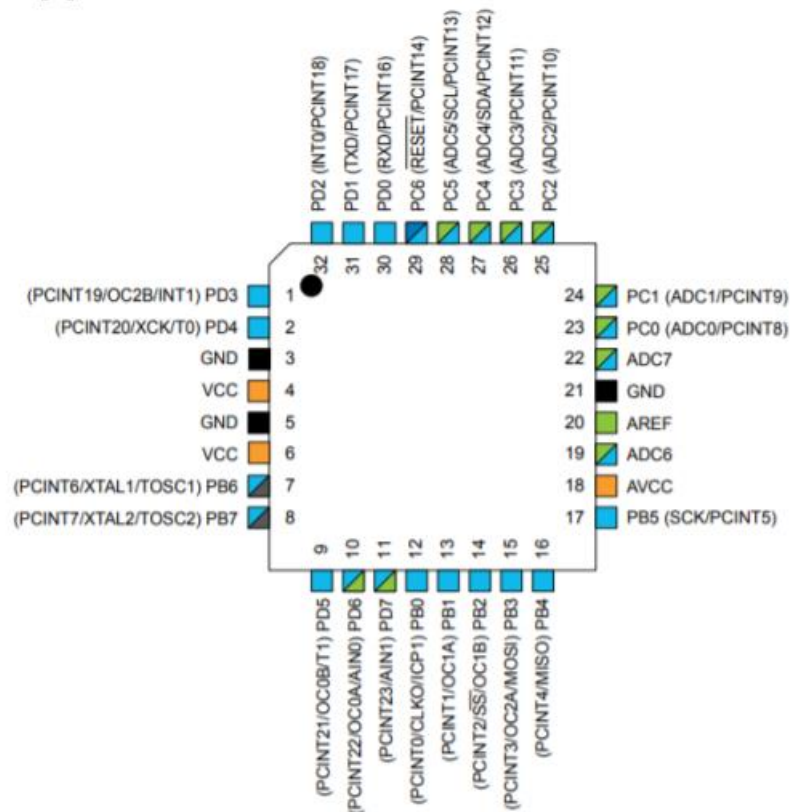
Vzhledem k realizaci a složitosti kódu byla zvolena platforma Arduino. Testování zařízení proběhlo na desce Arduino UNO. Arduino UNO je jako většina mikropočítačů Arduino osazena procesorem ATmega328P. ATmega328P je 8-bitový mikroprocesor od firmy ATMEL konstrukcí, principem ho můžeme zařadit do architektury RISC (Reduced

Instruction Set Computer). Tyto mikrokontroléry se vyznačují malou spotřebou, nízkou cenou a jednoduchostí kódu. Označení P v názvu mikroprocesoru značí, že se jedná o součástku s nízkým příkonem „picoPower“.

Firma Atmel přišla na trh s tímto procesorem již v roce 2013, běžně se používá v mnoha aplikacích a autonomních systémech, kde je požadována co nejnižší cena a vysoká spolehlivost. Mezi nejrozšířenější obory aplikace procesoru Atmega328P lze uvést například měřicí zařízení a bateriové aplikace.

Tab. 2: Klíčové parametry Atmega328P

Parametr	Hodnota
Typ CPU	8-bit AVR
Flash	32 kB
SRAM	2 kB
EEPROM	1 kB
Maximální frekvence	20 MHz
Počet vývodů	32 (TGPF)
Počet přerušení	2



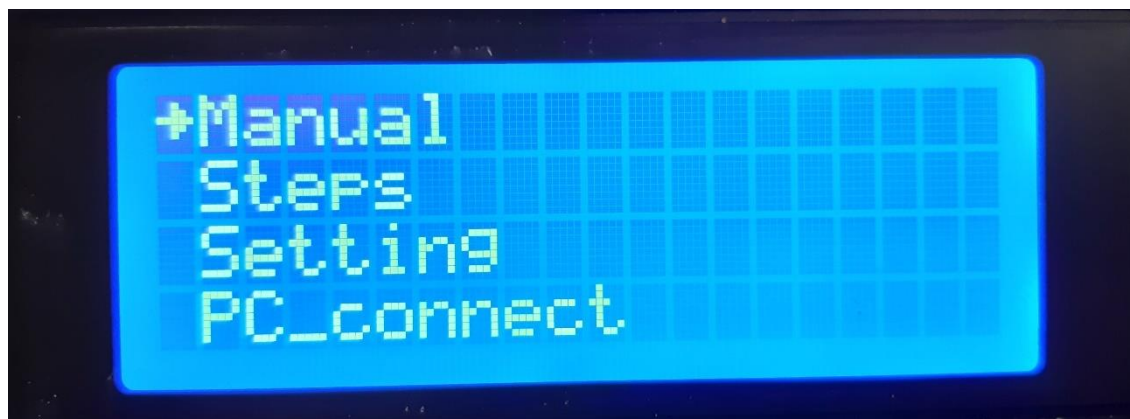
Obr. 19: Definice pinů Atmega328P.[16]

LCD displej I2C

Pro dokonalejší přehled o stavu rotačního stolku bylo vhodné doplnit zařízení o zobrazovací jednotku. Na trhu je celá řada displejů různých výrobních technologií a velikostí od hojně používaných LCD až po nejmodernější OLED, které jsou využívány především pro svoji nízkou spotřebu.

Pro zobrazování dat byl vybrán LCD displej 20x4 – dvacet znaků na čtyři řádky. Efektivní modré podsvícení zajišťuje dobrou čitelnost displeje i na přímém slunečním svitu. Displej je vybaven paralelním driverem HD44780 a dále převodníkem I2C. Tento převodník zajišťuje dvou vodičovou komunikaci s displejem. Součástí displeje je i potenciometr pro nastavení jasu. Pro Arduino IDE je dostupná celá škála knihoven, avšak pro toto použití bude dostačující základní knihovna: `LiquidCrystal_i2c`. Knihovna umožňuje zobrazit na displeji text s doplněním o základní klíčové znaky. Nelze za pomoci této knihovny měnit typ ani velikost písma, což pro funkci není klíčové.

Sběrnice I2C separuje zařízení na master a slave (řídící a řízené). Zařízení master řídí komunikaci. Zahajuje a ukončuje přenos dat a také generuje hodinový signál. Každé zařízení připojené na tuto dvou vodičovou komunikační sběrnici disponuje svojí adresou ve formátu HEX. Pro vybraný displej je tato adresa: 0x3F. Při použití této sběrnice nejsou vyžadovány žádné licenční poplatky. Tato počítačová sběrnice byla původně vyvinuta firmou Philips označována jako I2C. Identickou sběrnici používá i firma Atmel, ovšem zde ji Atmel označuje jako TWI (two wire interface). Sběrnice nachází také široké uplatnění v oblasti uživatelských počítačů, při nahlédnutí na základní desku počítače se s touto sběrnicí lze setkat při čtení času z RTC (real clock timer), změně hlasitosti reproduktoru, nebo při čtení teplot.



Obr. 20: LCD displej – hlavní menu.

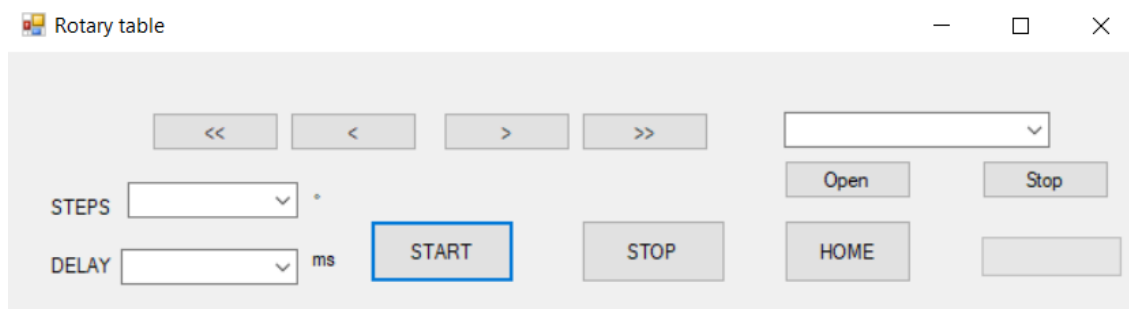
Rotační enkodér s tlačítkem

Jedná se o součástku, která převádí pozici, případně pohyb na digitální signál. V této konstrukci je využíván pro ovládání rotačního stolku. Vybraný enkodér dále disponuje tlačítkem, které slouží pro potvrzení a orientaci v menu rotačního stolku. Enkodér exportuje informaci o změně úhlové pozice, tato informace je generována

dvojicí fázově posunutých obdélníku. Fáze A posunutá o 90° vůči fázi B znamená pravotočivý pohyb, oproti tomu fáze A posunutá -90° značí otočení enkodéru doleva. Napájecí napětí enkodéru je 5 V.

USB ovládání

Ovládání pro uživatele přes počítačovou aplikaci je na první pohled intuitivní. Po zapnutí aplikace je nutné najít komunikační port na který je rotační stolek připojený. Po otevření a namapování portu už je stolek možno ovládat pomocí aplikace.



Obr. 21: Počítačová aplikace.

Programování aplikace probíhalo v prostředí VisualStudio 2019 na platformě .NET Framework v šabloně Windows Forms Application. Jedná se o objektově orientované programování. Oproti klasickému programování lze rozdělit program na menší samostatné jednotky. V tomto programu menší bloky tvoří jednotlivá tlačítka. Hlavní okno aplikace VisualStudio se dělí na několik částí. Většina kroků se provádí v hlavním okně, zde se otevírají editory kódu a grafické formuláře. Na pravé straně jsou okna pro nastavení vlastních oken a podoken. Na levé straně je k dispozici sada nástrojů. Tyto přednastavené nástroje lze přidávat do okna hlavní aplikace pouhým přetažením. Po přidání všech potřebných tlačítek a výběrových menu se přejde k jejich definici. Následuje grafický popis tlačítek a ovládacích panelů. Zbývá jen upravit velikost okna aplikace s přihlédnutím na počet použitých nástrojů. Pro tuto aplikaci byly zvoleny tyto grafické komponenty:

Label – textová informace, která slouží k popisu polí a tlačítek

TextBox – textové pole, které může sloužit jako vstupní prvek a disponuje funkcí omezení maximálního počtu znaků

ListBox – textové pole o předem definovaném rozsahu, umožňuje vybrat jednotlivé položky, které jsou zobrazeny pod sebou

Button – vyvolá přiřazenou událost definovanou ve zdrojovém kódu

ProgressBar – indikace vývoje události, slouží k informování o stavu aplikace

Větší část dostupných stavebních komponentů je určitou analogií již používaných ovládacích prvků používaných ve většině aplikací systému Windows. Nyní se přejde

ke kroku programování. Dvojklikem na jednotlivé objekty se otevře zdrojová část. V kódu je potřebné definovat funkci při kliknutí na tlačítko. Při kliknutí na jakékoliv tlačítko se v první řadě provádí kontrola. Kontrola znamená, že program zkontroluje, zdali je připojen sériový port a zda jsou vyplněny potřebné TextBoxy. Po kontrole dochází k odeslání příkazu po sériové lince do rotačního stolku. Tam dochází ke zpracování a následnému vykonání funkce.

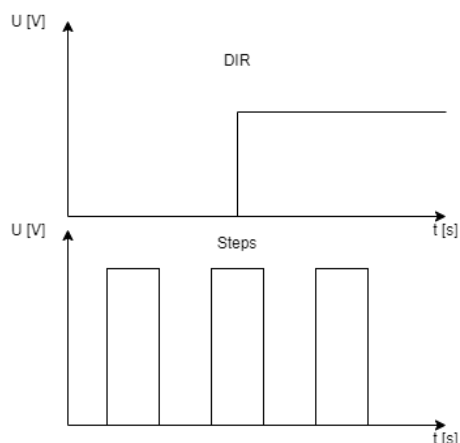
Komunikace mezi mikrokontrolérem a USB zajišťuje převodník CH304G. Komunikaci obstarává asynchronní sériový přenos UART, který pro svou funkci potřebuje pouze 12 MHz krystal a napájení + 5 V. Pro bezchybnou funkčnost je nutné mít v počítači nainstalovány ovladače pro tento převodník přiložené na CD. Pokud již někdy k počítači byl připojen mikrokontrolér z řady Arduino, není nutné instalovat ovladače. Tento převodník je možné používat jak na platformě Windows, tak MEC (Apple).

Driver krokového motoru A3967

Řadičem krokového motoru je čip A3967, z produkce firmy Allegro Micro Systems, s možností napájení od 4,75 V do 30 V a nastavením proudu motoru až do hodnoty ± 750 mA. Zpětná vazba odebíraného proudu do motoru snižuje zvukový projev motoru, zvyšuje přesnost krokování a šetří energii.

Tímto integrovaným obvodem je osazen modul označovaný pod názvem EasyDriver. Ovladač motoru je kompatibilní s digitální logikou 0 až 5 V. Čip disponuje ochranou proti podpětí a tepelnou ochranou. Integrovaný obvod je dodáván na trh v pouzdře SOIC 24pin. Dále je možné nastavit mikrokrokování pomocí digitálních hodnot a to až 1/8 otáčky pomocí pinů MS1 a MS2.

Pro řízení motoru se využívají dva základní piny DIR a STEP. Pinem DIR volíme směr otáčení krokového motoru. Samotné kroky se řídí pinem STEP. Vše se provádí v + 5 V logice. Tyto dva piny jsou dostačující pro základní řízení a jednoduchost aplikace. Pro složitější aplikace lze využít další piny, jako jsou piny RESET, ENABLE, PDF a SLEEP. Krokový motor se následně připojuje přímo na piny: OUT1A, OUT1B, OUT2A a OUT2B. V tomto kroku je nutné zapojit správně cívky motoru.



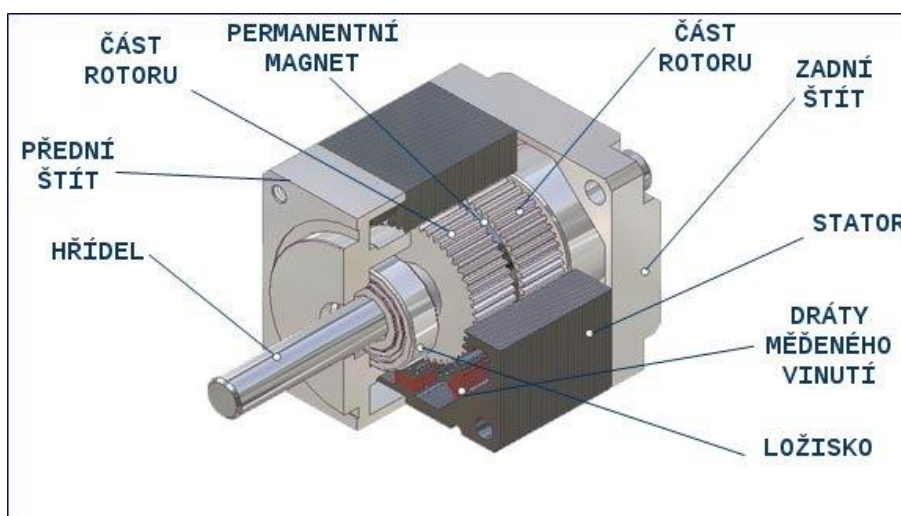
Obr. 22: Řízení krokového motoru.

