

Česká zemědělská univerzita v Praze
Provozně ekonomická fakulta
Katedra informačních technologií



Diplomová práce
Fotogrammetrické měření závitů

Bc. Matej Šindlery

© 2021 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Provozně ekonomická fakulta

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Matej Šindléry

Systemové inženýrství a informatika
Informatika

Název práce

Fotogrammetrické měření závitů

Název anglicky

Metal nuts photogrammetric measurement

Cíle práce

S využitím technologií strojového vidění a implementací algoritmů umělé inteligence navrhnete strojové měření vnitřních závitů matic. Cílem je rozpoznání: stoupání, směr, tvar a profil vnitřního závitu matic od velikosti M10 do M39. Tato úloha do dnešního dne není úspěšně řešena technologií strojového vidění.

Cíle:

Navrhnete algoritmus, který rozpozná stoupání, směr, tvar a profil vnitřního závitu u matic od velikosti M10 do M39

Požadované výstupy

- 1) Softwarový prototyp v jazyce Python, který ze snímků matic určí požadované vlastnosti závitu.
- 2) Vhodná rešerše pro publikační činnost v vědeckém periodiku.

Metodika

Teoretická část se bude sestavena na základě studia odborné literatury popisující Fotogrammetrii a její využití ve strojovém vidění. Dále pak bude definovat základní charakteristiku zkoumaných objektů, matic od M10 do M39 dle ISO norem. Hlavním zdrojem budou především odborné a vědecké články a knihy.

Praktická část se bude skládat ze dvou částí.

V první část této diplomové práce bude sestaven softwarový prototyp v jazyce Python, který ze snímků matic dokáže určit požadované vlastnosti závitu matice.

V druhé části bude představena rešerše pro publikační činnost ve vědeckém periodiku.

Doporučený rozsah práce

53

Klíčová slova

Matice, Fotogrammetrické měření, Fotogrammetrie, měření závitů, Python

Doporučené zdroje informací

Soft Computing: Integrating Evolutionary, Neural, and Fuzzy Systems, Andrea Tettamanzi, Marco Tomassini, Springer Science & Business Media, 7. 9. 2001

Předběžný termín obhajoby

2019/20 ZS – PEF (únor 2020)

Vedoucí práce

Ing. Josef Pavlíček, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra informačního inženýrství

Elektronicky schváleno dne 29. 11. 2020

Ing. Martin Pelikán, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 29. 11. 2020

Ing. Martin Pelikán, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 31. 03. 2021

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Fotogrammetrické měření závitů" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne _____

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval Ing. Josefu Pavlíčkovi, Ph.D. za jeho rady a připomínky při vypracování mé diplomové práce. Dále bych velice rád poděkoval Matyldě Štancelové, Kateřině Plaché a Mgr. Mgr. Ingrid Šindleryové, za kontrolu a podporu při psaní této práce. A především bych rád poděkoval Bc. of IT and Bc. of Computer Systems Alexanderu Atanassovi za pomoc a korekturu zdrojového kódu.

Fotogrammetrické měření závitů

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabírala nalezením prototypu, jak pomocí fotogrammetrie najít parametry vnitřního závitu u matic se závitem M10 až M39. Hledané parametry závitu byly stoupání, směr a tvar profilu závitu. Softwarový prototyp byl navržen v jazyce Python.

V rámci teoretické části práce byly podrobně představeny teoretické základy, o které se práce opírá, zejména principy Fotogrammetrie, matice a závit. Byl zde uveden Cannyho hranový detektor, jenž byl použit v praktické části softwarového prototypu.

Praktická část byla rozdělena do dvou samostatných, ovšem provázaných částí. V první části byl představen princip nalezení kýžených parametrů závitu za pomoci dílčích aplikací psaných v jazyce Python. Byl popsán proces získání fotografií od nastavení hodnot fotoaparátu, po nastavení ideálních podmínek scény pro zpracování vytvořených fotografií pomocí prototypu. Dále pak byla provedena úprava fotografií pro zvýšení přesnosti vstupních dat. Následně se vyhodnotily výsledky vypočítané prototypem a srovnaly s tabulkovými hodnotami. Tak byla stanovena odchylka prototypu. V druhé části byla vypracována rešerše pojednávající o problematice řešení softwarového prototypu. Která může být využita pro publikační činnost ve vědeckém periodiku.

Klíčová slova: Matice, Fotogrammetrické měření, Fotogrammetrie, měření závitů, Python

Metal nuts photogrammetric measurement

Abstract

This diploma thesis followed up finding a prototype, how to determine parameters of internal thread of metal nuts from M10 to M39. Searched parameters of thread were gradient, direction and shape of thread profile. The software prototype was designed in programming language Python.

Within theoretical part of this thesis were described theoretical basics in detail, on which the thesis relies. Especially principles of Photogrammetry, metal nuts and thread. Canny's edge detector was mentioned, which was used in practical part of software prototype.

Practical part was divided into two independent, but intertwined sections. In the first section the principal of finding coveted thread parameters was introduced with assistance partial programs written in Python. Process of obtaining pictures was described from setting camera values to setting ideal conditions of the scene for processing created pictures by prototype. Then was executed photo editing to increase accuracy input data. Afterwards the results calculated with the prototype were evaluated and compared to table values. So was specified the deviation of the prototype. In the second section was developed research dealing with the solution issues of software prototype, which could be used in publishing activity in science periodical.

Keywords: photogrammetric measurement, Metal nuts, screw-thread

Obsah

1 Úvod	11
2 Cíl práce a metodika	12
2.1 Cíl práce	12
2.2 Metodika	12
3 Teoretická východiska	13
3.1 Matice	13
3.1.1 Tvar matice	13
3.1.2 Rozměry matice přesná šestihranná DIN 934, ČSN 02 1401	15
3.1.3 Šroub	15
3.1.4 Šroubový spoj	16
3.2 Závit	16
3.2.1 Základní parametry závitů	17
3.2.2 Rozdělení závitů	17
3.2.2.1 Rozdělení dle polohy vzhledem k základnímu tělesu	18
3.2.2.2 Rozdělení dle smyslu vinutí	18
3.2.2.3 Rozdělení dle počtu závitových ploch připadající na jedno stoupání	18
3.2.2.4 Rozdělení dle tvaru profilu závitů	18
3.3 Fotogrammetrie	20
3.3.1 Historie	20
3.3.2 Základní princip fotogrammetrie	21
3.3.3 3D geometrie	21
3.3.4 Digitální fotogrammetrie	22
3.4 Přehled HW a SW vybavení pro účely fotogrammetrie	22
3.4.1 Vstupní hardwarové vybavení	23
3.4.1.1 Smartphone nebo kompaktní fotoaparát	23
3.4.1.2 Digitální zrcadlovka	23
3.4.1.3 Video	23
3.4.2 Proces snímání obrazu	23
3.4.3 Hardwarové požadavky na počítač	24
3.4.4 Proces tvorby 3D modelu	24
3.4.4.1 Podmínky pro snímání	25
3.4.5 Softwarové vybavení	26
3.4.5.1 Python	26
3.4.5.2 Adobe Illustrator	27
3.4.5.3 Adobe Photoshop	27

3.4.6	Hardwarové vybavení	28
3.4.6.1	Digitální zrcadlovka	28
3.4.6.2	Počítač ke zpracování.....	29
3.4.7	Matematicko-fyzické podrobnosti.....	29
3.4.7.1	Lineární zobrazení.....	29
3.4.7.2	Crop faktor	30
4	Vlastní práce	31
4.1	Softwarový prototyp	31
4.1.1	Proces pořízení vstupních fotografií	31
4.1.1.1	Optimální vzdálenost a úhel.....	32
4.1.1.2	Optimální nastavení fotoaparátu	32
4.1.2	Úpravy fotografií.....	33
4.1.3	Tvorba kódu v Python	33
4.1.3.1	Cannyho hranový detektor	33
4.1.3.2	Měření vzdálenosti na snímku	35
4.1.4	Měření stoupání závitu	36
4.1.4.1	Měření vzdálenosti fotoaparátu k počátečnímu bodu zarovnání	36
4.1.4.2	Měření šíře matice.....	37
4.1.5	Výpočet atributů závitu	37
4.1.5.1	Přepočítání na reálnou vzdálenost mezi závitem a středem objektivu... ..	38
4.1.5.2	Přepočítání ekvivalentní ohniskové vzdálenosti	38
4.1.5.3	Identifikace matice	39
4.1.5.4	Výpočet vzdáleností mezi body A1, B1 a A2, B2	39
4.1.5.5	Výpočet stoupání závitu.....	40
4.2	Rešerše.....	41
5	Výsledky a diskuse.....	45
5.1	Výsledky	45
5.2	Diskuse	46
6	Závěr	49
7	Reference	51
8	Přílohy.....	53

Seznam obrázků

Obrázek 1 Základní parametry matice (4).....	15
Obrázek 2: Základní parametry závitů (7)	17
Obrázek 3: Rozdělení dle smyslu vinutí (8).....	18
Obrázek 4: Jednochodý závit, trojchodý závit (8).....	18
Obrázek 5: ISO 68-1, ISO 261 (9)	19
Obrázek 6 Schéma lineárního zobrazení (27)	29
Obrázek 7 Fotografie fotografování	31
Obrázek 8 Schéma fotografování	32
Obrázek 9 Porovnání sigmy vlevo $\sigma=1,5$ uprostřed $\sigma= 2,0$ a vpravo $\sigma=2,75$	34
Obrázek 10 Vzhled aplikace Cannyho hranového detektoru	34
Obrázek 11 Canny z upravené fotografie.....	35
Obrázek 12 Canny z původní fotografie bez úprav.....	35
Obrázek 13 Příklad měření šíře matice	35
Obrázek 14 Schéma fotografování	40

Seznam tabulek

Tabulka 1: Tvary matic dle norem (2).....	14
Tabulka 2 Základní rozměry matic (4).....	15
Tabulka 3: Metrický závit – stoupání (9)	20
Tabulka 4 Výsledky	45

Seznam rovnic

Rovnice 1 Lineární zobrazení středová souměrnost.....	29
Rovnice 2 Transformovaná rovnice pro výpočet h	29
Rovnice 3 Ekvivalentní ohnisková vzdálenost.....	30
Rovnice 4 Pythagorova věta.....	38
Rovnice 5 Transformovaná Pythagorova věta pro výpočet odvěsny b	38

1 Úvod

V technické praxi patří šroubová spojení ke skupině nejpoužívanějších možností, pomocí nichž lze vytvořit spojení dvou či vícero konstrukčních součástí. Šroubové spoje jsou tvořeny spojením šroubu a matice, mohou být opatřeny i podložkou či těsněním. Z tohoto důvodu je potřeba rozeznávání matic a jejich parametrů významná.