Krokový motor NEMA17

Krokový motor lze rozdělit na několik základních částí, stejně jako jakýkoliv jiný točivý stroj se skládá z následujících částí: hřídel, rotor, stator, ložiska a vinutí. Hřídel prochází celým motorem a je zpravidla vyrobena z nerezového materiálu. Na hřídeli jsou ve dvou či více místech uloženy permanentní magnety. Hřídel a stator jsou uloženy na dvou ložiscích vpředu a vzadu. Dále se motor skládá ze statoru, ten je tvořen dynamoplechy a je navinut měděným lakovaným drátem.

Tab. 3: Mikrokování A3967.

	MS1	MS2
Full step (1)	L	L
Half step (1/2)	H	L
Quater step (1/4)	L	H
Eight step (1/8)	H	H

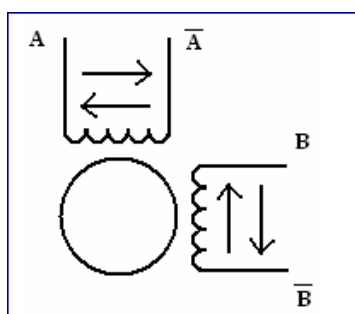


Obr. 23: Krokový motor.[12]

Většina standartních krokových motorů disponuje krokem $1,8^\circ$. Pro otáčku 360° je tedy potřeba 200 kroků. Velká škála motorů na trhu je dnes už pouze bipolární, což znamená, že se jedná o čtyřvodičové zapojení.

Výhoda použití krokového motoru spočívá ve změně rychlosti otáčení, která může být velmi jednoduše řízena a měněna. Tato rychlost je dána kroky na otáčku vynásobeny počty pulsů zasílané do motoru. Krokový motor může dále provádět velmi jemné inkrementální kroky. Pokud to nevyžaduje zapojení, motor nemusí pro svou funkci disponovat žádnou zpětnou vazbou.

V případě, že dojde při provozování k polohovací chybě, tak tato chyba není kumulativní. Krokové motory jsou svou konstrukcí také vhodné do aplikací, kde je požadavek pracovat v širokém rozsahu rychlostí. V této aplikaci jsou velmi důležité dvě klíčové vlastnosti: výborná momentová charakteristika na malých rychlostech a vysoký přídržný moment bez zahřívání motoru.



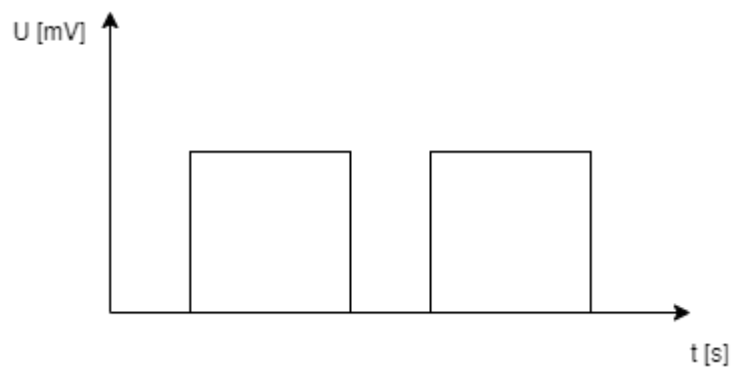
Obr. 24: Zapojení cívek krokového motoru. [12]

Pro otočný stůl byl vybrán klasický krokový motor, používaný především v technologiích 3D tisku. V oblasti 3D tisku se používají tyto motory pro přesný pohyb tiskové hlavy, podložky a dávkování filamentu. Zvolen byl tedy dvoufázový krokový motor PK244-01A-C68, napájecí napětí 4 V, krokování motoru $1,8^\circ$ /krok.

Hallův snímač

Je elektrotechnická součástka, která se využívá pro detekci magnetického pole. Je vytvořena velmi úzkou vrstvou polovodiče. Při vložení součástky do magnetického pole prochází skrze polovodič indukční tok a přeskakuje náboj. Tímto způsobem vzniká na hallově článku napětí. Používá se v automatizaci, regulaci magnetických polí a nedílné zastoupení nachází i v ovládání elektromotorů.

Tento vybraný snímač potřebuje k funkci napájecí napětí, jedná se o snímač aktivní. Hallovo napětí je v řádu několika mV v zapojení je potřeba tento signál zesílit. Ideální výstupní signál ze snímače je ve tvaru obdélníku. Pokud je snímač používán například ke snímání otáček v obvodu, tak se změnou rychlosti otáček se mění frekvence signálu nikoliv amplituda.



Obr. 25: Výstupy Hallova snímače.

Amplituda výstupního signálu je závislá na velikosti vzduchové mezery mezi magnetem a snímačem. Ideální velikost vzduchové mezery je okolo 1–2 mm. V některých aplikacích lze Hallovu sondu použít i k tomu, zda se díl nebo součást nachází ve stanovené pozici či nikoliv. V praxi lze poukázat na použití v podobě takzvané magnetické závory. Destička snímače je umístěna v konstrukci proti permanentnímu magnetu. Mezera vytvořená mezi magnetem a sondou je vyplněna rotujícím clonkou magnetického pole. Pokud se clonka dostane do mezery, magnetický signál se uzavírá přes ni a hallova sonda nedetekuje magnetické pole. Tato konstrukce byla v minulosti klíčová a byl ní v automobilovém průmyslu nahrazen mechanický přerušovač. Přerušovač je klíčovou součástí spalovacího motoru. Rotující magnetická clona je umístěna na klikové hřídeli motoru a počet výřezů clony odpovídá počtu válců.

Pro detekování výchozí pozice otočného stolku byl zvolen unipolární Hallův snímač firmy Infineon Technologies TLE 4906L s rozsahem napájecího napětí od 2,7 – 18 V.

Zdroj napětí

Signálová a ovládací část otočného rotačního stolku je napájena z počítačového konektoru USB. Ovšem odběr krokového motoru při 5 V může být až 1,5 A. Při krokování motoru dochází ke špičkové spotřebě, je tedy potřeb použít tvrdý zdroj napájení, aby nedocházelo k případnému poklesu napětí a následné poruše funkce otočného stolku. Při volbě stabilizátoru napětí bylo nutné přihlídnout k těmto kritériím:

- zvolit napětí vhodné pro řadič krokového motoru A3967
- pamatovat na špičkový odběr při krokování motoru

V průběhu návrhu plošného spoje byl zvolen stabilizátor napětí AM1117-5.0. Bohužel tento stabilizátor napětí značně nevyhovoval, jeho maximální výstupní proud je pouze 0,8 A, docházelo k jeho značnému přehřívání a občasné disfunkci otočného stolku. V průběhu testování zařízení došlo k jeho nahrazení za stabilizátor LM317, ten již svými parametry splňuje výše zmíněné požadavky. LM317 je vyráběný v mnoha pouzdrech. Pro tuto koncepci se jako nejvýhodnější jevílo pouzdro SMD SOT-223.

Jako zdroj vstupního napětí pro rotační stolek byl vybrán napájecí adaptér BKE TYP: JS25-138, disponující výstupním napětím 13,8 V / 1,8 A. Pro naši koncepci je tento napájecí adaptér v tuto chvíli dostačující.

V průběhu testování zařízení však docházelo k značným výpadkům krokového motoru. Výpadky byly zapříčiněny poklesem napájecího napětí pro motor. Zdroj napětí nevládal vyrovnávat odběrové špičky. Po připojení elektrolytického kondenzátoru došlo ke znatelnému zlepšení v oblasti výpadku motoru, avšak stále se po dobu testování objevovaly chyby. Závěrem musela být celá napájecí část nahrazena externím zdrojem napětí ESPE-2005T2. Tento zdroj disponuje výstupním napětím 5 V a maximálním odběrem proudu 4 A.

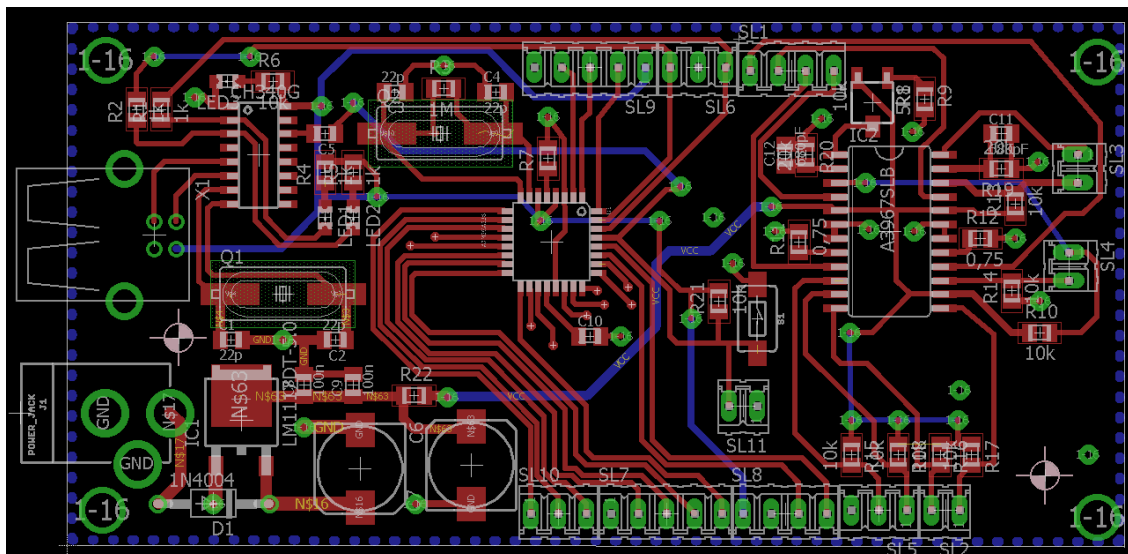
Návrh schémat a plošného spoje

Návrh schématu zapojení byl realizován v programu Eagle. Samotné schéma i návrh desky plošného spoje je zařazen do přílohy tohoto dokumentu. Výroba plošného spoje proběhla v zahraniční firmě JLCPCB. V návrhu bylo nutné dodržet základní instrukce výroby:

- otvor pro prokovení: 0,6 mm
- velikost mezikruží plochy pro průměr vrtáku 0,6 mm: 0,4 mm

Třída přesnosti byla zvolena s ohledem na velikost součástek a DPS. Tyto základní parametry zajistí bezpečné pokovení otvoru. Základní návrh byl doplněn tím, že jednotlivé volné piny mikroprocesoru byly vyvedeny na DPS jako zkušební body pro případné připojení diody LED při ožívování.

Jedná se o dvouvrstvý plošný spoj, ve spodní vrstvě je vylita zem GND. Přes pokovené otvory jsou postupně uzemňovány jednotlivé prvky. V levé části DPS jsou osazeny dva konektory. Jeden pro napájení driveru a krokového motoru a druhý USB využíván pro komunikaci s PC. Ve středu lze najít srdce celého zařízení, a to mikroprocesor Atmega328P. Procesor je připojený na externí krystal 16 MHz. Klíčové piny pro připojení dalších komponentů jsou vyvedeny na okraj plošného spoje do kolíkových lišt. Volné piny okolo procesoru jsou vyvedeny jako test-pointy pro případné další použití. Nedílnou součástí v komunikaci s PC je sériový převodník CH340G, doplněný o krystal hodinového signálu 12 MHz. Na pravé straně plošného spoje je umístěn řadič pro krokový motor A3967 v doporučeném základním zapojení. Po obvodu jsou k dispozici čtyři montážní otvory průměru 3 mm pro zafixování základní desky do vytištěné základní konstrukce.

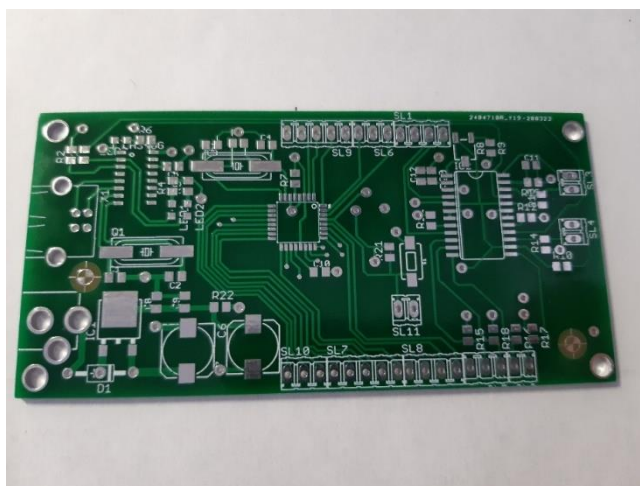


Obr. 26: Editor plošných spojů – náhled DPS.

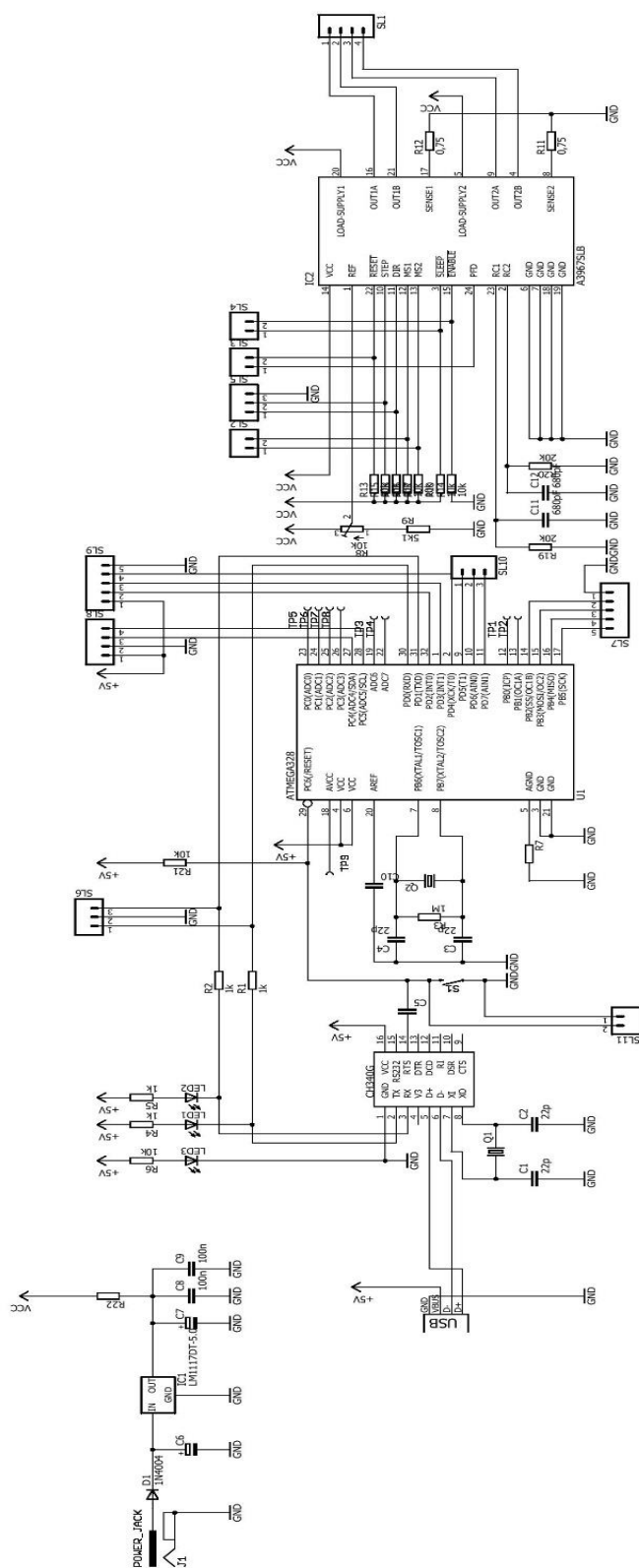
Oživování a osazení součástek

Plošné spoje z výroby disponují nepájivou maskou, není potřeba žádná další úprava v ochraně před případnou korozí a vnějším prostředím. V prvním kroku došlo k osazení pasivních součástek jako jsou odpory a kolíkové lišty. Následovalo osazení kondenzátorů, polovodičových prvků a LED diod. V poslední řadě se osazovaly integrované obvody.

Po osazení desky plošného spoje proběhla vizuální kontrola připájených součástek. Dále došlo k připojení desky ke zdroji a kontrola odběru naprázdno. Po ověření těchto parametrů byly na desce změřeny hodnoty napájecích napětí pro jednotlivé integrované obvody. V závěru oživení byla provedena kontrola oscilace krystalů osazených na plošném spoji.



Obr. 27: Vyrobený plošný spoj.



Obr. 28: Schéma zapojení Eagle

Programování

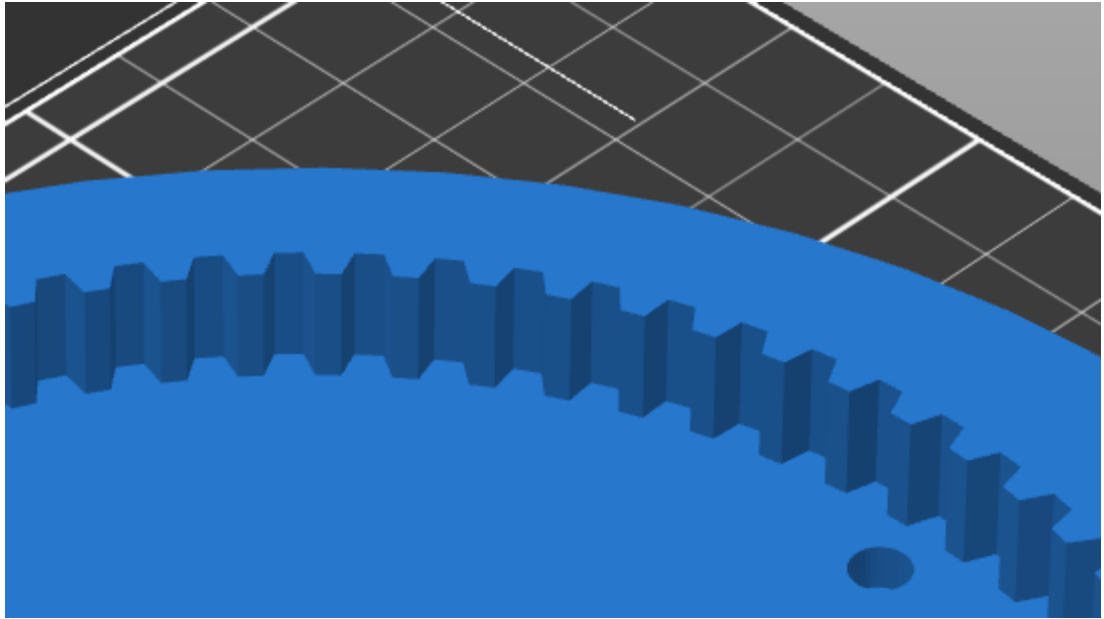
Pro počáteční naprogramování a nastavení mikroprocesoru Atmega328P byla použita čtyřvodičová sběrnice SPI. Jako programátor byl zvolen Pickit 2, který umožňuje programovat jak PIC, tak i procesory AVR. Po nahrání bootloaderu do procesoru, nastavení pojistek a kontrolních bitů byl použit software AVRDUDESS. Po nahrání bootloaderu je možné přehrávat program v procesoru přímo přes USB kabel. Po ověření základních parametrů byl otočný stolek testován a programován v Arduino IDE. K dispozici je široká škála knihoven, které mohou být v některých částech programování velkým zjednodušením ve psaní kódu. Ovšem ne všechny knihovny jsou vyhovující a některé dokonce používají totožné názvy proměnných, což vede k problémům při odladování kódu.

9.2 Mechanická část

Nedílnou součástí celého rotačního stolku je jeho mechanická část. Pro konstrukci byl klíčový návrhový program Solidworks CAD, ten umožňuje konstrukci jak v 2D, tak i 3D. Tento software disponuje určitým stupněm volnosti za předpokladu dosažení stejného cíle. Inspirace pro desing stolku byla převzata z komerčně dostupných konstrukcí 3D tiskáren. Celou mechanickou část otočného stolku lze rozdělit na tři základní kusy: podstavec, vrchní stolek a převodové kolo.

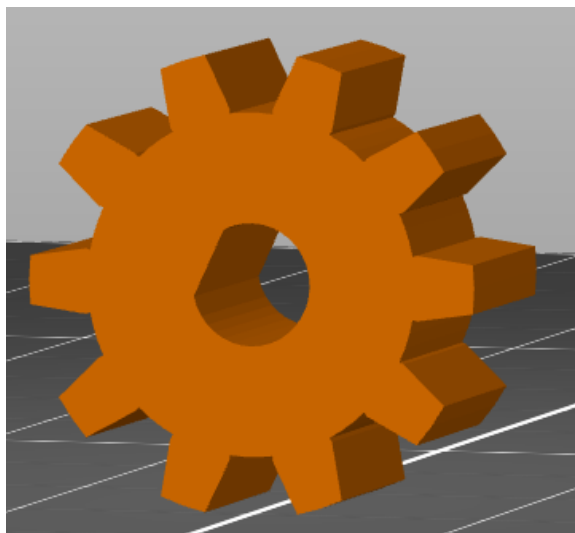
Podstavec slouží jako základní část pro elektroniku a ovládací zařízení. Ve spodní části je vytvořen prostor pro umístění základní desky s vývody pro USB a napájecí konektor ze zadní části stolku. Po vrchním obvodu jsou otvory pro vložení ložisek a následní zajištění šrouby M10x16. Ve středové části stolku je vymodelováno uložení centrálního ložiska 608, které slouží pro lepší vycentrování vrchního otočného stolku. Dále slouží základní konstrukce jako držák krokového motoru s vývody kabeláže k základní desce. Nedílnou součástí je přední ovládací panel, do něhož jsou zapouzdřeny ovládací, signalizační prvky LCD, enkodér a tlačítko reset.

Vrchní stolek je otočnou částí celého stolku. Je uložen a vystředěn pomocí hřídele a středového ložiska do základní konstrukce stolku. Po celé vnitřní straně je vytvořeno ozubení pro pohon vrchní části kolem své osy. Ve vrchním stolku je dále vymodelován otvor 5 mm pro umístění neodýmového magnetu ke snímání pozice.



Obr. 29: Ozubení vrchní části stolku.

Poslední částí ze základních částí stolku je převodové kolo, které je umístěno přímo na hřídel krokového motoru. Převodový poměr otáček krokového motoru a otočného stolku je 1:7. Tento převodový poměr zajistí rovnoměrné otáčení celého stolku a potřebnou sílu pro rotování předmětu na stolku až 1 kg. Stolek je konstruován tak, aby při požadavku na rotování těžších objektů bylo možno vyměnit hnací ozubené kolo a tím zvětšit převodový poměr.



Obr. 30: Převodové kolo krokového motoru.

9.3 3D tisk

S rozšířením 3D tiskáren se otevírají i další možnosti v oblasti reverzního inženýrství. Zjednodušení prototypování je nedílnou součástí ve vývoji a výzkumu. V posledních letech došlo k rozšíření 3D tiskáren i mezi běžné uživatele. Tiskárna se skládá z krokových motorů, podložky, vyhřívané trysky a tiskové struny. Tiskárny jsou nápomocny v tisku jednoduchých mechanických částí každého modeláře. Mezi modeláři se vytvořily různé komunity, které tyto uživatele se stejným zájmem spojují a pracují na různých vylepšeních. Za rozvoj tiskáren se zasloužil především Josef Prusa. Ten nabízí tiskárny v podobě kompletního zařízení i stavebnice. Při stavbě tiskárny uživatel pochopí základní funkce. Na počátku roku 2020 se v České republice objevila virová nemoc COVID-19. I 3D tisk se zapojil do boje proti této nemoci. Josef Prusa přišel s návrhem obličejových štítů pro zdravotníky. Model se rozšířil po celé veřejnosti a do tisku se zapojila většina majitelů 3D tiskáren. S obličejovými štíty tištěnými na domácích tiskárnách jsme se mohly setkat ve zdravotnictví i v supermarketech. Pro tisk těchto štítů byl zvolen mechanicky odolný materiál PET-G. Jedná se o nejběžnější plast používaný na světě. Setkat se s ním můžeme v oděvním průmyslu, láhvích nebo na obalech potravin. Označení „G“ znamená modifikovaný glykol. Ten se přidává k základnímu materiálu během polymerace plastu.

Každá práce s tiskárnou začíná důkladnou přípravou, očištěním trysky a odmaštěním tiskové podložky. Následuje proces, který se nazývá „slicování“. Jedná se o přípravu modelu pro tisk. Pro tiskárny Prusa je k dispozici program PrusaSlicer. Ten je vybaven tiskovými profily pro většinu dostupných tiskových materiálů. V nabídce tiskových profilů lze nalézt i nastavení pro tisk flexibilních materiálů. V PrusaSlicer je nutné nastavit tisk podpěr, které jsou důležité pro správný výtisk některých částí modelu. Po přípravě následuje export G-kódu. G-kód je zdrojový soubor, který dokáže tiskárna zpracovávat. Po vložení paměťové karty se zdrojovým souborem již jen uživatel vybere požadovaný soubor a spustí tisk. Při tisku nového modelu je důležité se zaměřit na první vrstvu. Sledovat adhezi a výšku vrstvy. Případně změnit vzdálenost trysky od podložky nebo změnit teplotu. V případě výskytu jakéhokoliv problému je k dispozici na webových stránkách výrobce uživatelská online podpora.

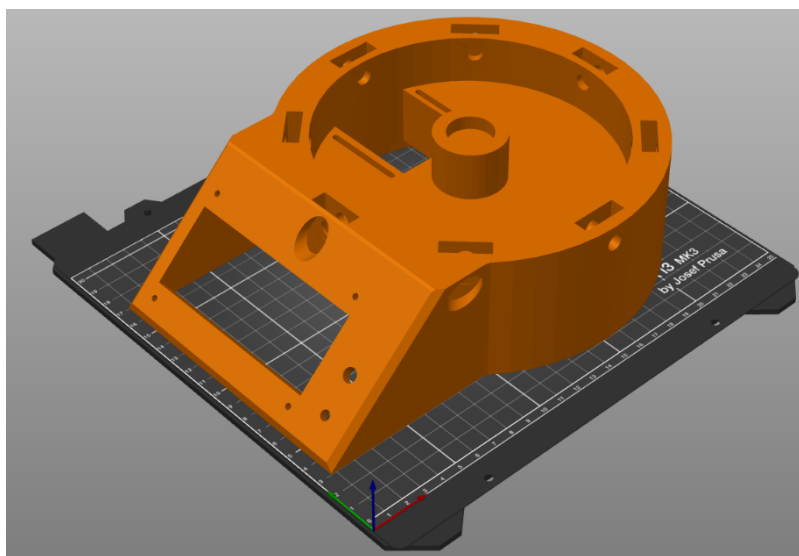
V oblasti 3D tisku nyní dochází k velkému množství experimentů a v nejbližší době se pravděpodobně budeme moci setkat s různými novinkami. Ty mohou představovat míchání subtraktivních a aditivních metod. Skutečnost, že 3D tisk sdružuje širokou veřejnost je pro vývoj nových technologií klíčová. Nově se s 3D tiskem můžeme setkat ve stavebnictví. Mechanické rameno nanáší postupně vrstvy speciálně vytvořeného betonu. Výzkumem v této oblasti se zabývá firma Contour Crafting, ta doufá, že se s touto metodou postupně prosadí na trhu. Zrychlením stavby domů by mělo efektivní využití v oblastech zasažených přírodní katastrofou.

Další z oblastí, kde se můžeme s 3D technologiemi setkat, je tisk potravin. Ve výrobě některých potravin se můžeme s jistou analogií 3D tisku setkat již nyní. Může

se jednat například o vytlačování potravin přes matrici nebo výrobu z vláken. Některé potraviny se mohou skutečně chovat jako termoplasty, například čokoláda. Jiné mohou být postupně vytlačovány jako pasta nebo gel. Mnoho potravin se již v tuto chvíli vyrábí vstřikováním do forem, takže se dá výroba označit za aditivní, která úzce souvisí s 3D tiskem. V Anglii se nachází jistá firma Dovetailed Desing Studio. Této společnosti se podařilo novou technologií vytisknout malinu. Zařízení tiskne z malých kapek vody smíchané s gelujícím roztokem. Tato směs se vkapává do tekutého roztoku, v němž se vytváří malé kapky.