Tato práce byla rozdělena do dvou částí. Na teoretickou a praktickou část. Teoretická část se zabývala vyhledáním a seskupením teoretických základů, na kterých byla postavena část praktická. Především se jednalo o informace o maticích, jejich vlastnostech a možných tvarech, závitů a jeho specifikacích a fotometrie.

Praktická část byla rozdělena do dvou samostatných částí. První část se zabývala nalezením cesty, jak získat kýžené parametry závitů matice (stoupání, směr a tvar profilu závitů). A jejím zpracováním na vzorku 60 fotografiích, které byly nejdříve pořízeny a upraveny. Tím byly stanoveny podmínky, které jsou nutné dodržet pro vytvoření vstupních fotografií do softwarového prototypu, psaném v jazyce Python. Výsledné hodnoty spočteny za pomoci prototypu byly v závěru porovnány s tabulkovými hodnotami a byla stanovena přesnost výpočtů z odchylek.

V druhé části byla vypracována rešerše pojednávající o problematice řešení softwarového prototypu. Která může být ti využita pro publikační činnost ve vědeckém periodiku.

2 Cíl práce a metodika

S využitím technologií strojového vidění a implementací algoritmů umělé inteligence navrhnete strojové měření vnitřních závitů matek. Cílem je rozpoznání: stoupání, směr, tvar a profil vnitřního závitu matek od velikosti M10 do M39. Tato úloha do dnešního dne není úspěšně řešena technologií strojového vidění.

2.1 Cíl práce

Navrhne algoritmus, který rozpozná stoupání, směr, tvar a profil vnitřního závitu u matek od velikosti M10 do M39. Požadované výstupy:

- 1) Softwarový prototyp v jazyce Python, který ze snímků matek určí požadované vlastnosti závitu.
- 2) Vhodná rešerše pro publikační činnost ve vědeckém periodiku.

2.2 Metodika

Teoretická část se bude sestavena na základě studia odborné literatury popisující Fotogrametrii a její využití ve strojovém vidění. Dále pak bude definovat základní charakteristiku zkoumaných objektů, maticí od M10 do M39 dle ISO norem. Hlavním zdrojem budou především odborné a vědecké články a knihy.

Praktická část se bude skládat ze dvou částí.

V první část této diplomové práce bude sestaven softwarový prototyp v jazyce Python, který ze snímků matic dokáže určit požadované vlastnosti závitu matice.

V druhé části bude představena rešerše pro publikační činnost ve vědeckém periodiku.

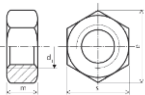
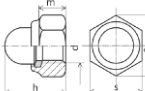
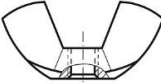

3 Teoretická východiska

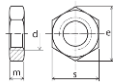


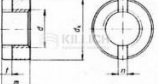
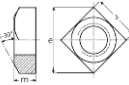
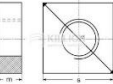
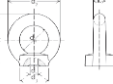
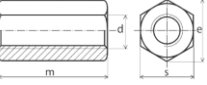
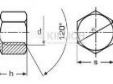
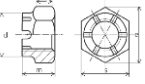
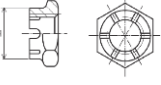
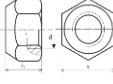
Nejprve si musíme přesně určit a pojmenovat zásadní pojmy pro další využití v práci, aby nedocházelo k rozličným pochopením, nebo také nepochopením. Na následující pojmy budeme nahlížet dle platných českých norem ČSN a norem ISO 9000, stanovaných Mezinárodní organizací pro normalizaci.

3.1 Matice

Matice je definována jako doplněk k šroubu. Jedná se o krátký válec, který obsahuje vnitřní závit. Ten slouží k uchycení na šroubu, svorníku či závitnici. Vnější tvar nabývá nejčastěji podobu šestihranného hranolu, který slouží k lepší manipulaci při dotahování matice. Neznámější jsou matice šestihranné dle DIN 934, nejčastěji vyráběné z oceli, výjimkou nejsou nerezové či mosazné. Běžnou součástí je také povrchová úprava – bílý zinek, žárový zinek, žlutý zinek nebo černý zinek. Německá metrická soustava závitů byla kompletně převzata normami ISO a ČSN. ISO 261 specifikuje seznam doporučených kombinací průměru závitu D a jeho stoupání P. ISO 262 specifikuje podmnožinu doporučených rozměrů. Přehled nejpoužívanějších matic je ve strojnických tabulkách. V technické praxi patří matice mezi základní spojovací materiál. (1)

3.1.1 Tvar matice

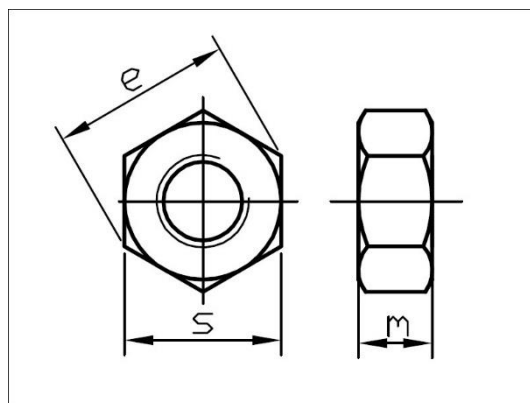
Zobrazení	Název	DIN	ISO	ČSN EN
	Matice šestihranná	934	4032	03 1401
	Matice kloubová uzavřená	1587	--	02 1431
	Matice křídlová americký typ	315	--	02 1665
	Matice křídlová německý typ	315	--	02 1665

	Matice nízká šestihhranná	439B	4035	02 1403
	Matice rýhovaná nízká	467	--	02 1462
	Matice rýhovaná vysoká	466	--	02 1461
	Matice kulatá	546	--	02 1444
	Matice čtyřhranná vysoká	557	--	02 1624
	Matice čtyřhranná nízká	562	--	02 1416
	Matice závěsná s okem	582	--	02 1669
	Matice spojovací prodlužovací	6334	--	02 1604
	Matice uzavřená	917	--	02 1431
	Matice korunková vysoká	935	--	02 1411
	Matice korunková nízká	937	--	02 1412
	Matice pojistná	980	7042	02 1495

Tabulka 1: Tvary matic dle norem (2)

3.1.2 Rozměry matice přesná šestihhranná DIN 934, ČSN 02 1401

Šestihhranné přesné matice jsou standardizovaných rozměrů dle diametru závitu dle normy DIN 934 s pevností 8. Jejich povrch je ošetřen bílým galvanickým pozinkováním, který poskytuje ochranu proti vzdušné korozi. Matice je vyráběna z uhlíkové oceli. (3)



Obrázek 1 Základní parametry matice (4)

Označení	Rozměr S	Rozměr E	Rozměr M
M10	17,0	18,9	8,0
M12	19,0	21,1	10,0
M14	22,0	24,5	11,0
M16	24,0	26,8	13,0
M18	27,0	29,6	15,0
M20	30,0	33,0	16,0
M22	32,0	35,0	18,0
M24	36,0	39,6	19,0
M27	41,0	45,2	22,0
M30	46,0	50,9	24,0
M33	50,0	55,4	26,0
M36	55,0	60,8	29,0
M39	60,0	66,4	31,0

Tabulka 2 Základní rozměry matek (4)

3.1.3 Šroub

Šroub je jednoduchý stroj, jehož hlavní částí je závit. Otáčením závitu dochází k posouvání matice, případně k posouvání tělesa v závitě. Závit je vlastně zatočená nakloněná rovina, síla posunu po nakloněné rovině (u matice posun po závitě při otáčení) je menší než síla potřebná ke zdvihnutí tělesa samotného. Šroub je základem i mnohých vynálezů, například lodní šroub anebo Archimedův šroub (jeden z prvních čerpadel).

3.1.4 Šroubový spoj

Šroubové spoje jsou jeden ze základních univerzálních konstrukčních prvků, které se používají pro spojování konstrukcí, jejich částí a dílů. Patří mezi rozebíratelné spojení strojních součástí. Jsou tvořeny šroubem (respektive svorníkem), maticí, popřípadě jednou nebo dvěma podložkami. Někdy je matice nahrazena závitem, vyřezaným přímo v jedné ze spojovaných částí. Mezi hlavou šroubu a maticí jsou pevně sevřeny spojované části. Šroubové spoje patří mezi spoje se silovým stykem. Utažený šroubový spoj může přenášet vnější silové zatížení působící ve směru osy šroubu i kolmo k této ose. Spojovací šrouby jsou obvykle samosvorné (nesmějí se uvolnit ani při sebevětší síle). (5)

3.2 Závít

„Závít je technický prvek strojní součásti, jehož tvar je určen závítovou plochou. Ta vznikne navinutím profilu závitu na válec podél šroubovice v daném stoupání.“ (6)