Neméně důležitou oblastí, do které se pomalých krocích rozšiřuje 3D tisk, je zdravotnictví. Tisk z biokompatibilních a biodegradabilních materiálů otevírá novou cestu. Tato cesta může být důležitá pro vývoj nových materiálů. S novými materiály a stále se zmenšujícími možnostmi tisku se otevírají dveře novým oborům. Cílem by mohlo být léčení bez pokusných zvířat, anebo transplantace orgánu bez dárců. Vědci jsou v tuto chvíli schopni tisknout trojrozměrné buněčné struktury. Takto vytvořený materiál je dostatečně pevný, ale bohužel je málo flexibilní. Výzkumníci byli schopni vytisknout lidské ucho. Materiál ovšem nebyl čistě buněčné struktury, byl doplněn o hydrogel v kombinaci s alginátem. Alginát v tomto materiálu zajišťuje pružnost a celkovou pevnost.

Tisk jednotlivých součástí pro konstrukci rotačního stolku probíhal na tiskárně Prusa MK3S. Celková velikost stolku byla ovlivněna omezeným tiskovým prostorem 250 x 210 mm. Pro tisk bylo potřeba exportovat navrhnuté části stolku ve formátu .stl. Následovala příprava dat pro tiskárnu v programu PrusaSlicer. Pro tisk byl zvolen materiál PET-G. Teplota trysky při tisku je doporučovaná na 240 °C, dále se doporučuje využít vyhřívané podložky a nastavit teplotu 50 °C. Pro tisk byl zvolen již vytvořený tiskový profil v softwaru PrusaSlice. Při tisku takto velkého předmětu je doporučeno nanést na tiskovou podložku vrstvu tuhého lepidla na papír. Tímto krokem se eliminuje zvedání rohů objektu v průběhu tisku.



Obr. 31: Příprava tisku PrusaSlicer.

9.4 Cenová kalkulace

Nemalá část potřebných komponentů a součástek byla zakoupena v zahraničních internetových obchodech. To se odrazilo na jejich ceně, ale také delší době dodání. Do celkové ceny zařízení je zahrnut i filament spotřebovaný při výrobě součástí na 3D tiskárně.

-	LCD 20x4 I2C	-	208 Kč
-	A3967	-	158 Kč
-	Atmega328P	-	34 Kč
-	kondenzátory	-	28 Kč
-	odpory	-	12 Kč
-	kolíková lišta	-	10 Kč
-	stabilizátor napětí	-	32 Kč
-	převodník CH340G	-	10 Kč
-	kabeláž, konektory	-	63 Kč
-	krokový motor	-	283 Kč
-	rotační enkodér	-	54 Kč
-	tlačítka, diody	-	18 Kč
-	hallova sonda	-	25 Kč
-	filament PET 483g	-	244 Kč
<hr/>			
	Celkem:		1169 Kč

V celkové ceně zařízení není zahrnuta cena výroby plošných spojů a energie spotřebovaná při tisku mechanických částí. V porovnání s komerčně dostupným otočným stolem, je cena konstruovaného zařízení asi 30x menší. Jako na klíčovou nevýhodu konstruovaného zařízení lze poukázat na nemožnost připojení rotačního stolu k originálnímu softwaru HP David SLS.

10. OVLÁDÁNÍ A OBSLUHA

Po zapnutí otočného rotačního stolu se před uživatelem zobrazí základní menu. Toto základní menu nabízí tři položky: manual, steps, setting, PC_connect. Výběr se provede pomocí enkodéru. Pro návrat do hlavního menu je nutno stisknout tlačítko enkodéru. V případě jakéhokoliv problému jako je například zamrznutí ovládání, je pod rotačním enkodérem k dispozici obsluze tlačítko reset.

Při výběru režimu „PC_connect“ stolek čeká na příkazy posílané přes USB skrze aplikaci „rotary table“ která je součástí této práce.

Podmenu Manual nabízí možnost ovládat stolek skrze rotační enkodér. V tomto podmenu je možnost změnit velikost kroku otočení stolu.

Třetí položka v hlavním menu umožňuje uživateli zapnout nebo vypnout podsvícení displeje, které může být při skenování některých předmětů nežádoucí.

Obslužná aplikace

Samotná obslužná aplikace je ve formátu .exe a je možné ji spustit na všech zařízeních disponujících systémem Windows. Testování probíhalo ve Windows 10 Pro. Programování této desktopové aplikace bylo řešeno v softwaru VisualStudio 2019 v jazyce C. Kód je součástí přílohy práce. Aplikace zasílá po sériové komunikační lince příkazy v textové podobě a rotační stolek následně příkazy zpracovává. Jedná se například o příkaz: „_<“; otočení o jednu otáčku doleva.

Po zapnutí aplikace je třeba inicializovat přístupový port COM, po otevření komunikačního portu lze stolek ovládat šipkami v aplikaci. Úspěšné připojení a otevření komunikačního portu je signalizováno v aplikaci zelenou barvou ProgresBaru.

Šipkami v aplikaci může uživatel měnit směr otáčení, avšak pouze za předpokladu, že je vyplněná položka „steps“. Na nevyplnění kolonky je obsluha upozorněna. Tato položka mění počet kroků na jedno stisknutí šipky. Dvojitá šipka tento výběr znásobí dvakrát.

11. ROTAČNÍ STOLEK V PRAXI

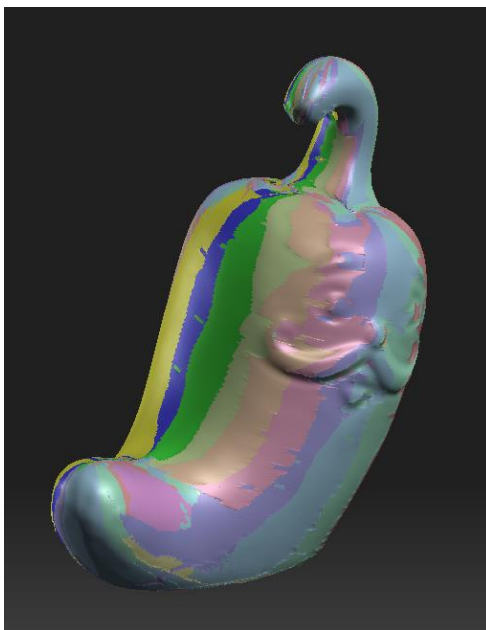
Součástí této práce je i testování otočného stolku v praxi v kombinaci se skenovacím softwarem. Jako testovací předmět byla zvolena keramická soška. Průběh testování byl následující: v prvním kroku proběhlo skenování sošky za pomoci rotačního stolku. Následovalo skládání skenů a úprava dat. Hmotným výstupem celého testu je skenovaný objekt vytištěný na 3D tiskárně Prusa MK3S z materiálu PET-G.



Obr. 32: Objekt pro 3D skenování.

Před zahájením samotného skenování, je důležité lesklé objekty zmatnit. K tomu je dobré použít zmatňující sprej. Tímto krokem dojde k eliminaci chyb vznikajících při skenování a minimalizaci odražení světla od objektu.

V první části testování došlo k naskenování sochy ze stran s rotací kolem své osy. Za pomoci softwaru HP 3D Scan Pro. Nasnímané skeny byly zarovnané s využitím nástroje zarovnání – horizontální rotace. Výsledně zarovnané skeny disponovaly slepými místy. Tato slepá místa byla následně naskenována ve větších detailech a zarovnaná s již pořízenými skeny. V tomto kroku zarovnání skenů bylo nutné použít referenční body, aby došlo k požadovanému zarovnání.



Obr. 33: Zarovnání pořízených skenů.

V dalším kroku následovala editace pořízených skenů. Ta spočívala v odstranění vad pořízených při skenování. Za pomoci nástroje polygon byly odstraněny nežádoucí části. Následovalo sloučení všech pořízených skenů v jeden objekt. Ve všech těchto krocích byl používán rotační stolek ovládaný přes počítačovou aplikaci.



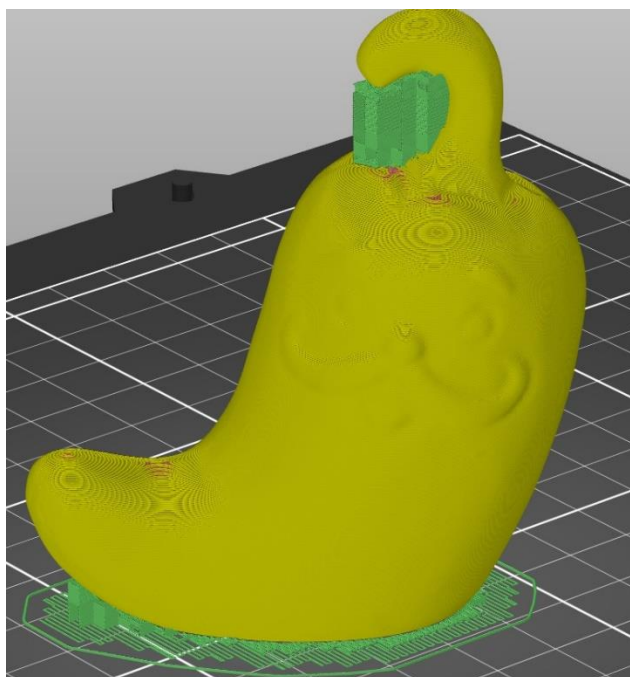
Obr. 34: Sloučení skenů.

Po naskenování všech částí je nutné upravit objekt pro tisk, nyní již pracujeme se souborem. stl. Pro editaci je možné použít například program Mexmisher. V tomto případě došlo k oříznutí spodní části sošky. S následným exportem do softwaru PrusaSlicer.



Obr. 35: Objekt PrusaSlicer.

Pro dokonalý tisk je potřeba sochu ještě před zahájením tisku doplnit o podpěry v kritických částech objektu.



Obr. 36: Generování podpěr.



Obr. 37: Srovnání modelů.

Klíčovým nedostatkem v oblasti skenování za pomoci strukturovaného světla lze označit chyby vzniklé na lesklých a transparentních površích. Strukturované světlo vytvářené projektorem se na takových objektech odráží pod neznámým úhlem pro snímací kameru. Skenovaný objekt musí mít dobrou odrazivost světla, jinak může docházet ke značnému zkreslení celého procesu skenování. Problémy s lesklými povrchy lze ve většině případů úplně eliminovat nanesením slabé vrstvy zmatňujícího prášku. Pro tyto účely je na trhu dostupný zmatňující sprej, v krajních případech lze použít i dětský pudr.

Dalším problémem, který může nastat při procesech skenování jsou tmavá místa. Jedná se o místa těžko dostupná pro strukturované světlo vysílané projektozem. Takto těžko dostupná místa je důležitá po zarovnání skenů základního modelu nadále důkladněji naskenovat. Následně zarovnat k pořízeným skenům. Je dobré si pro tento krok zvolit výrazný referenční bod pro ruční zarovnání. Jako referenční bod může posloužit například ostrá hrana modelu.

Daleko závažnější problém nastává u objektů, které disponují hlubokými otvory. Tyto otvory jsou pro strukturované světlo takřka nedostupné. Vhodnou změnou pozice kamery – projektor lze některé otvory naskenovat, avšak výsledek bývá nevalné kvality. Skenování strukturovaným světlem lze doporučit pouze pro složitější objekty. U jednodušších objektů, které jsou osově souměrné, se můžeme setkat s problémem zarovnání skenů. Takto skenované objekty je výhodné doplnit o skenovací značky, například ve formě černých nebo bílých puntíků. Na základě těchto značek se usnadní automatické zarovnání skenů. Pokud ani tímto krokem nedojde ke zlepšení výsledku skenování, může pomoci osazení objektu sesazovacími značkami. Za sesazovací značky lze označit různé geometrické útvary vytištěné na 3D tiskárně. Tyto značky se přilepí na model v problémových sekvencích. Po naskenování a úspěšném zarovnání skenů se v softwaru odstraní. Toto řešení pomáhá především u symetrických a složitých objektů.

Skenování testovacího modelu probíhalo po kalibraci skeneru na rozlišení 120 mm. Po kalibrování následoval proces skenování. Výsledkem bylo pořízení 24 skenů v horizontální rotaci. Po automatickém zarovnání bylo nutné ořezat nedostatky vzniklé vlivem zarovnání a nepřesnostmi ve tmavých místech modelu. Samotný proces skenování je rychlý, většinu práce zabere následná úprava pořízených skenů a zarovnávání. Výstupem tohoto testu je model vytištěný na 3D tiskárně. Při vizuálním porovnávání modelu a výtisku nedošlo k zaznamenání významného defektu.

Tab. 4: Parametry otočného stolku

Napájení	230 V AC
Příkon zdroje	60 W
Minimální krok*	1 °
Maximální krok*	5 °
Časová mezera v režimu Pc_connect	500 – 5000 ms
Ovládání	USB, ručně

*velikost kroku lze změnit v příloženém programu

12. ZÁVĚR

Práce se v počáteční fázi zabývá úvodem do problematiky reverzního inženýrství s krátkými náhledy do historie a do jednotlivých průmyslových odvětví. Následuje popis fotogrammetrie s použitím dronů doplněné o získávání dat s pomocí GPS.

V druhé kapitole je úvodní seznámení se s 3D skenováním a s následujícím rozdělením používaných metod. Klíčové rozdělení spočívá na destruktivní a nedestruktivní 3D skenery, které se dále dělí na kontaktní a bezkontaktní.

Třetí kapitola pojednává o problematice digitalizace pořízených snímků, s důrazem na získávání třetí souřadnice. V této kapitole je kladen důraz na metody triangulace. Triangulační metody lze v zásadě dělit na pasivní a aktivní.

V pořadí čtvrtá kapitola provází výběrem 3D skeneru, zaměřením se na parametry a plánované použití.

Další kapitola směřuje na komerčně dostupné skenovací zařízení DAVID SLS2, kde jsou zmíněny základní informace a parametry o výše tomto zařízení. Následuje popis kalibračního procesu za použití vhodných kalibračních terčů, nastavení kamer a projektoru.

Další kapitola pojednává o 3D otočném stolku, jako doplňkovém zařízení ke skeneru s následným návrhem funkce a blokovým schématem konstruovaného stolku.

V následující části práce došlo k realizaci navrženého zařízení, konstrukci mechanických částí a podpůrné elektroniky. Otočný stolec disponuje manuálním ovládním a možností ovládním přes počítačovou aplikaci. Tato aplikace zajistí pohodlnější obsluhu při práci. Dále stolec obsahuje monochromatický displej, který zajišťuje pohodlnější ovládním. Krok otáčení je volitelným parametrem, který lze volit za pomoci rotačního enkodéru. Návrh a konstrukce mechanické části probíhala v prostředí Solidworks s následným vytisknutím všech potřebných komponentů na 3D tiskárně Prusa MK3S. Srdcem elektronické části je mikropočítač AVR doplněný o podpůrné obvody jako jsou řadiče, sensorika a zdrojová část. Finálním výstupem diplomové práce je 3D funkční a otestovaný otočný stolec s vlastní elektronikou na plošném spoji.

Pro testování rotačního stolku byla vybrána keramická soška specifických rozměrů. Při prvním pokusu skenování docházelo k odrazivosti světla od povrchu sošky, z toho důvodu nutné použít zmatňující sprej. Následující proces skenování proběhl bez větších obtíží. Výsledkem bylo pořízení 24 skenů za pomoci stolku a obslužné aplikace. Následovalo zarovnání skenů, odstranění nežádoucích chyb a výtisk sošky na 3D tiskárně. Výsledný výtisk je rozměrově srovnatelný se skenovanou soškou.

LITERATURA

- [1] Digitry Art Technologies s.r.o [online]. Praha, 2014 [cit. 2019-12-02]. Dostupné z: <https://www.digitry.cz/>
- [2] Přednáška: STEREOFOTOGRAMMETRIE PROSTOROVÉ VIDĚNÍ A STEREOSKOPICKÉ MĚŘENÍ [online]. České Budějovice, 2014 [cit. 2019-12-02]. Dostupné z: https://www.spsstavcb.cz/download2/3382_3575_cs_fot4_08_stereovideni.pdf
- [3] Optické metody měření 3D objektů [online]. Ústav automatizace a měřicí techniky Vysoké učení technické v Brně Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2014 [cit. 2019-12-02]. Dostupné z: <http://www.elektrorevue.cz/clanky/05023/index.html#kap2.1.5>
- [4] ČERMÁK, J. Metody 3D skenování objektů. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 44 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Tomáš Marada, Ph.D
- [5] SLS-2: QUICK GUIDE [online]. Koblenz: DAVID VISION SYSTEM, 2014 [cit. 2019-12-02]. Dostupné z: https://produktinfo.conrad.com/datenblaetter/1200000-1299999/001209136-an-01-en-KURZ_DAVID_STRUCTURED_LIGHT_SCANNER__SL.pdf?direct=
- [6] 3D skenování: MetraScan 3D-R [online]. Brno [cit. 2019-12-02]. Dostupné z: <https://www.3d-skenovani.cz/>
- [7] HÁJKOVÁ, Kateřina. Využití skenerů v archivní praxi. Hradec Králové: Filozofická fakulta, Univerzita Hradec Králové, 2016, 72 str. Bakalářská práce.
- [8] JOSEF PRUSA: Fotogrammetrie [online]. Praha, 2018 [cit. 2019-12-10]. Dostupné z: <https://josefprusa.cz/fotogrammetrie-3d-skenovani-s-pouzitim-fotoaparatu-ci-mobilu/>
- [9] Solidvision: 3D skenování [online]. Brno, 2019 [cit. 2019-12-10]. Dostupné z: <https://www.solidvision.cz/3d-skenovani/>
- [10] JANSÁ, J. 3D skenování, kontrola a měření součástí po výrobě 3D tiskem: Bakalářská práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění, montáže a strojirenské metrologie, 2018, 44 s. Vedoucí práce: Ing. Marek Pagáč, Ph.D.
- [11] Katalogový list A3967 [online]. [cit. 2020-05-11]. Dostupné z: <http://www.snailshop.cz/rizeni-krokovych-motoru/1757-driver-pro-krokovy-motor-s-cipem-a3967-easy-driver.html>
- [12] Katalogový list Nema17 [online]. [cit. 2020-05-11]. Dostupné z: https://www.servodrive.cz/%C4%8Dasto_pokl%C3%A1dan%C3%A9_ot%C3%A1zky_o_krokov%C3%BDch_motorech.php
- [13] BÖHM, Ing. Jozef. Fotogrammetrie. www.vsb.cz [online]. Ostrava, 2002 [cit. 2020-05-11]. Dostupné z: <https://www.hgf.vsb.cz/export/sites/hgf/544/.content/galerie-souboru/skripta/Fotogrammetrie.pdf>

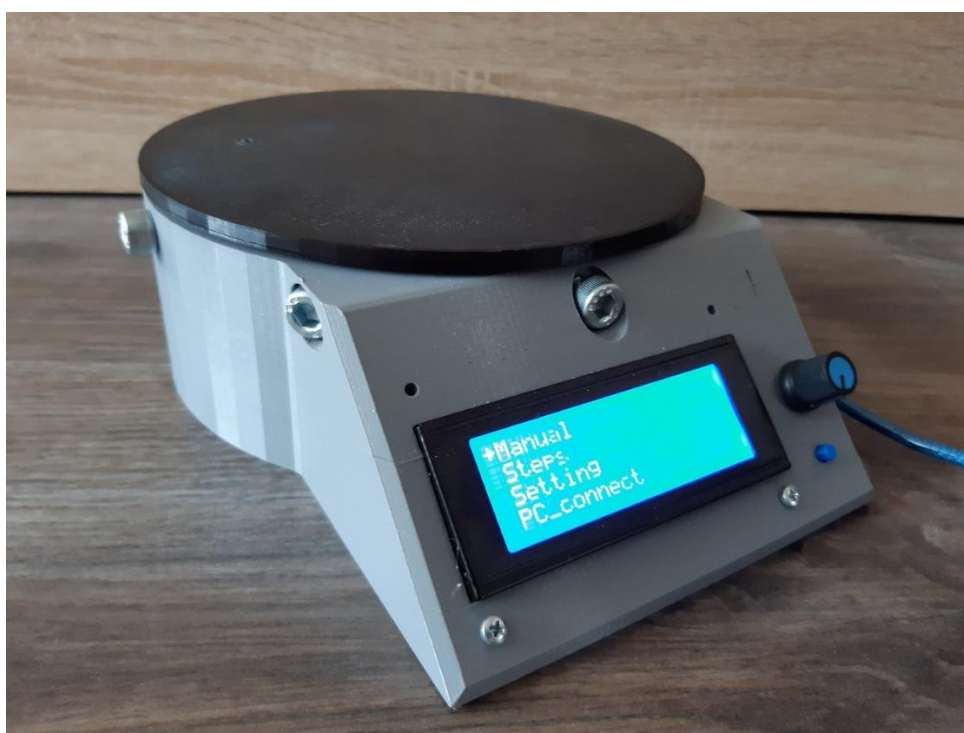
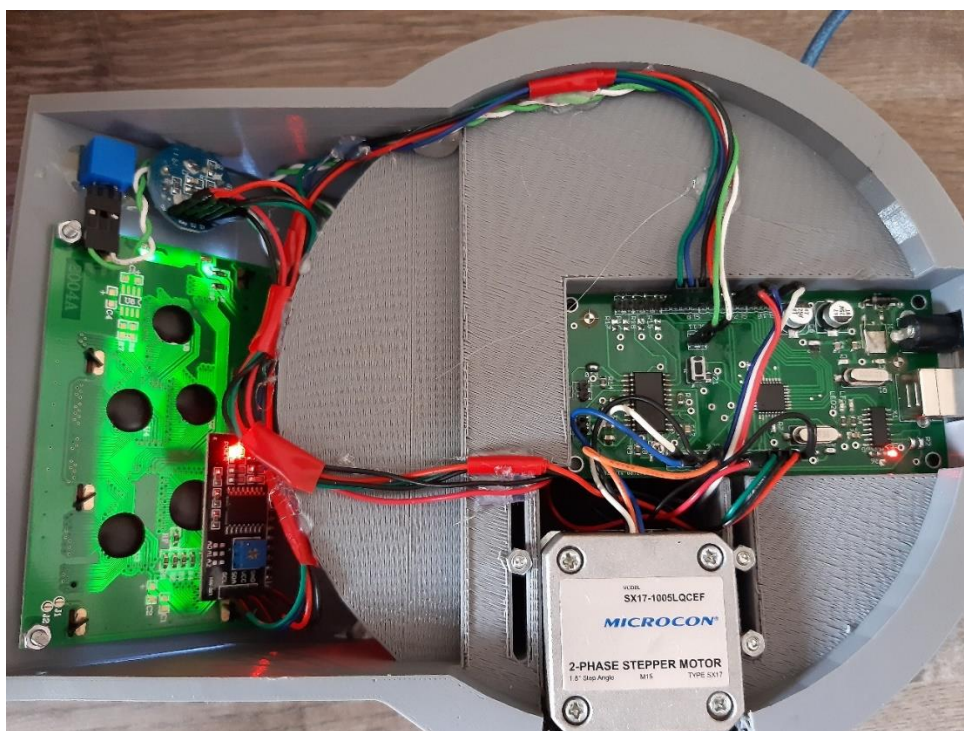
- [14] Dentální 3D tisk: cotu s.r.o. [online]. [cit. 2020-05-11]. Dostupné z: <https://www.cotu.cz/blog/169/dentalni-3d-tisk>
- [15] Čína a duševní vlastnictví. Mendelova univerzita [online]. Brno [cit. 2020-05-11]. Dostupné z: https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz_cast.pl?cast=2309
- [16] Katalogový list: Atmega328P. Microchip technology [online]. [cit. 2020-05-11]. Dostupné z: http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P_Datasheet.pdf
- [17] LIČEV, Lačezar. Systém FOTOMng: architektura, funkce a použití. Praha: BEN - technická literatura, 2015. ISBN 978-80-7300-521-4.
- [18] Dr. Ing. Karel Pavelka. Laserové skenování – nová technologie sběru prostorových dat [online]. Praha: České Vysoké učení technické, Fakulta stavební, 2006, 32 s. [cit. 2020-02-06]. Dostupné z: <https://portal.cvut.cz/wp-content/uploads/2017/04/HP2006-14.pdf>

Seznam příloh

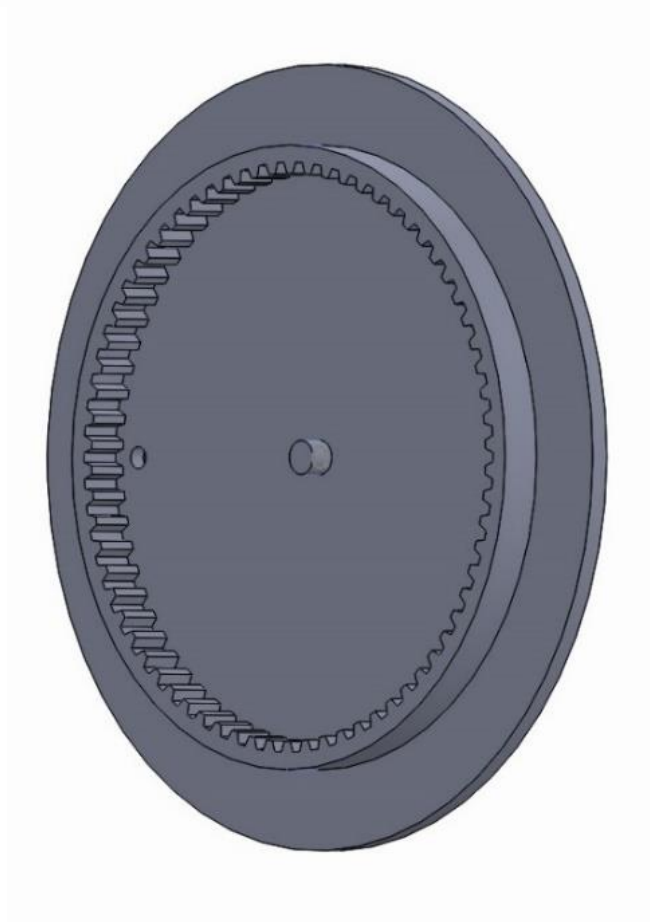
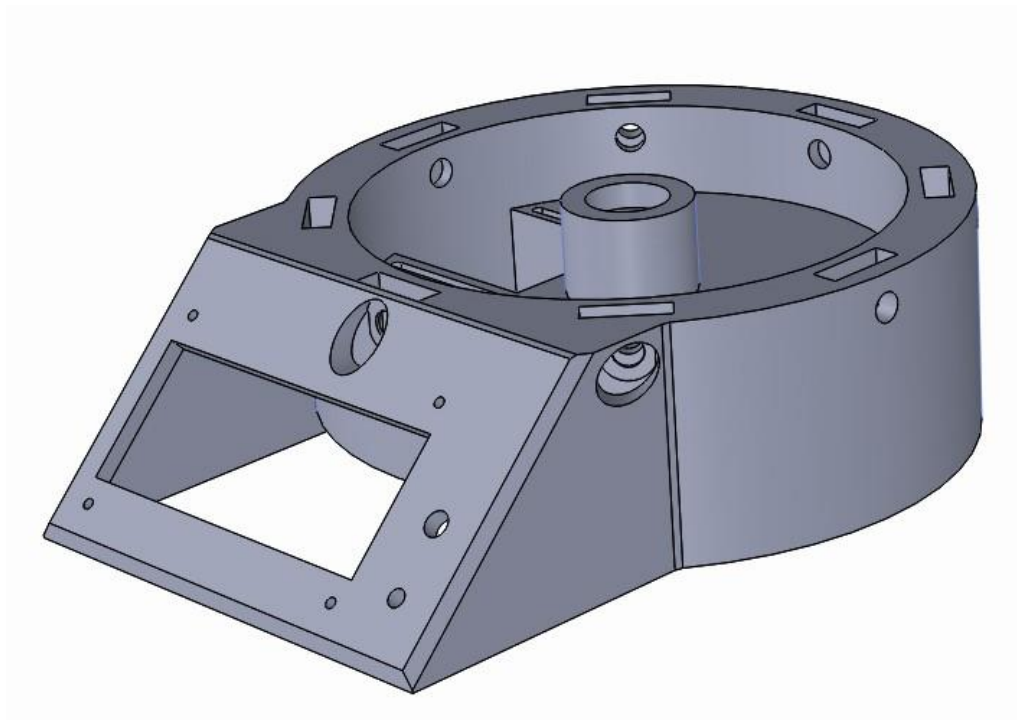
Příloha 1: Fotografie kompletního zapojení.....	55
Příloha 2: Model rotačního stolku Solidworks.....	56
Příloha 3: Schéma zapojení.....	57
Příloha 4: Podklady pro výrobu plošného spoje.....	58
Příloha 5: Výkresová dokumentace.....	59-69