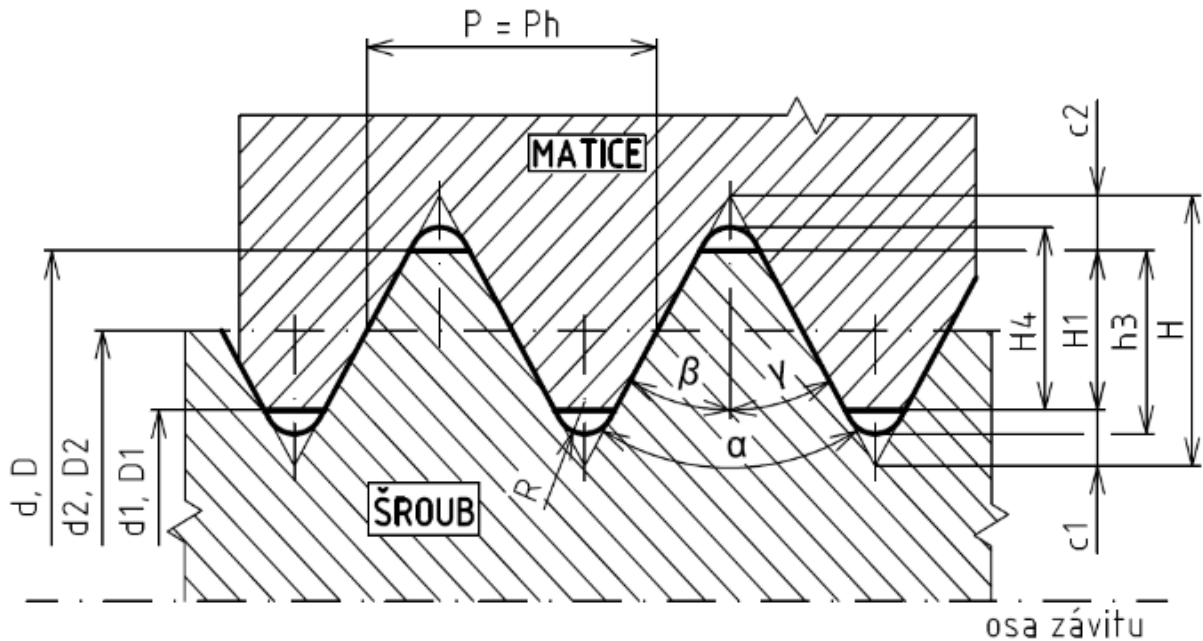
Závítová plocha: plocha vzniklá pohybem profilu závitu tak, že každý jeho bod opisuje šroubovici; přitom osový posun za jednu otáčku se rovná kolmému průmětu profilu závitu do osy, nebo násobku této délky celým číslem

Šroubovice: čára, kterou vytvoří bod, otáčí-li se rovnoměrně kolem pevné osy a zároveň se rovnoměrně v jejím směru posouvá

Profil závitu: plocha ohraničená myšlenou křivkou nebo lomenou čarou, která je omezena dvěma stejnohlými body ležícími na rovnoběžce s osou závitu (ve směru stoupání). Vrcholy hraniční čáry profilu závitu jsou obvykle zkoseny nebo zaobleny.

Stoupání: axiální vzdálenost o kterou se vzájemně vůči sobě posunou pevné matice na otočném šroubu, pokud se šroub otočí o jednu otáčku. U jednochodých závitů je to současně vzdálenost stejnohlých bodů závitu v axiálním směru, mezi sousedními závity.

3.2.1 Základní parametry závitů



Obrázek 2: Základní parametry závitů (7)

d – velký průměr závitu šroubu

d2 – střední průměr závitu šroubu

d3 – malý průměr závitu šroubu

D – velký průměr závitu matice

D1 – malý průměr závitu matice

D2 – střední průměr závitu matice

P – rozteč závitu

Ph – stoupání závitu

α – úhel profilu závitu

β, γ – úhly boků závitu

R – poloměr zaoblení

H – výška základního trojúhelníku

H1 – nosná výška závitu

h3 – výška závitu šroubu

H4 – výška závitu matice

c1 – seřiznutí závitu matice

c2 – seřiznutí závitu šroubu

3.2.2 Rozdělení závitů

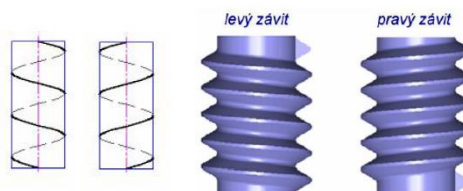
Závity se rozdělují dle polohy profilu vzhledem k základnímu tělesu: vnější (šroub) a vnitřní (matice), dle smyslu vinutí: pravé a levé, dle počtu závitových ploch připadajících na jedno stoupání: jednochodé a vícechodé, dle tvaru profilu závitu: metrický, Whitworthův, Edisonův, pancéřový atd. (8)

3.2.2.1 Rozdělení dle polohy vzhledem k základnímu tělesu

Závity jsou rozdělovány na dvě skupiny. Vnější, pro vedení závitu na tělesu po vnější straně (šroub) a na vnitřní, kde je závit veden po vnitřní straně tělesa (matice).

3.2.2.2 Rozdělení dle smyslu vinutí

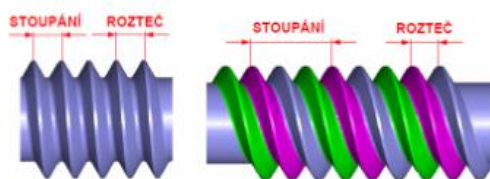
Nejčastěji používaný závit jest pravý, vzniklý vinutím v pravé šroubovici. Méně pak používaný závit je levý. Vyrobený vinutím v levé šroubovici. Označovány také LH (left hand).



Obrázek 3: Rozdělení dle smyslu vinutí (8)

3.2.2.3 Rozdělení dle počtu závitových ploch připadající na jedno stoupání

Závity rozdělujeme na jednochodé a několikachodé. U jednochodých je počet závitových ploch v závitě roven jedné. U několikachodých závitů je počet závitových ploch více než jedna, nejčastěji dvouchodé a trojchodé, vícero jak trojchodé se v praxi málo kdy používají.



Obrázek 4: Jednochodý závit, trojchodý závit (8)

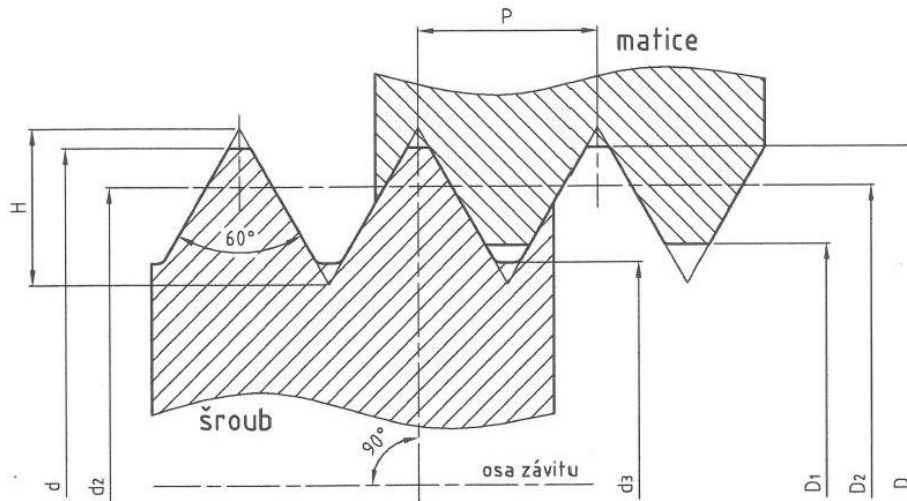
3.2.2.4 Rozdělení dle tvaru profilu závitu

Profil závitu je osovým řezem. Nejpoužívanější je trojúhelníkový, kde vrcholový úhel trojúhelníku (úhel profilu závitu) nabývá 60° , takový profil nazýváme metrický, vrcholový úhel může také nabýt 55° a 30° . Osový řez také může být čtvercový, lichoběžníkový souměrný anebo nesouměrný, oblý apod.

3.2.2.4.1 Metrický závit

Metrický závit (Obrázek 5: ISO 68-1, ISO 261) je nejrozšířenějším druhem závitu pro spojovací šroubové spoje. Tvar a rozměry závitu jsou definované v ISO normě, standard ISO 68-1. Závit je charakterizován svým průměrem D a stoupáním závitu P .

Závít je geometricky tvořen symetrickým „V“ profilem. Specifikace metrického závitu spočívá v zachování jednotnosti úhlu profilu závitu na přesných 60° . Vyrábí se ve dvou rozměrových normalizovaných řadách – v řadě základní a v řadě s jemným stoupáním. Označují se písmenem M a velkým průměrem závitu – např.: M 10. Při použití závitu s jemným stoupáním přidáváme údaj o jeho stoupání – např.: M 20 \times 1,5. (10)



Obrázek 5: ISO 68-1, ISO 261 (9)

Nejpoužívanější je hrubý závit, proto je považován za standartní a termín hrubý se nevyužívá.

Termíny hrubý a jemný se vztahují pouze na stoupání (a tím i na hloubku) závitu, v žádném případě se nevztahují na povrchovou úpravu nebo kvalitu.

3.2.2.4.2 Jemný závit

Jemný závit se používá ve speciálních případech, například v automobilovém nebo leteckém průmyslu, pro jeho vyšší odolnost proti vibracím. Kromě toho se používá například na tenkostěnných trubkách, protože hrubý závit by zasahoval příliš hluboko a mohl by snížit mechanickou odolnost trubky.

Označení závitu (pr.D,D)	Základní stoupání (hrubý závit)	Jemné stoupání (jemný závit)				
M10	1,50	1,25	1,00	0,75	0,50	
M12	1,75	1,50	1,25	1,00	0,75	
M14	2,00	1,50	1,25	1,00	0,75	

M16	2,00	1,50	1,00	0,75	0,50
M18	2,50	2,00	1,50	1,00	0,75
M20	2,50	2,00	1,50	1,00	0,75
M22	2,50	2,00	1,50	1,00	0,75
M24	3,00	2,00	1,50	1,00	0,75
M27	3,00	2,00	1,50	1,00	--
M30	3,50	3,00	2,00	1,50	1,00
M33	3,50	3,00	2,00	1,50	1,00
M36	4,00	3,00	2,00	1,50	1,00
M39	4,00	3,00	2,00	1,50	1,00

Tabulka 3: Metrický závit – stoupání (9)

3.3 Fotogrammetrie

Fotogrammetrie je vědní obor, který se zabývá získáváním informací (především geometrických vztahů) z obrazových záznamů (nejčastěji měřických snímků).

Informace → geometrické vztahy – tvar, velikost a poloha objektů zobrazených na snímcích (speciálními metodami, tj. snímkováním ve více spektrálních pásmech, lze zjišťovat též druh a stav objektů).