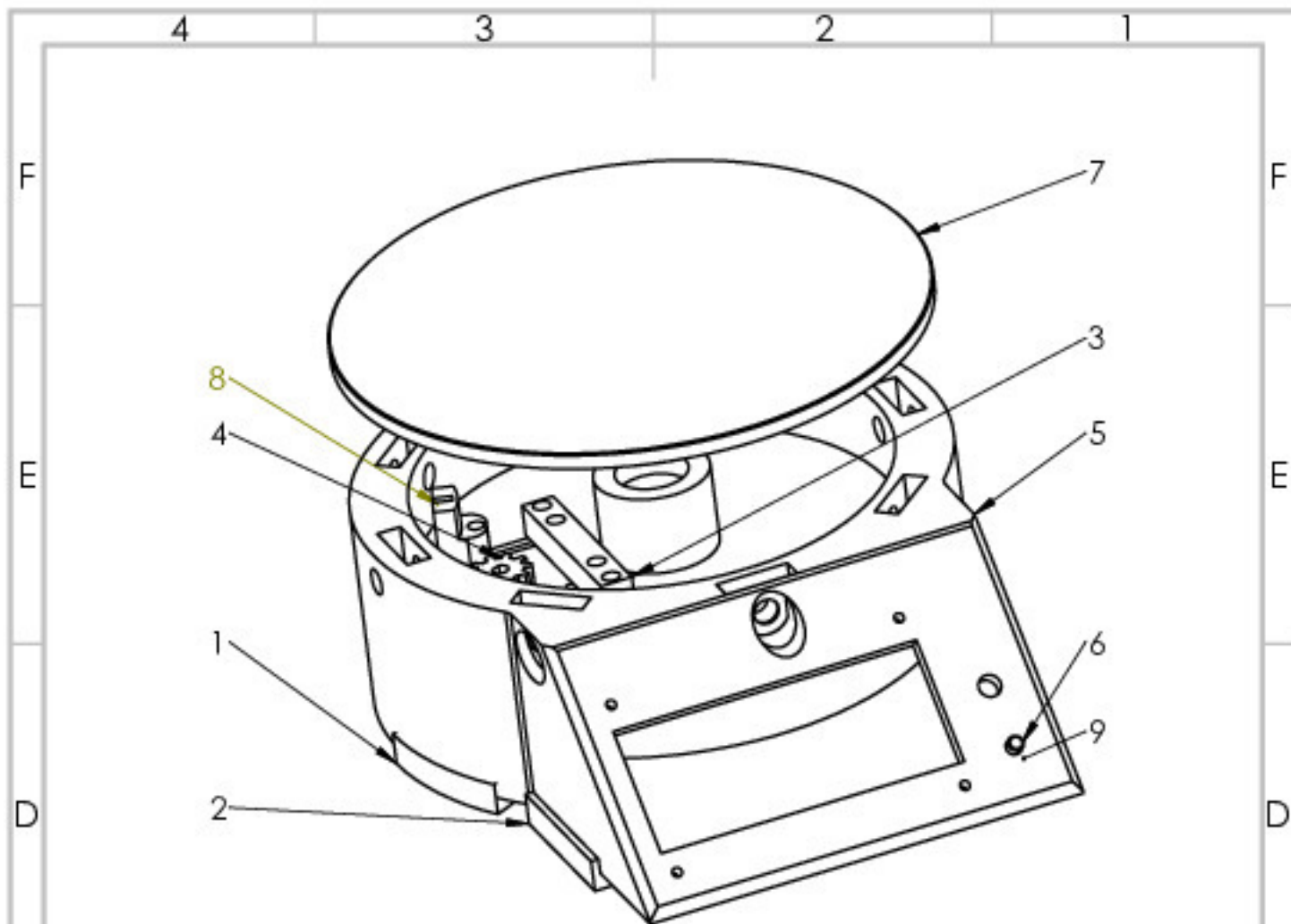
Program pro mikroprocesor je k dispozici na přiloženém CD

Příloha 1 - Fotografie kompletního zařízení



Příloha 2 - Model rotačního stolku





Č. POLOŽKY	Č. DÍLU	Množství
1	podložka_1	2
2	podložka_2	2
3	nosnik	1
4	ozubené kolo	1
5	podstavec_1	1
6	čep tlačítka	1
7	stolek_1	1
8	držák snímače	1
9	držák tlačítka	1
10	ložisko 608	9
11	šroub M4x45	2
12	šroub M4x15	4
13	šroub M8x1,5	8
14	matka M4	6
15	podložka M4	6

NÁZEV:

Sestava

NÁVRH: Suchý Lukáš
 DATUM: 30.4.2020

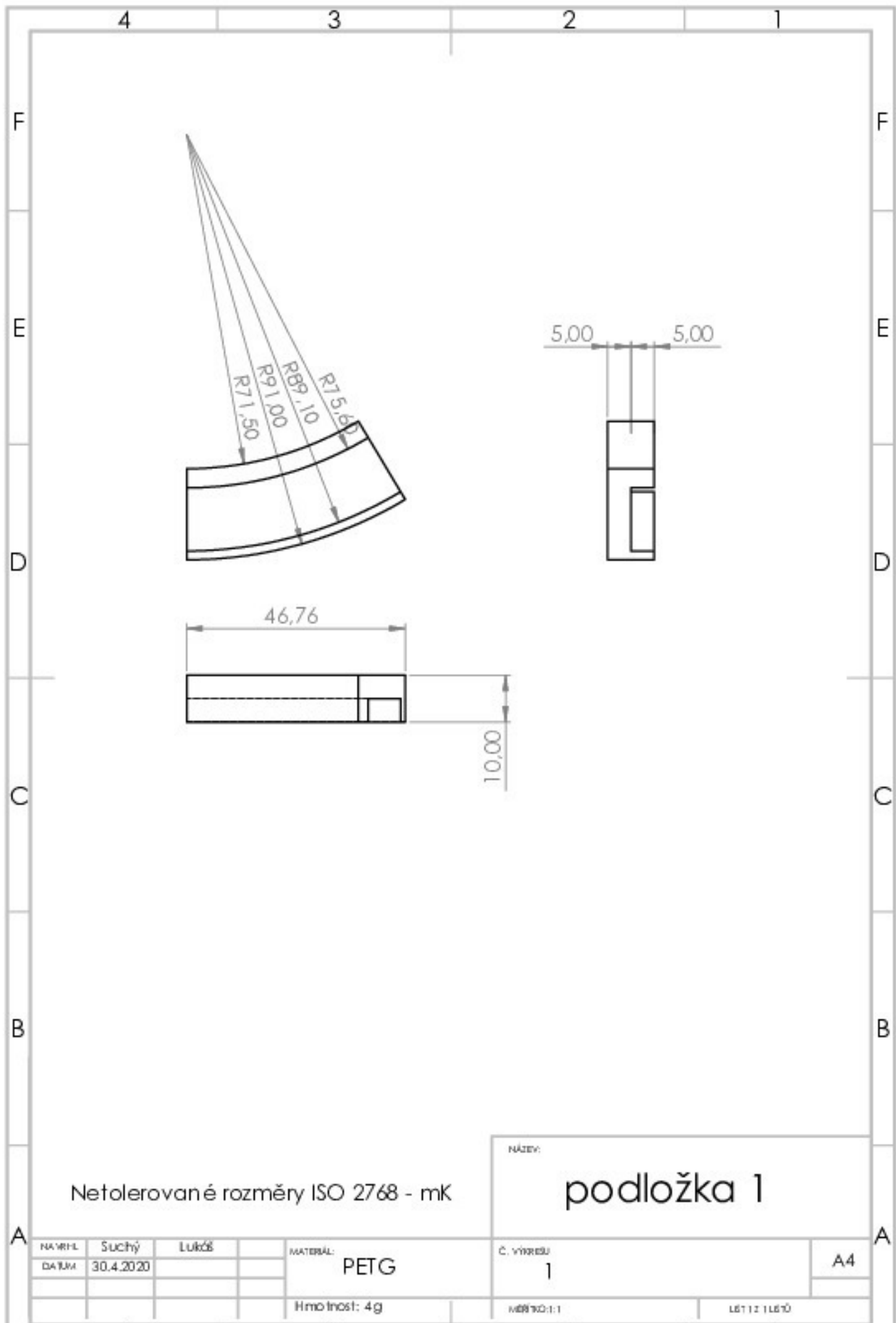
MATERIÁL: PETG

Č. VÝKRESU: 0

A4

MĚŘÍTKO: 1:1

LEŽÍTEK: 1/1/1/0



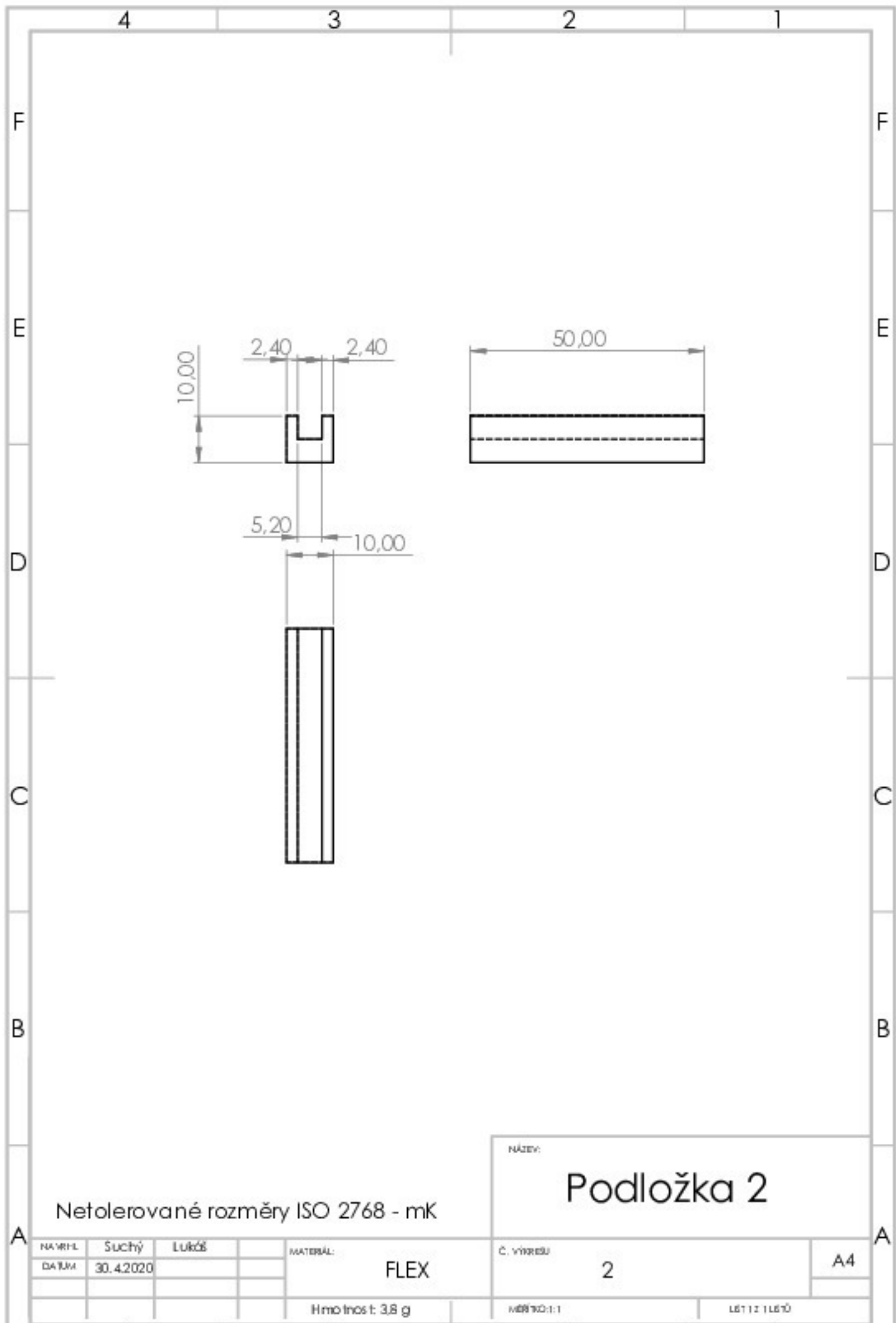
Netolerované rozměry ISO 2768 - mK

NÁZEV:

podložka 1

NÁVŘÍTEL	Suchý	Lukáš	MATERIÁL:	PETG
DATAUM	30.4.2020		Hmotnost:	4g

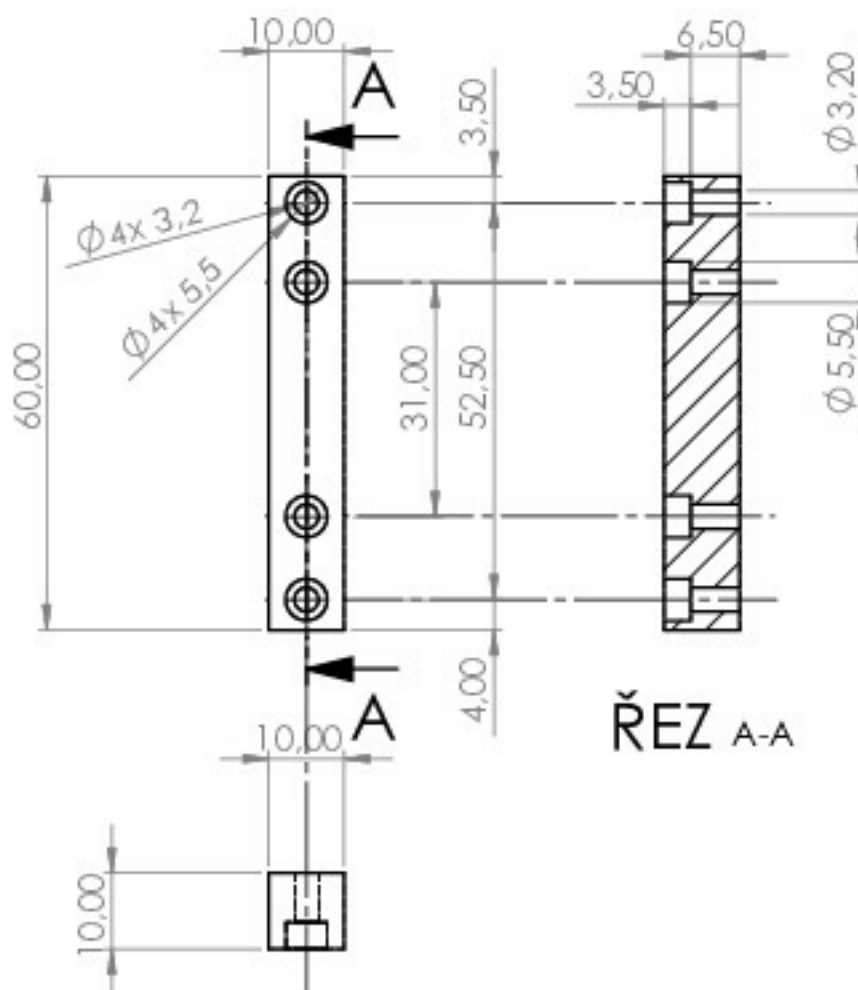
Č. VÝKRESU	1	A4
MĚŘÍTKO: 1:1		LEŽÍTE



Netolerované rozměry ISO 2768 - mK

NÁZEV:	Podložka 2		
Č. VÝKRESU	2	A4	
MĚŘÍTKO: 1:1		L6112 L610	

NÁVHIL	Suchý	Lukáš	MATERIÁL:	FLEX
DATAUM	30.4.2020		Hmotnost: 3,8 g	

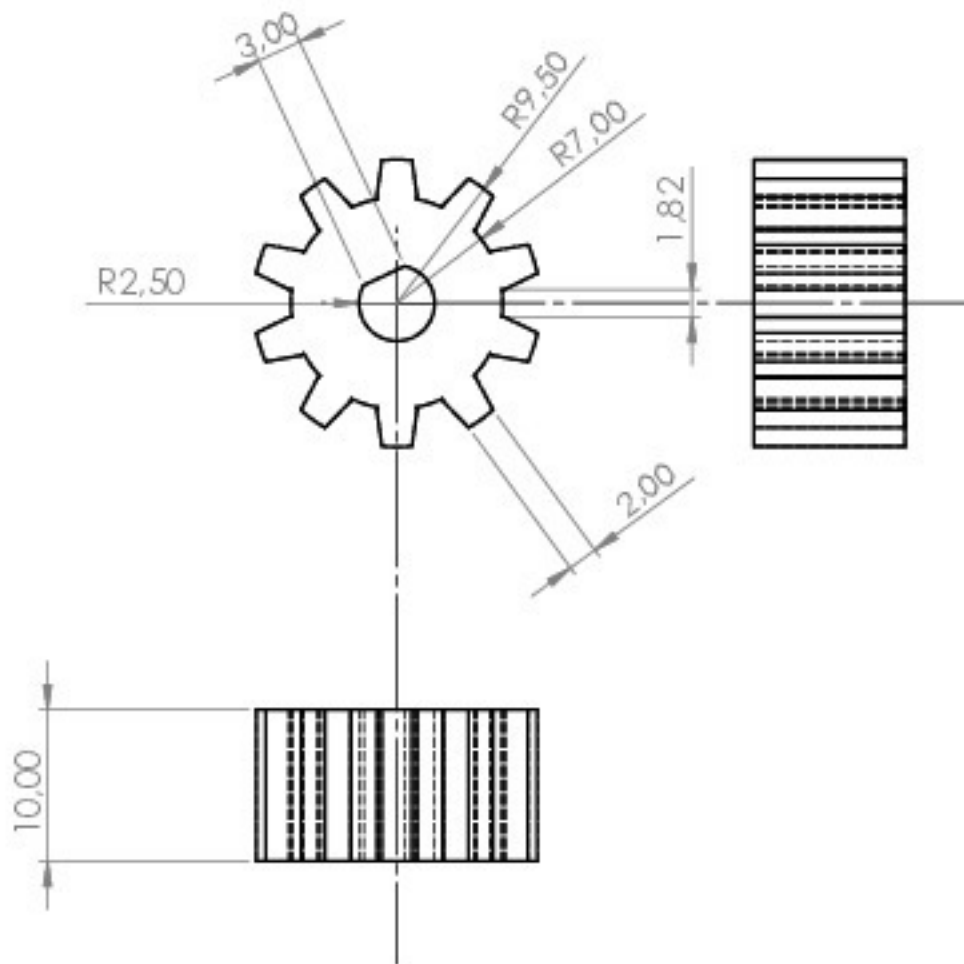


ŘEZ A-A

Netolerované rozměry ISO 2768 - mK

NÁZEV:	Nosník		
Č. VÝKRESU	3	A4	
MĚŘÍTKO: 1:1	LE112 LE10		

NÁVŘEL	Lukáš	Suchý	MATERIÁL:	PETG
DATAUM	30.4.2020		Hmotnost:	4,2g

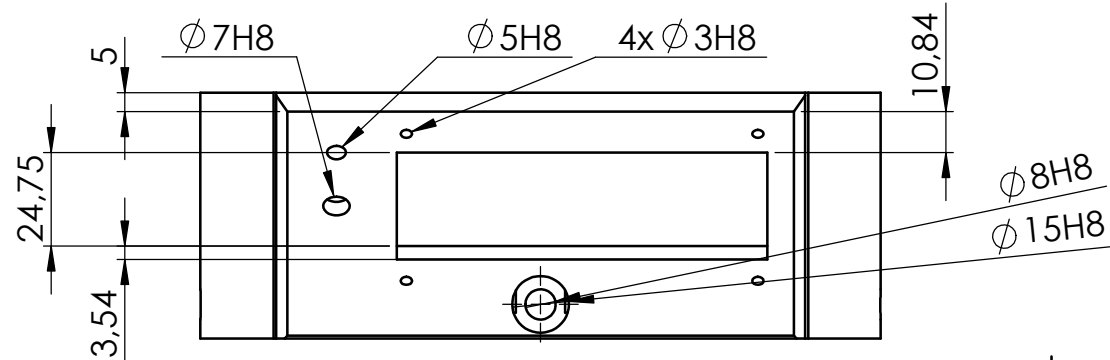
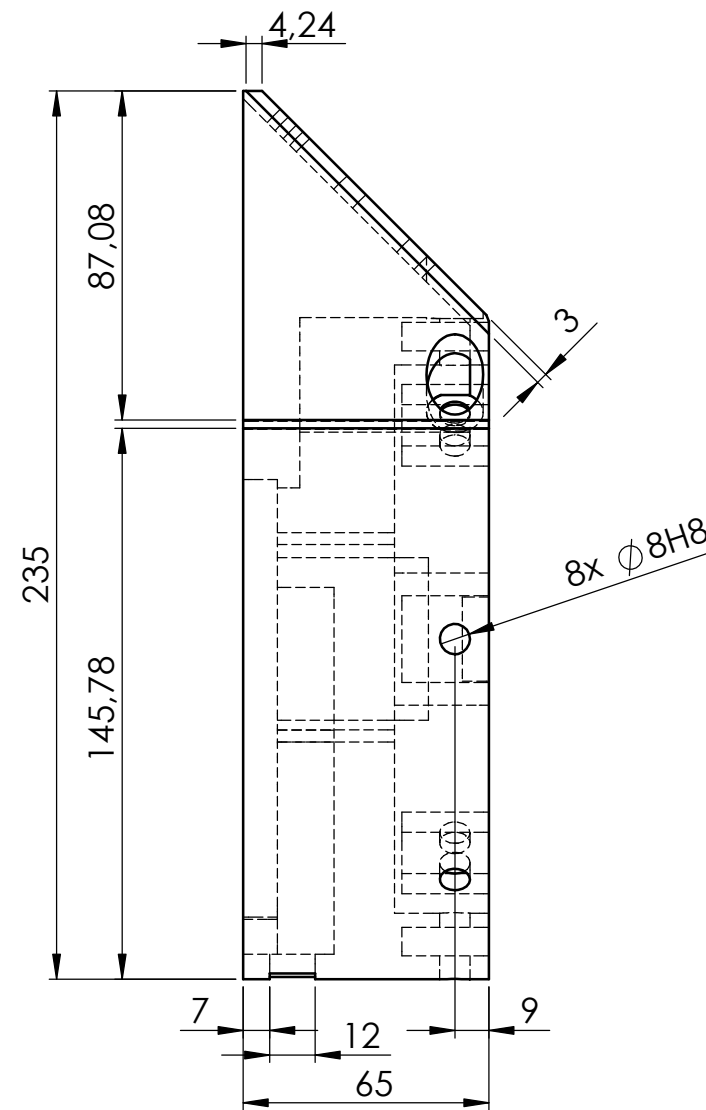
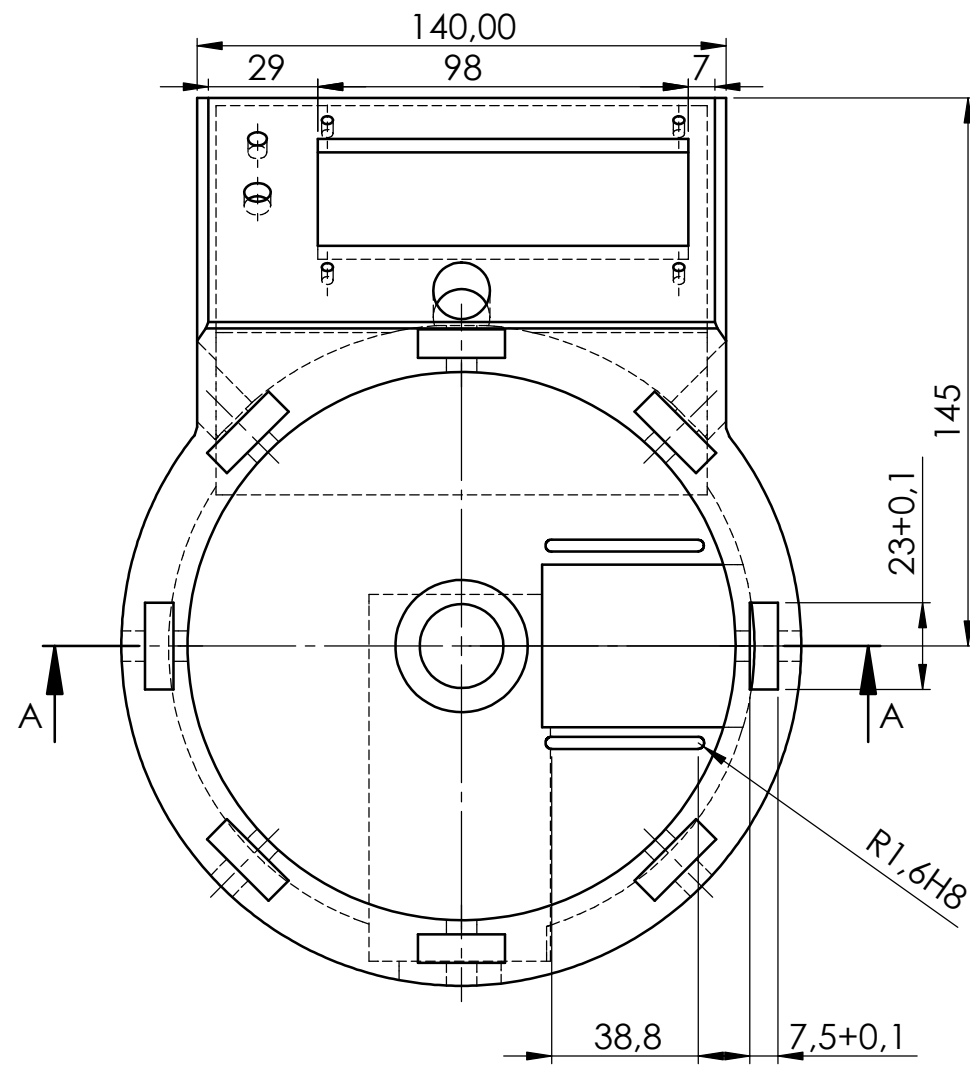
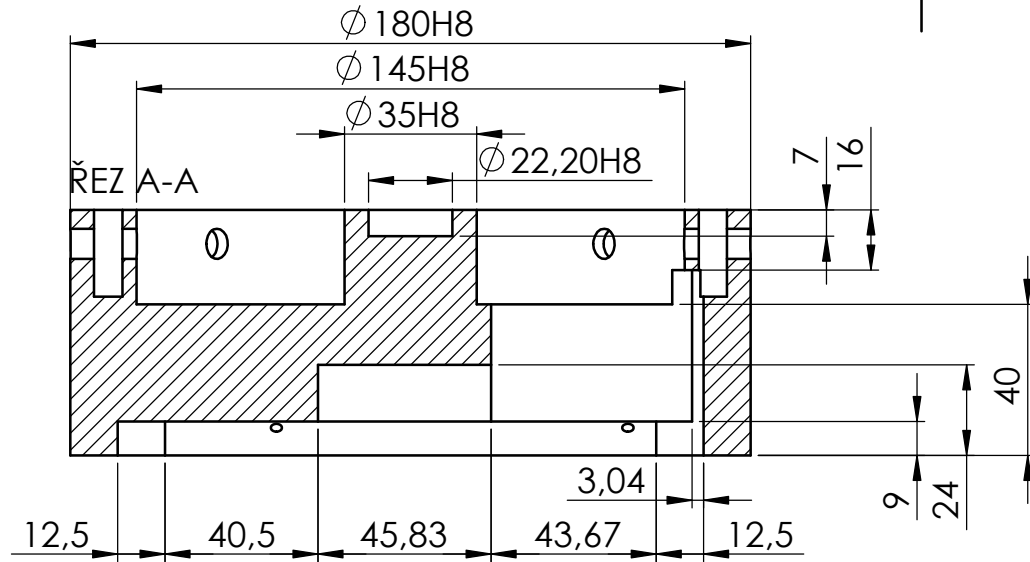


Netolerované rozměry ISO 2768 -mK

NÁZEV:

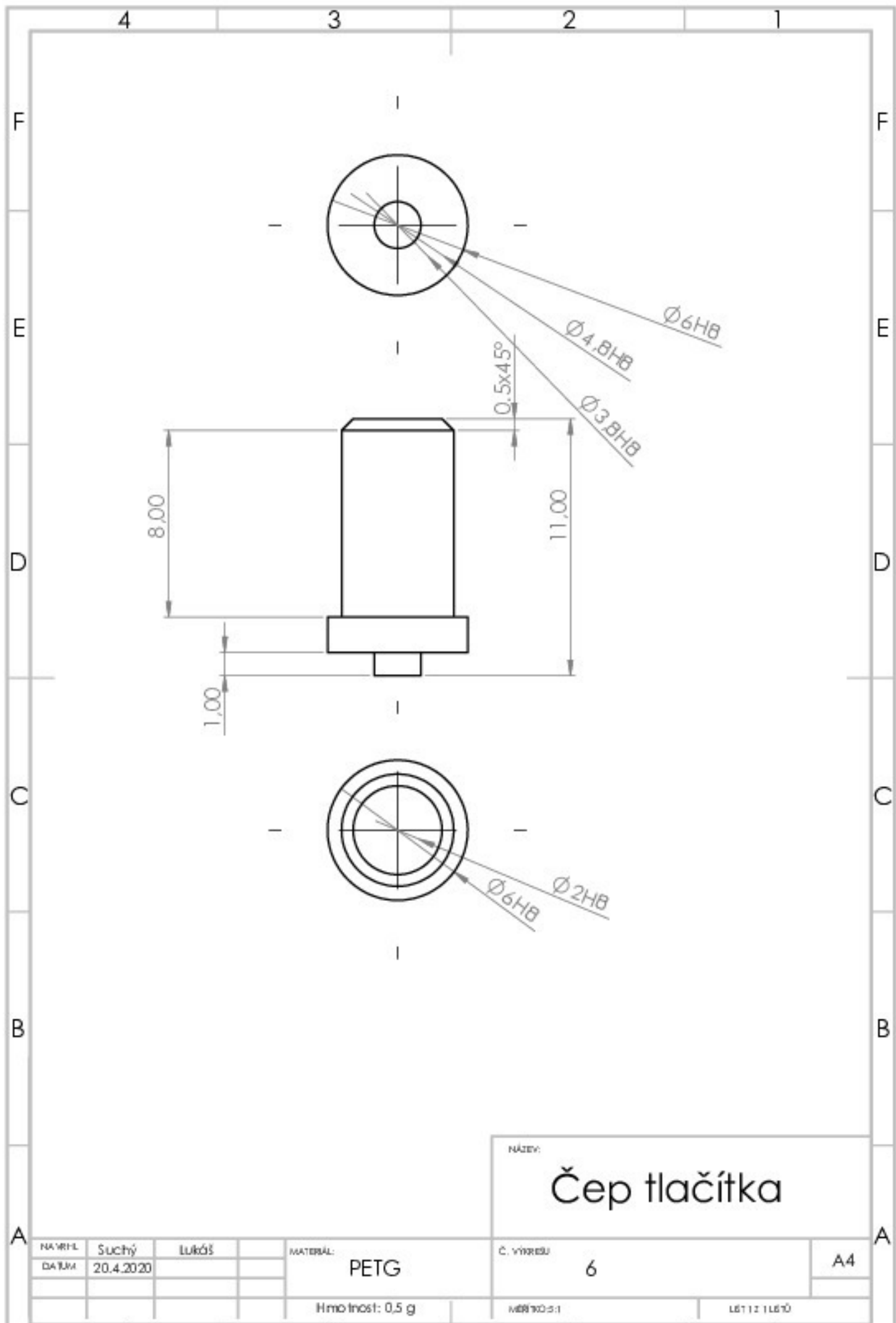
Ozubené kolo

NÁVŘÍL	Lukáš	Sučný	MATERIÁL:	PETG	Č. VÝKRESU	4	A4
DATAUM	30.4.2020		Hmotnost:	2g	MĚŘÍTKO 2:1		LE112 LE10