Obrazový záznam → měřický snímek – fotografický snímek pořízený za speciálních podmínek měřickou komorou (lze použít též snímky semiměřické, neměřické nebo jiné obrazové záznamy, např. data dálkového průzkumu Země). (11)

3.3.1 Historie

Původ fotogrammetrie sahá až do roku 1480, kde Leonardo da Vinci vyvinul koncept perspektivy a projektivní geometrie. Poprvé byla fotogrammetrie použita v roce 1849 francouzským geodetem Aragem pomocí procesu nazývaném „Daguarreotype“. Vývoj fotogrammetrie byl nejvíce ovlivněn objevem fotografie. V období před vynalezením fotografických snímků se využívala metoda, která se nazývá ikonometrie. V jejímž procesu se namísto fotografických snímků používaly perspektivní obrázky kreslené volnou rukou. V roce 1851 francouzský důstojník Aime Laussedat, který se pokládá za zakladatele průsekové fotogrammetrie, začal zhotovovat plány a mapy za pomoci fotogrammetrických snímků. Stereofotogrammetrie vznikla v roce 1901 po zkonstruování prvního přístroje

stereokomparátoru. První leteckou fotografií zachycenou z letadla za účelem mapování vytvořil roku 1908 kapitán Cesare Tardivo.

Moderní fotogrammetrie vznikla na základě stereoautografu, který byl vynalezen ve 30. letech 20. století. Tato zařízení umožnila uživateli prohlížet dvě fotografie současně a tak z těchto fotografií vytvořit trojrozměrný obraz, ze kterého potom mohl uživatel zjistit informace o hloubce a následovně je zapsat na papír. Zakreslením hloubky vytvořil topologii map. Se zavedením výpočetní techniky byly v 60. letech 20. století vynalezeny digitálně analytické stereografy, které odstartovaly moderní fotogrammetrické 3D modelování. (12)

3.3.2 Základní princip fotogrammetrie

Fotogrammetrie zahrnuje metodu měření a interpretace obrazu s cílem určit tvar a umístění objektu z jedné nebo vícero fotografií snímaného objektu. V principu se může metoda fotogrammetrie využít v každé situaci, kde je možné zhotovit fotografii měřeného objektu. Primárním účelem fotogrammetrického měření je trojrozměrná rekonstrukce objektu v digitální nebo grafické podobě.

Tvorba 3D modelu z fotografie zahrnuje různé prvky, které tento proces ovlivňují a to například: zdroj světla, vlastnosti povrchu objektu, medium, kterým světlo prochází, technologie fotoaparátu, zpracování obrazu.

Různé metody interpretace a měření fotogrammetrií umožňují určit polohu bodu objektu podle tvaru, jasu nebo rozptylu barev objektu. Pro každý bod snímku existuje hodnota ve formě radiometrických a geometrických dat. Po získání těchto dat je možné pomocí matematické transformace mezi snímkem a objektem vymodelovat 3D objekt. (12)

3.3.3 3D geometrie

Geometrickým principem vzniku digitálního, a tedy i fotogrammetrického snímku je centrální projekce. Mezi snímaným objektem a jeho fotogrammetrickým snímkem během expozice existuje vztah, který definujeme jako fotogrammetrický svazek paprsků – tento svazek prochází středem promítání. Když poznáme tvar a polohu fotogrammetrického svazku paprsků, můžeme definovat tvar a velikost objektů zobrazených na snímku. Z jedné fotografie (dvojměrné roviny) je možné získat jen dvojměrné souřadnice bodů. Jestliže potřebujeme trojrozměrné souřadnice, potřebujeme dvě anebo vícero fotografií stejného objektu, ale

snímané z rozdílných perspektiv. Pomocí fotogrammetrického softwaru dokážeme přetvořit 2D fotografii na 3D model, Tyto softwary využívají princip 3D geometrie. Tyto paprsky začínají v bodech fotografií a prodlouží se k reálnému 3D bodu. Software potřebuje více informací z fotografií, hlavně pozici a úhel fotoaparátu, taktéž ohniskovou vzdálenost a rozptyl čočky. S těmito informacemi dokáže najít geometrický průsečík světelných paprsků a zároveň zjistí i umístění bodů v 3D prostředí. Tato funkce se nazývá „point matching“ a může být vykonána automaticky nebo manuálně. Po tom, co software zjistí pozici 3D bodů, vytvoří čáry, povrchy a celé 3D modely. (13)

3.3.4 Digitální fotogrammetrie

Předpokladem pro vytvoření digitální fotogrammetrie je digitální snímek, který je v rastrové podobě. Digitální fotogrammetrie vychází z analytické fotogrammetrie, využívá digitální snímky v počítačovém prostředí. Digitální obraz je možné získat přímo digitálním snímačem nebo skenováním analogových snímků. Díky tomu, že celé zpracování probíhá v digitálním prostředí pomocí softwaru, má digitální fotogrammetrie velký potenciál při automatizaci jednotlivých pracovních úkonů. Digitální snímek je kompatibilní se zobrazením analogového snímku. Tento snímek je rozdělený do pixelů, kde má každý v digitální souřadnicové soustavě svoje souřadnice a obsahuje i informaci o denzitě ve formě čísla. Spojení velkého množství pixelů vzniká spojitý obraz. (14)

3.4 Přehled HW a SW vybavení pro účely fotogrammetrie

Základním vybavením pro vytváření 3D modelů pomocí fotogrammetrie jsou: fotoaparát, stativ, počítač a software. Práce může být odlehčena použitím točny, aby se systematicky fotografovalo velké množství fotografií s dostatečným překrytím. Točna zabezpečí dostatečnou přesnost při fotografování a udržuje požadovanou polohu sledovaného objektu. V některých případech může být použito i dodatečné osvětlení nebo fotografický stan, aby byly zabezpečeny vhodné světelné podmínky na získání kvalitních snímků objektu. (15)

3.4.1 Vstupní hardwarové vybavení

Snímky pro tvorbu 3D modelů pomocí fotogrammetrie je možné získat různými způsoby, které se rozdělí z hlediska cenové náročnosti, kvality snímku a způsobu snímání do tří kategorií.

3.4.1.1 Smartphone nebo kompaktní fotoaparát

3D modely je možné vytvořit pomocí jednoduchého kompaktního fotoaparátu anebo mobilního telefonu s rozlišením nejméně 5 mega pixelů. Jedná se o nejvíce finančně dostupnou metodu. Při nejnižším možném rozlišení fotografií je možno dosáhnout přesnosti modelů 1,3 mm.

3.4.1.2 Digitální zrcadlovka

Pro tvorbu modelů s vyšší kvalitou a přesností je potřebné použít digitální zrcadlovku. Doporučuje se využít objektiv s pevným ohniskem a ohniskovou vzdálenost přibližně 50 mm. Nedoporučuje se použití širokoúhlých objektivů a objektivů typu rybí oko, které zkreslují snímky a způsobují minimální použitelnost pro software. Tato metoda je více finančně náročná dosahuje přesnost 0,1 mm.

3.4.1.3 Video

Některé fotogrammetrické softwary poskytují i možnost tvorby modelů z videa. Po importování souboru software automaticky z videa vygeneruje sérii snímků, které jsou následovně použity pro výpočet modelu. Výhodou tohoto typu snímání je rychlost snímání objektu. Nevýhodou je nižší kvalita výsledného modelu, z důvodu nižší kvality a možného rozostření snímků které vznikají při pohybu kamery. (16)

3.4.2 Proces snímání obrazu

Existuje široká škála zařízení na záznam obrazu dostupných pro účely blízké fotogrammetrie. Tyto zařízení je možné klasifikovat jako fotoaparát nebo kamera.

Prakticky všechny moderní zobrazovací senzory jdou navrhnout na základě technologie CMOS (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor). Jedná se o nejrozšířenější druh snímacího čipu v digitálních fotoaparátech. Čip je pokryt světločivnými pixely. Každý pixel má vlastní obvod, který konvertuje napětí na digitální data.

3.4.3 Hardwarové požadavky na počítač

Fotogrammetrický software má zvýšené nároky na hardwarové vybavení počítače, ovšem blížká fotogrammetrie nezatěžuje hardware stejně jako letecká, protože pracuje s modely výrazně menšími, které nemají tak vysoké počty bodů. Hardwarové požadavky jsou u jednotlivých softwarů rozdílné, ale některé podmínky by měly být dodrženy. Základem je dostatečný výkon procesoru, od kterého závisí čas zpracování modelu. Čím více jader má software k dispozici, tím rychleji bude výsledný model dokončen. Důležité je, aby počítač měl dostatečně velkou operační paměť (RAM), především při zpracování složitějších modelů. Minimální operační paměť je stanovena na 16 GB. (17)

3.4.4 Proces tvorby 3D modelu

Existuje velké množství fotogrammetrických softwarů, které tvoří 3D modely z fotografií anebo z videí. Proces tvorby 3D modelu je v principu stejný u všech softwarů, některé mají ale vlastnosti, které je odlišují.

První fází je načtení souborů fotografií anebo videa. Doba této fáze závisí na množství fotografií a jejich rozlišení. Zpracování videa je ve většině případů časově náročnější, protože software musí vygenerovat z importovaného videa požadovaný počet snímků.

V druhé fázi jsou snímky zarovnané (align images). Účelem zarovnání je vypočítat polohu a orientaci fotoaparátu v okamžiku, kdy byla fotografie snímána. Tento proces se vykonává porovnáním digitálních barevných hodnot RGB vybraných pixelů mezi jednotlivými fotografiemi. Protože počet pixelů je velmi vysoký, pro porovnání se vybere jen určité množství pixelů.

Třetí fází je výpočet mračna bodů (sparse point cloud) pomocí trigonometrického algoritmu s použitím vazebních bodů, polohy kamery a údajů z čočky fotoaparátu. Mračno bodů je skupina bodů v trojrozměrném prostoru, kde každý bod má souřadnice x, y, z a určitou

barevnou hodnotu. Po vytvoření mračna bodů je uživatel schopen přesněji definovat objekt, který se má modelovat, a tak odstranit nepotřebné části finálního objektu.

Ve čtvrté fázi software vypočítá husté mračno bodů (dense point cloud). Využívá se zde větší množství pixelů s fotografií. Jestliže software v procesu rekonstrukce používá všechny hodnoty pixelů, musí v závislosti na algoritmu zpracovat miliony pixelů. Přesnost tohoto algoritmu vytváří výrazné rozdíly mezi jednotlivými softwary, a tak ovlivňuje kvalitu výsledných modelů.

Pátá fáze procesu vytváří polygonální geometrii 3D prostoru. Software vytvoří síť (mesh), která odpovídá značné části bodů.

V šesté fázi software vytváří 1 nebo vícero 2D obrázků, nazývaných texturové mapy, které tvoří texturu pro 3D model.