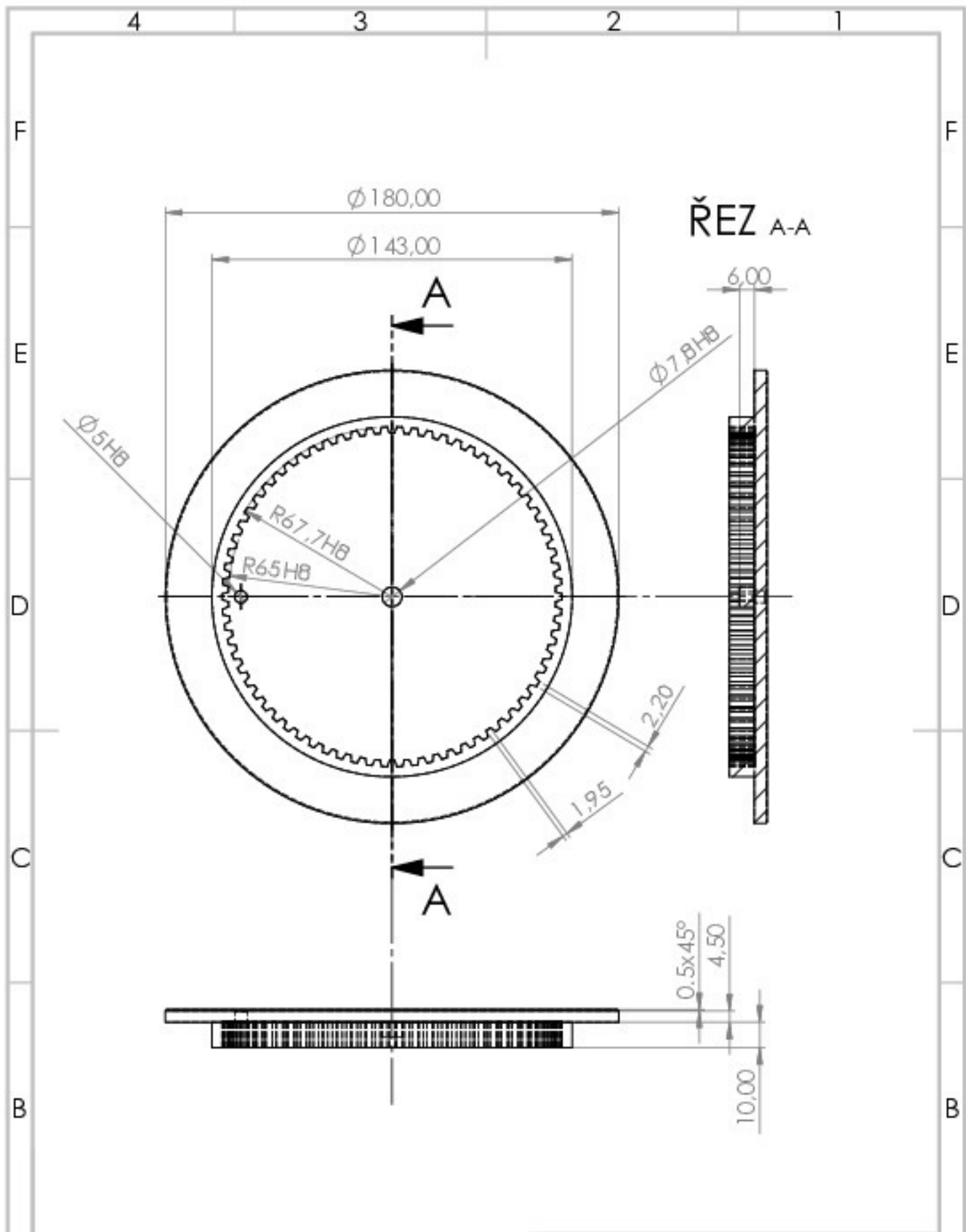
Netolerované rozměry ISO 2768 - mK
 NÁZEV:
podstavec_1

NAVRHL: Suchý Lukáš	MATERIÁL: PETG	Č. VÝKRESU: 5	A3
datum: 30.4.2020	HMOTNOST: 330g	MĚŘITKO: 1:2	LIST 1 Z 1 LISTŮ



NÁZEV:
Čep tlačítka

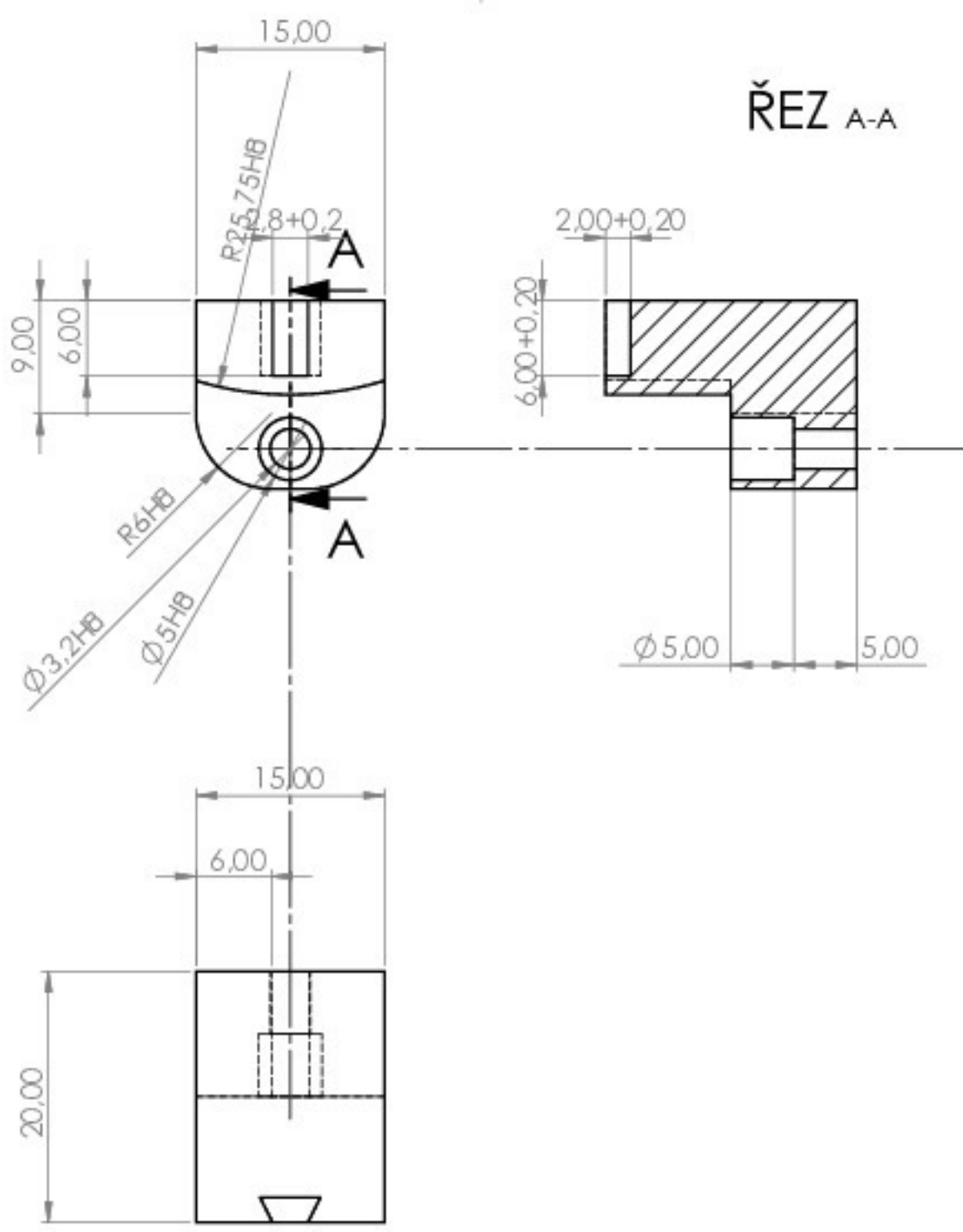
NÁVŘEL	Suchý	Lukáš	MATERIAL:	PETG	Č. VÝKRESU	6	A4	
DATAUM	20.4.2020		Hmotnost:	0,5 g	MĚŘÍTKO:	1:1	LEŽÍŠTÍ:	1 LEŽÍŠTÍ



Netolerované rozměry ISO 2768 - mK

NÁZEV:	Vrchní stolek		
Č. VÝKRESU	7	A4	
MĚŘÍTKO 1:2	LÉTÍ 12 1 ÚSTÍ		

NAVŘEL	Lukáš	Stuchý	MATERIÁL	PETG
DATUM	30.4.2020		HMOTNOST	96g

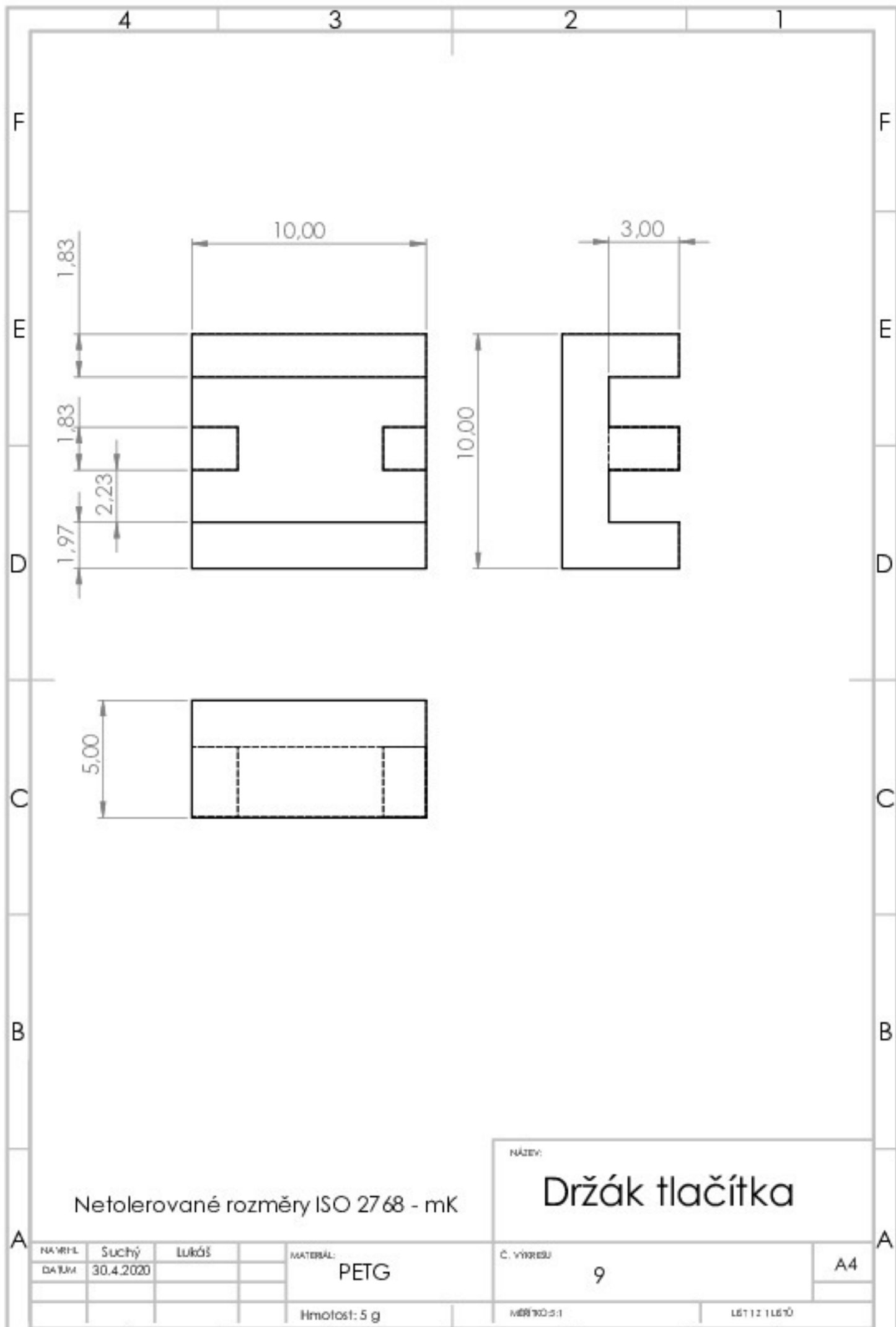


ŘEZ A-A

Netolerované rozměry ISO 2768 - mK

NÁZEV:		Držák snímače	
Č. VÝKRESU	8	A4	
MĚŘÍTKO 2:1		L6112 L610	

NÁVŘEL	Suchý	Lukáš	MATERIÁL:	PETG
DATAUM	30.4.2020		Hmotnost:	3g



Netolerované rozměry ISO 2768 - mK

NÁZEV:
Držák tlačítka

Č. VÝKRESU: 9

MĚŘÍTKO: 1:1

LEŽÍ LÍŽÍ

NÁVRHL:	Suchý	Lukáš	MATERIÁL:	PETG
DATAUM:	30.4.2020		Hmotost:	5 g

A4