Sedmá a závěrečná fáze je uložení 3D modelu s texturou ve softwarem podporovaném formátu. (17)

3.4.4.1 Podmínky pro snímání

Při tvorbě fotografií pro účely fotogrammetrie existují základní pravidla. Na fotoaparátu by se nemělo používat automatické nastavení hodnot, ani blesk, protože odstín barev a hodnoty jasu by měly být na všech fotografiích stejné. Sousedící fotografie by se měly překrývat přibližně na 20 % až 50 %. Software analyzuje pixely na jednotlivých fotografiích. Pixely, které mají stejné hodnoty barev se nazývají spojovací body (tie points). Body, které se překrývají umožní software u identifikovat pozici fotoaparátu a vytvořit mračno bodů na základě kterých vzniká 3D model.

Pro tvorbu fotogrammetrických modelů není vhodné používat rozmazané fotografie anebo fotografie s nízkou kvalitou. Po dobu snímání by v záběru neměl být žádný pohybující se objekt. Je velmi potřebné vyhnout se transparentním a lesklým povrchům, protože je software vnímá jako pohybující se objekt a způsobují defekty na modelech. Taktéž je potřeba vyhnout se velkým změnám intenzity světla a velmi tmavým stínům. (18)

3.4.5 Softwarové vybavení

Základní softwarové vybavení je operační systém počítače, v tomto případě se jednalo o Windows 10. Dále bylo zapotřebí pro využití programovacího jazyku Python implementovat knihovny Canny Edge Detection.

3.4.5.1 Python

Python je programovací jazyk objektově orientovaný, jenž byl vytvořen v roce 1991 Guidem van Rossumem a nazval jej Python dle komické skupiny Monty Python. Python je beztypový interpretovaný (skriptovací) jazyk. Je vnímán i jako open source projekt a současná verze je 3.9.2. Největší výhodou je obrovské množství open source knihoven, které je možné neomezeně využívat. (19)

3.4.5.1.1 Canny Edge Detection

Cannyho hranový detektor je víceřadový algoritmus, který byl vyvinut Johnem F. Cannyem v roce 1986 v návaznosti na jeho hranovou teorii. (20) Kde problém optimální hranové detekce definoval na tradičním modelu detekce skokové hrany v jednorozměrném signálu zatíženého bílým Gaussovým šumem.

3.4.5.1.2 Kroky Cannyho detektoru hran

Na Dvouřadový obraz se implementuje čtyř řadový algoritmus, který Canny uspořádal z následujících kroků:

- Eliminace šumu
- Výpočet magnitudy a směru gradientu
- Nalezení lokálních maxim
- Prahování s hysterezí (pomocí dvou prahů)

Prvním krokem je eliminace šumu (Noise reduction). Tento krok je nesmírně důležitý, neboť šum v obraze může ovlivnit další kroky detekce i její celkový výsledky. K odstranění šumu Cannyho hranový detektor používá konvoluci s Gaussovým filtrem (reprezentovaným

maticí o rozměrech 5x5). Velikost směrodatné odchylky Gaussova filtru udává míru rozostření a tím i celkovou citlivost detektoru na šum.

Výpočet velikosti a směru gradientu (Finding Intensity Gradient of the Image) je prováděn detekcí hran pomocí některé z metod založených na první derivaci, například Robertsův, Prewittové a Sobelův, s jejíž pomocí jsme schopni spočítat nejen velikost magnitudy, ale také směr hran.

Třetím krokem algoritmu je nalezení lokálních maxim (Non-maximum Suppression) jehož cílem je převést hranový obraz na obrazy o tloušťce jednoho bodu. Základní částí tohoto algoritmu je rozdělení hran dle směru gradientu do čtyř rozdílných skupin. Skupiny jsou rozděleny dle čtyř úhlů (0° , 45° , 90° a 135°) a body jsou k nim přiřazeny dle směru gradientu. Toto rozdělení je na základě vzdálenosti od referenčních úhlů. Hledání maxim se nazývá „thining“, neboli ztenčení.

Posledním krokem je prahování s hysterezí (Hysteresis Thresholding). Na rozdíl od klasického prahování se zde nepoužívá práh jeden, nýbrž dva. Důvodem je možné kolísání hodnot bodů obrazu v důsledku šumu, které by mohlo znehodnotit výstupní obraz. Pokud použijeme prahy dva, mezi kterými hodnota magnitudy může kolísat, značně tento jev omezíme. Body obrazu s vyšší hodnotou, než je velikost horního prahu, automaticky označíme jako hranu. Body obrazu jejichž hodnoty magnitudy se nachází v rozmezí vytyčeném horním a dolním prahem, jsou uznány za hranu pouze tehdy, pokud sousedí s bodem, který již byl označen za hranový. (20)

3.4.5.2 Adobe Illustrator

Illustrator je placený softwarem pro vektorovou grafiku, kde můžete vytvářet různorodý obsah, od webové a mobilní grafiky po loga, ikony, knižní ilustrace, obaly produktů a billboardy. Ilustrátor byl použit pro převedení zjednodušeného drátového modelu na vektory, ze kterých se vypočítají kýžené atributy závitu matice. (21)

3.4.5.3 Adobe Photoshop

Photohop je placený program od společnosti Adobe, slouží k různým úpravám grafického designu. Nejčastěji využíván a znám pro kvalitní úpravu fotografií. Právě pro tuto

kvalitu byl vybrán pro použití i v této práci. Jedná se grafický editor, ve kterém je možné fotografie upravit pro kvalitnější zpracování v dalších krocích prototypu. (22)

3.4.6 Hardwarové vybavení

Pro zajištění největší kvality vstupní fotografie byl využit profesionální fotoaparát umístěný na stativu, aby bylo dosaženo maximální ostrosti fotografie a eliminace nežádoucích ruchů. Pro minimalizování odrazu světla od snímaného objektu tedy matice bylo využito fotografického stanu, jenž zapříčiní zcela nulový odraz na povrchu objektu. Pro lepší světelnost byla využita 2 světla s možností regulace svítivosti.

K naměření přesné vzdálenosti objektu od fotoaparátu byl použit Laserový měřič vzdálenosti EMOS M0502, s přesností měření 2 mm. Pro naměření úhlu sklonu fotoaparátu vůči podstavě, na které se objekt nacházel, byl použit úhломěr.

3.4.6.1 Digitální zrcadlovka

Na vytvoření fotografických snímků byla použita následující fotografická sestava:

- Fotoaparát: Panasonic GH5 (23)
 - a. 20,3 Mpx Live MOS snímač bez low pass filtru
 - b. citlivost v rozmezí: 125-25600 ISO
 - c. Velikost souboru (pixely) – fotografie 4:3: 5184x3888 (L) / 3712x2784 (M) / 2624x1968 (S) / 4992x3744 (6K PHOTO) / 3328x2496 (4K PHOTO)
- Objektiv: LUMIX G vario (24)
 - a. Minimální clona: F2,8
 - b. Ohnisková vzdálenost $f=$ 12–35 mm
 - c. Objímka objektivu: bajonet 4/3“
 - d. Crop faktor: 2
 - e. Nejnižší vzdálenost zaostření: 0.25m / 0.82ft

Fotoaparát byl umístěn na stativu, pro zamezení rozostření snímků při použití delšího času a pro zajištění stejné pozice snímaného objektu na všech fotografiích.

3.4.6.2 Počítač ke zpracování

K digitálnímu zpracování byl využit notebook:

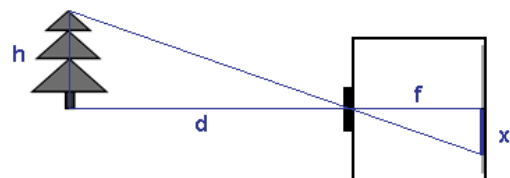
- PC: HP ElliteBook 840 G2
- CPU: Intel Core i5-5300U CPU 2.30 GHz
- RAM: 16 GB DDR3
- GPU: Intel HD Graphics 5500

3.4.7 Matematicko-fyzické podrobnosti

Z důvodu komplexních výpočtů této práce bylo zapotřebí nahlédnout i do jiných vědních oborů a to přesně do lineárního zobrazení, pro potřebu výpočtu vztahu mezi rozměry předmětu a obrazu a jejich vzdálenosti.

3.4.7.1 Lineární zobrazení

Pro přepočet reálných rozměrů předmětu z rozměru obrazu posloužilo lineární zobrazení. V tomto případě se jednalo o středovou souměrnost, kde střed představuje čočka objektivu fotoaparátu. Na Obrázek 6 bylo vyobrazeno schéma lineárního zobrazení, kde d byla vzdálenost objektu od fotoaparátu, h výška předmětu, f ohnisková vzdálenost čočky objektivu a x výška obrazu.



Obrázek 6 Schéma lineárního zobrazení (27)

$$\frac{h}{d} = \frac{x}{f}$$

Rovnice 1 Lineární zobrazení středová souměrnost

$$h = \frac{x}{f} * d$$

Rovnice 2 Transformovaná rovnice pro výpočet h

3.4.7.2 Crop faktor

Crop faktor označuje koeficient, kterým se přepočítává ohnisková vzdálenost, jakou by měl objektiv se stejným zorným úhlem na kinofilmovém fotoaparátu. Primárně se používá z důvodu sjednocení rozdílně vzdálených objektivů od různých velikostí snímače (nebo materiálu). Sjednocení probíhá díky přepočtu na kinofilmové políčko, proto se Crop faktor liší mezi výrobci a mezi různými typy fotoaparátů a kamer. (25)

Pro výpočty bylo ještě potřeba si ujasnit, že informace od výrobce objektivu nejsou zcela přesné. Ano, ohnisková vzdálenost v objektivu je 35 mm, ale jednalo se o objektiv se snímačem typu 4/3", tudíž bylo nutno nalézt a započítat crop faktor, který se v tomto případě rovná 2.

$$\text{Ohnisková vzdálenost} * \text{Crop faktor} = \text{Ekvivaletní ohnisková vzdálenost}$$

Rovnice 3 Ekvivalentní ohnisková vzdálenost

4 Vlastní práce

Praktická část této práce byla vypracována ze dvou na sobě závislých částí. V první části byl vytvořen prototyp schopný výpočtů kýžených atributů matice. Druhá část sestává z rešerší na téma automatického zpracování prototypu pro následnou publikaci ve vědeckém periodiku.

4.1 Softwarový prototyp

Prototyp byl sestrojen jako metodická cesta k určení kýžených parametrů (stoupání, směr, profil vnitřního závitu matky) z fotografie matice za předem vymezených podmínek, které bylo nutno dodržet k přesnosti výpočtu.

Celý proces bylo možné rozdělit do čtyř samostatných kroků:

- Pořízení fotografií
- Převedení fotografií do použitelného stavu
- Měření stoupání závitu
- Výpočet parametrů

4.1.1 Proces pořízení vstupních fotografií

Na pořízení fotografií bylo zapotřebí obstarat sadu matic různých rozměru, konkrétně od M10 do M39. Tento vstupní soubor matic byl následovně umyt a očištěn od nečistot, případně od maziva. Každá matice byla přeměřena, aby bylo zabráněno chybnému výběru. Matice byly vybrány standardizované, přesné, šestihřanné matice s pozinkovaným povrchem (DIN 934, ČSN 02 1401).

Díky pozinkovanému povrchu měla matice silně odrazivé vlastnosti vůči okolním objektům v okolí. Z tohoto důvodu byl použit fotografický stan, ten ovšem zapříčiní snížení světelného toku od slunce na povrch snímaného objektu. Proto byla přidány další dva zdroje světla z každé strany fotografického stanu.

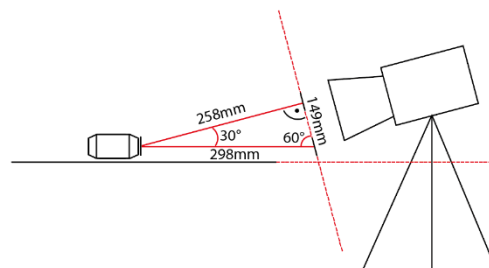


Obrázek 7 Fotografie fotografování

4.1.1.1 Optimální vzdálenost a úhel

Pro zajištění potřebných snímků bylo potřeba vytvořit fotografie matic dle předem specifikovaných parametrů. Z tohoto důvodu byly opatřeny různorodé matice od rozměru závitu od M10 do M39, které byly následovně vyfotografovány.

Matice byla umístěna na předem vytyčené místo hranou směřující k fotoaparátu. Vzdálenost hrany od fotoaparátu byla změřena a úhel náklonu fotoaparátu také. Vzdálenost vytyčeného bodu od čočky fotoaparátu byla změřena na 258 mm, úhel plochy čočky proti podstavě objektu byl sevřen pod 60°. Vzdálenost přepony pomyslného trojúhelníku byla změřena na 298 mm. Vzdálenost



Obrázek 8 Schéma fotografování

a úhel byl stanoven testováním různých vzdáleností a úhlů, aby vznikla co nejostřejší a nejkvalitnější fotografie, která by nejlépe zobrazovala závit matice. Testování započalo na úhlu 45°. Při použití větších úhlů (70° a 75°) nastalo zakrytí závitu hranou matice, tudíž došlo k omezení přísunu informací potřebných pro následovné zkoumání. Při nižších úhlech než 45° docházelo ke zkreslení závitu a zastínění vyšší hranou závitu té nižší, čímž by fotografie byla znehodnocena pro výpočet stoupání nebo rozteče. Po nalezení ideálního úhlu pro snímání byla nalezena i vzdálenost pro nejlepší ostrost závitu.

4.1.1.2 Optimální nastavení fotoaparátu

Fotografie byly pořízené pomocí Panasonic GH5 vybaveným objektivem s optickým zoomem 12–35 mm. Při snímání byl objektiv nastaven na největší ohniskovou vzdálenost 35 mm.

Aby se snížil výskyt digitálního šumu, bylo ISO nastaveno na nejnižší hodnotu 200. K dosažení největší hloubky ostrosti, bylo nastaveno naopak největší možné clonové číslo 22. Dosavadními postupy se eliminuje přítok světla, dopadající na čip. Proto byl čas závěrky nastaven na čtvrtinu vteřiny. Tato kompenzace byla možná provést díky stativu.

Optimální hodnoty nalezeny pro snímání: 200 ISO (citlivost čipu na světlo), 22f (clonové číslo), shutter 1/4 (čas), zoom 35 mm (ohnisková vzdálenost).

4.1.2 Úpravy fotografií

Fotografie byly před zpracováním pomocí prototypu upraveny v programu Adobe Photoshop. Především byla odstraněna barva, z fotografií se staly snímky černobílé. Následovně byl zvýšen jas a kontrast pomocí křivky. Tonalita byla upravena pomocí dvou kontrolních bodů v hodnotě 135, 84; 181, 175. Díky histogramu, zobrazenému na pozadí okna křivek, bylo jednodušší určit polohu obou kontrolních bodů, vzhledem k zachování podstatné části dat. Aby nedošlo ke ztrátě jak ve světlejších částech, tak tmavých částech fotografie. Pomocí transformace byl snímek zvětšen, aby matka obsáhla ústřední prostor a dopomohlo to k přesnějšímu určení pozice záchytných bodů. Pro získání co možná nejpřesnějších detailů, zvýraznění důležitých linií a křivek závitů, byla použita funkce doostřit s nastavenými hodnotami míra: 130 %; poloměr: 49,5 obrazových bodů; práh: 0. V této fázi byla upravená fotografie uložena.

4.1.3 Tvorba kódu v Python

První částí tvorby prototypu bylo nalezení optimální funkční knihovny a využití jejich prostředků ke sestrojení zjednodušeného modelu z fotografie, k tomuto byl využit Cannyho hranový detektor.

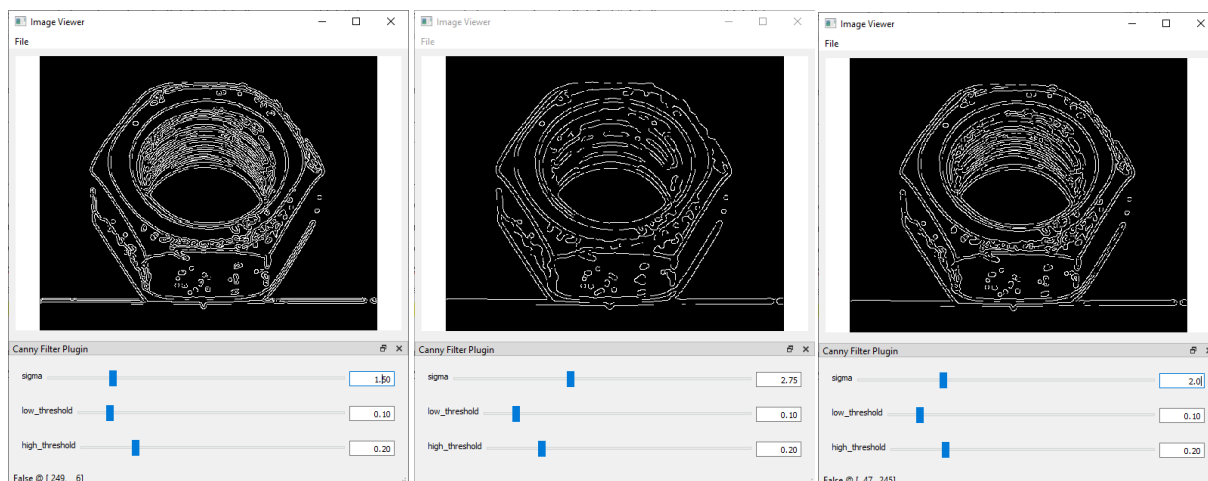
4.1.3.1 Cannyho hranový detektor

V příloze této práce byl přiložen program napsaný v jazyce Python. Ve zdrojovém kódu programu byly nejprve naimportovány knihovny skimege, skimage.feature, skimage.viewer, sys, cv2 a numpy.

Program byl navržen tak, aby po spuštění otevřel nabídkové okno, pro snazší výběr fotografie, která se bude upravovat. Po potvrzení výběru fotografie, se spustí automaticky aplikace úprav pomocí Cannyho hranového detektoru na zvolenou fotografii.

Aplikace byla navržena tak, aby vykreslila výslednou fotografii s přednastavenými hodnotami $\sigma = 2,0$, $low_threshold = 0,1$ a $high_theshold = 0,3$. Tyto hodnoty nebyly zvoleny náhodně, ale na základu testování.

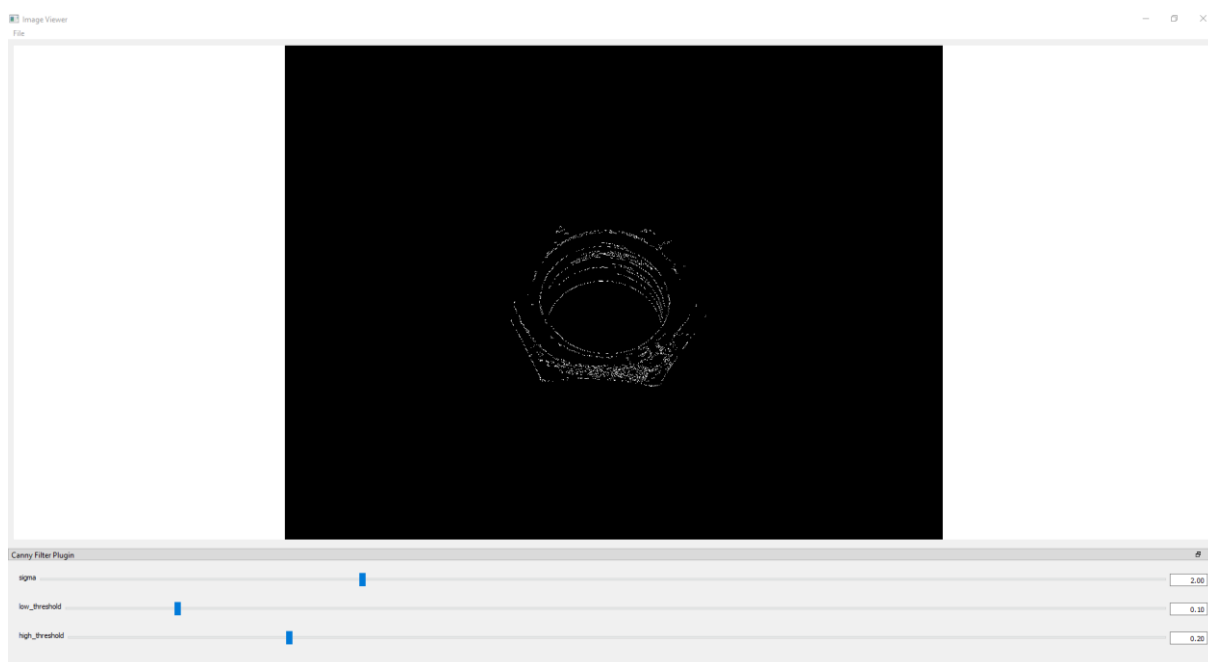
Nastavením sigmy σ na hodnotu vyšší jak 2,50 se výrazně sníží viditelnost tenkých linií na snímku. Ovšem nastavením sigmy σ nižší jak 1,50 by zůstalo na snímku příliš mnoho tenkých linií, které by způsobily pozdější zkreslení výsledných měření.



Obrázek 9 Porovnání sigmy vlevo $\sigma=1,5$ uprostřed $\sigma= 2,0$ a vpravo $\sigma=2,75$

Nastavením `low_threshold` a `high_theshold` se nastavilo prahování, spodní a horní práh. Což určuje, kdy algoritmus bude bod brát jako bod hranový, či jej bude ignorovat.

Pro hledání ideálního nastavení parametrů byly přidány do aplikace posuvníky, se kterými lze měnit parametry. Po každé změně parametru je fotografie znovu vygenerována.

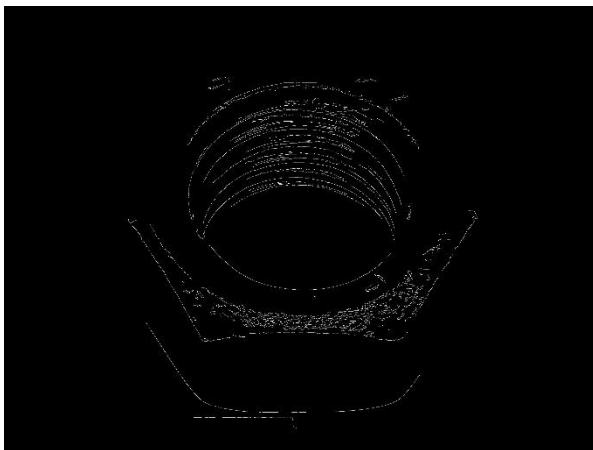


Obrázek 10 Vzhled aplikace Cannyho hranového detektoru

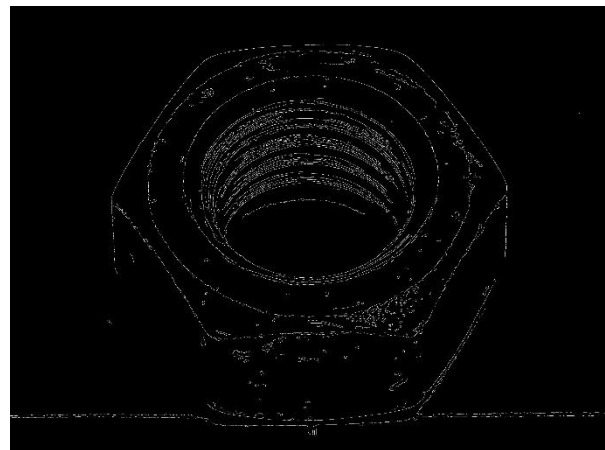
Zpracování a přepracování zobrazeného obrazu je přímo závislé na velikosti obrazu a výkonu počítače, na kterém je program spuštěn. Velikost nafocených fotografií se pohybovala kolem 8 MB, s poměrem výška k šířce 3:4 (standartní rozměr stran fotografie), rozměry snímků byly 5184 x 3888 pixelů. Renderování snímku přes Cannyho hranový detektor se při těchto

parametrech snímku pohybovalo kolem 25 vteřin. Při každém upravení parametrů v procesu zobrazení snímku se musel snímek znovu vygenerovat, což čas zpracování jednoho objektu velmi prodlužuje. Z toho důvodu byla vytvořena redukovaná fotografie o velikosti 43 kB, na které bylo testováno nejvhodnější nastavení parametrů. I tak renderování trvalo kolem 5-6 vteřin.

Pro ukázkou nutnosti úpravy fotografie před spuštěním konvertování přes Cannyho hranový detektor zde byly zobrazeny dva snímky stejného objektu. První Obrázek 12, kde byla použita fotografie bez jakýkoliv úprav, na které je zcela zřejmé, že dochází k výrazné ztrátě informací. Proto bylo nutné veškeré fotografie upravit. Pro porovnání zde byla přidána fotografie Obrázek 11 zpracovaná přes Cannyho hranový detektor až po provedení úprav. Na níž bylo viditelné zlepšení v rozeznávání hran.



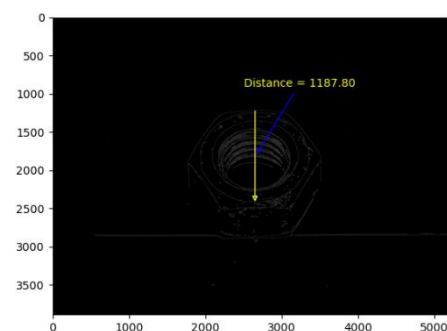
Obrázek 12 Canny z původní fotografie bez úprav



Obrázek 11 Canny z upravené fotografie

4.1.3.2 Měření vzdálenosti na snímku

Pro možnou automatizaci a alternativu využití Adobe Illustratoru byl navrhnout program psaný v jazyce Python. V počátku programu je provedeno naimportování knihovny skimage a matplotlib.pyplot, z knihovny skimage.morphology byl importován closing, z knihovny skimage.measure byl importován regionprops a z knihovny matplotlib.patches byl importován ConnectionPatch.



Obrázek 13 Příklad měření šíře matice

Program nejprve provede načtení obrázku, který bude měřen. Nalezne červený bod a zelený bod. Následně změří vzdálenost mezi nimi a vypíše ji na snímku. Program zaznamenává vzdálenost v pixelech.

4.1.4 Měření stoupání závitu

Při tvoření fotografií byla vždy zaznamenána vzdálenost od hrany objektivu ke druhému stoupání od shora závitu matice. Tyto vzdálenosti byly poté zapsány do tabulky. Celý proces byl aplikován na všech 60 fotografiích.

Původní myšlenka byla s Adobe Ilustrátorem převést zjednodušený drátový model vytvořený pomocí Cannyho hranového detektoru na vektory a selektovat pouze křivky závitu. Díky převodu křivky na matematický tvar (zápis funkcí) nebo zápis všech bodů křivky v souřadnicové soustavě získat kýžené parametry závitu.

Ovšem po převedení na drátový model pomocí Cannyho hranového detektoru došlo ke zkreslení hran závitu. Tvar profilu metrického závitu by měl být rovnostranný trojúhelník s vrcholovým úhlem 60° a délkou ramen dle stoupání závitu. Bohužel se zde střetává teorie a praxe. Nově zakoupené matice nemají profilu závitu ve tvaru trojúhelníku, nýbrž kosodélníku. Vrchol trojúhelníku byl otupen, i přes to, že matice byly vyrobeny dle norem DIN 934, ČSN 02 1401. Z toho důvodu na zjednodušeném drátovém modelu není možné určit přesný vrchol profilu závitu. Proto byla spuštěna přímkou rovnoběžná s osou Y skrz střed matice a vybrán průsečík osy s horní hranou profilu závitu A1, průsečík osy a dolní hrany profilu závitu A2. Dle identických parametrů byly vybrány body B1 a B2 na níže ležícím profilu závitu, veškeré hodnoty byly zapsány do tabulky pro další výpočty.

Pro možnou automatizaci byl vytvořen program na měření v jazyce Python (naleznete v kapitole 4.1.3.2), vstupní parametry pro výpočet vzdálenosti byly nastaveny z fotografie a na ní označený výchozí bod (červený bod RGB = 255,0,0) a koncový bod (zelený bod RGB = 0,255,0). Program zobrazí vzdálenost mezi těmito dvěma body v pixelech. Pro přepočítání na milimetry postačí výslednou hodnotu vynásobit 0,2645833.

4.1.4.1 Měření vzdálenosti fotoaparátu k počátečnímu bodu zarovnání

Ke stanovení počátečního bodu zarovnání, ke kterému byl vždy umístěn osový střed hrany matice, bylo zapotřebí stanovit tento bod zcela přesně. Proto byl fotoaparát umístěn

na stavivu, nakloněn přesně do úhlu 30° a od hrany objektivu byla naměřena vzdálenost proti tomuto bodu. Aby bylo docíleno přesné vzdálenosti byla tato měření opakována desetkrát a jejich aritmetický průměr byl použit. Před samotným použitím bylo zapotřebí stanovit vzdálenost od středu objektivu, nikolivěk od jeho hrany. K tomu byla aplikována Pythagorova věta. Po dosazení průměrné vzdálenosti přepony c a naměřené odvěsny b , byla vypočtena odvěsna a s hodnotou 151,89 mm.

4.1.4.2 Měření šíře matice

Matice po umístění na počáteční bod zarovnání byly vždy změřeny pomocí laserového měřidla, pro kontrolu, zda byly správně umístěny na počáteční bod. Následovně byla ke vzdálenější hraně matice umístěna stěna a s použitím laserového měřiče změřena vzdálenost ke stěně. Rozdílem těchto dvou hodnot byla stanovena šíře matice s , díky které bylo jednoznačně identifikováno, o jakou matici se jednalo. Přesné rozměry byly stanoveny dle strojírenských tabulek a vybrané rozměry byly k nalezení v kapitole Rozměry matice přesná šestihranná DIN 934, ČSN 02 1401

4.1.5 Výpočet atributů závitu

Ze všeho nejdříve bylo zapotřebí vypočítat pomocné hodnoty k hlavnímu výpočtu a tyto hodnoty byly:

- Přepočet na reálnou vzdálenost mezi závitem a středem objektivu
- Ekvivalentní ohnisková vzdálenost
- Identifikace matice
- Výpočet vzdáleností mezi body A1, B1 a A2, B2
- Výpočet stoupání závitu

Pomocí všech následujících pomocných výpočtů byla sestrojena tabulka na výpočet stoupání závitu matice.

4.1.5.1 Přepočítání na reálnou vzdálenost mezi závitem a středem objektivu

Vzdálenost mezi fotoaparátem a závitem byla změřena pomocí laserového měřiče, který ovšem nebylo možné umístit přímo na střed fotoobjektivu. Z tohoto důvodu byl laserový měřič umístěn na hranu objektivu, odkud byly hodnoty naměřeny. Tímto způsobem by byly hodnoty nepřesné. I když se jednalo o velmi malou vzdálenost, jisté zkreslení by nastalo. Proto bylo nutné pomocí Pythagorovy věty vzdálenost přepočítat. Nejprve byla změřena šíře objektivu dle informací od výrobce. Objektiv měl 58 mm v průměru. Protože ovšem nebyl laserový měřič umístěn na hranu čočky, ale na hranu objektivu, bylo nutné připočíst milimetrový převis plastového krytu objektivu na každé straně. Výsledný průměr objektivu tedy činil 60 mm, poloměr 30 mm.

Naměřené hodnoty vzdálenosti závitu c od hrany fotoaparátu a poloměru objektivu b byly dosazeny do transformovaného vzorce pro výpočet odvěsny a . Výsledné hodnoty byly zapsány do tabulky výpočtů.

$$c^2 = a^2 + b^2$$

Rovnice 4 Pythagorova věta

$$a = \sqrt{c^2 - b^2}$$

Rovnice 5 Transformovaná Pythagorova věta pro výpočet odvěsny b

4.1.5.2 Přepočítání ekvivalentní ohniskové vzdálenosti

Vzhledem k zjištěným parametrům o objektivu fotoaparátu a rovnice na výpočet ekvivalentní ohniskové vzdálenosti byl stanoven výpočet. Objektiv měl dle specifikací od výrobce 35 mm ohniskovou vzdálenost, ale typ snímáče byl 3/4". Tento typ snímáče nese Crop faktor hodnoty 2. Tyto hodnoty byly zasezeny do Rovnice 3 Ekvivalentní ohnisková vzdálenost.

$$35 * 2 = 70$$

Ekvivalentní ohnisková vzdálenost použitého objektivu tedy byla 70 mm.

4.1.5.3 Identifikace matice

Z naměřených hodnot šířek matic s a pomocí funkce z balíčku programů Microsoft Office 365, konkrétně v programu Excel, byla ke každé naměřené položce nalezena adekvátní matice z možností M10 až M39. Pro vyhledávání náležitého rozměru byla vytvořena pomocná tabulka s rozměry všech možných matic. Kombinací pomocné tabulky a funkce „svyhledat“ byla nalezena matice a zapsána informace do tabulky pro pozdější výpočty.

4.1.5.4 Výpočet vzdáleností mezi body A1, B1 a A2, B2

Výpočet vzdáleností byl sestaven pomocí rovnoběžky s osou Y procházející středem matice. Z bodů A1, A2, B1, B2 byly zapsány pouze hodnoty Y , neboť všechny souřadnice X měly stejné. Tyto hodnoty byly zapsány do tabulky.

4.1.5.4.1 Průměr vzdáleností

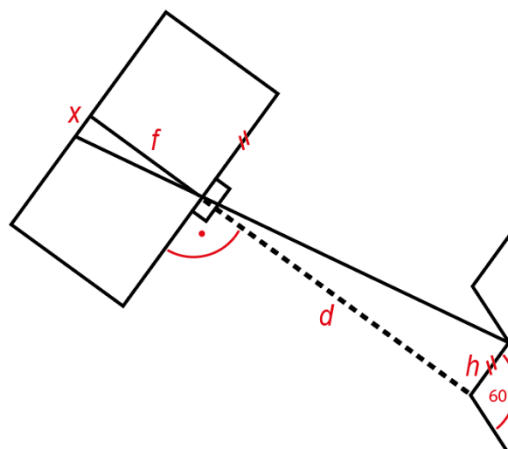
Pro každou dvojici bodů A1 a A2 byl vytvořen jejich průměr. Body 1 odpovídaly vždy horní hraně tupého vrcholu stoupání závitů, body 2 vždy spodní hraně. Aby byl nalezen teoretický vrchol profilu závitů byly tyto hodnoty zprůměrovány a vznikl $\bar{\sigma}_A$ a $\bar{\sigma}_B$.

4.1.5.4.2 Převod z pixelů na milimetry

Vzdálenosti obrazu jsou v grafickém editoru zobrazeny v pixelech, přičemž každý pixel má přesný rozměr v milimetrech. Bylo tedy snadné přepočítat hodnoty v pixelech na milimetry, vynásobením údajů v pixelech hodnotou 0,264583. Tak vyšla hodnota v milimetrech.

4.1.5.5 Výpočet stoupání závitu

K výpočtů byla využita středová souměrnost, kde středem v tomto případě byla tenká čočka (spojka) objektivu. Pomocí transformovaného vztahu lineárního zobrazení mezi poměrem vzdálenosti objektu d a výšky objektu h a poměrem vzdálenosti obrazu f a výšky obrazu x , byla vypočítána výška objektu h . Což zde znázornilo stoupání závitu neboli rozteč vrcholů profilu závitu.



Obrázek 14 Schéma fotografování

4.2 Rešerše

V technické praxi patří šroubová spojení ke skupině nejpoužívanějších možností, pomocí nichž lze vytvořit spojení dvou či vícero konstrukčních součástí. Šroubové spoje jsou tvořeny spojením šroubu a matice, mohou být opatřeny i podložkou či těsněním. Z tohoto důvodu je potřeba rozeznávání matic a jejich parametrů významná.

Ze všeho nejdříve je potřeba přesně nadefinovat, co taková matice je. Matice je definována rekurzivně jakožto doplněk šroubu ve šroubovém spoji. Jedná se o krátký válec, který obsahuje vnitřní závit. Ten slouží k uchycení na šroubu, svorníku či závitnici. Vnější tvar nabývá nejčastěji podobu šestihranného hranolu, který slouží k lepší manipulaci při dotahování matice. Neznámější jsou matice šestihranné dle DIN 934, nejčastěji vyráběné z oceli, výjimkou nejsou nerezové či mosazné. Běžnou součástí je také povrchová úprava – bílý zinek, žárový zinek, žlutý zinek nebo černý zinek. Německá metrická soustava závitů byla kompletně převzata normami ISO a ČSN. ISO 261 specifikuje seznam doporučených kombinací průměru závitu D a jeho stoupání P. ISO 262 specifikuje podmnožinu doporučených rozměrů. Přehled nejpoužívanějších matic je ve Strojnických tabulkách.

Neodmyslitelnou součástí matice je závit.

„Závit je technický prvek strojní součásti, jehož tvar je určen závitovou plochou. Ta vznikne navinutím profilu závitu na válec podél šroubovice v daném stoupání.“

Závitová plocha: plocha vzniklá pohybem profilu závitu tak, že každý jeho bod opisuje šroubovici; přitom osový posun za jednu otáčku se rovná kolmému průmětu profilu závitu do osy, nebo násobku této délky celým číslem.

Šroubovice: čára, kterou vytvoří bod, otáčí-li se rovnoměrně kolem pevné osy a zároveň se rovnoměrně v jejím směru posouvá

Profil závitu: plocha ohraničená pomyslnou křivkou nebo lomenou čarou, která je omezena dvěma stejnohlými body ležícími na rovnoběžce s osou závitu (ve směru stoupání).

Vrcholy hraniční čáry profilu závitu jsou obvykle zkoseny nebo zaobleny.

Stoupání: axiální vzdálenost o kterou se vzájemně vůči sobě posunou pevné matice na otočném šroubu, pokud se šroub otočí o jednu otáčku. U jednochodých závitů je to současně vzdálenost stejnohlých bodů závitu v axiálním směru, mezi sousedními závitů.

Závity se rozdělují dle polohy profilu vzhledem k základnímu tělesu: vnější (šroub) a vnitřní (matice), dle smyslu vnutí: pravé a levé, dle počtu závitových ploch připadajících na jedno stoupání: jednochodé a vícechodé, dle tvaru profilu závitu: metrický, Whitworthův,

Edisonův, pancéřový atd.

Metrický závit je nejrozšířenějším druhem závitu pro spojovací šroubové spoje. Tvar a rozměry závitu jsou definované v ISO normě, standard ISO 68-1. Závit je charakterizován svým průměrem D a stoupáním závitu P . Závit je geometricky tvořen symetrickým „V“ profilem. Specifikace metrického závitu spočívá v zachování jednotnosti úhlu profilu závitu na přesných 60° . Vyrábí se ve dvou rozměrových normalizovaných řadách – v řadě základní a v řadě s jemným stoupáním. Označují se písmenem M a velkým průměrem závitu–např.: $M10$. Při použití závitu s jemným stoupáním přidáváme údaj o jeho stoupání–např.: $M20 \times 1,5$.

Název fotogrammetrie vznikl složením tří řeckých slov: photos (světlo), gramma (záznam) a metron (měřit). Vzniklo ze snahy nazvat vhodným způsobem činnost zabývající se měřením světelných záznamů (fotografických snímků). Počátky fotogrammetrie sahají dávno před vynález fotografie. První fotogrammetrický přístroj byla tmavá komora s malým otvorem, kterou vynalezl Leonardo da Vinci v 15. století. Základní rozdělení fotogrammetrie jsou podle umístění pořizovacího zařízení na „z výšky“ a „ze země“, nebo na „jedno snímkové“ a „více snímkové“. V tomto případě se jedná o jednosnímkové fotografie ze země. Primárním účelem fotogrammetrického měření je trojrozměrná rekonstrukce objektu v digitální nebo grafické podobě.

Primárním účelem fotogrammetrického měření je trojrozměrná rekonstrukce objektu v digitální nebo grafické podobě.

Tvorba 3D modelu z fotografie zahrnuje různé prvky, které tento proces ovlivňují a to například: zdroj světla, vlastnosti povrchu objektu, medium, kterým světlo prochází, technologie fotoaparátu a zpracování obrazu.

Různé metody interpretace a měření fotogrammetrií umožňují určit polohu bodu objektu podle tvaru, jasů nebo rozptylu barev objektu. Pro každý bod snímku existuje hodnota ve formě radiometrických a geometrických dat. Po získání těchto dat je možné pomocí matematické transformace mezi snímkem a objektem vymodelovat 3D objekt.

Předpokladem pro vytvoření digitální fotogrammetrie je digitální snímek, který je v rastrové podobě. Digitální fotogrammetrie vychází z analytické fotogrammetrie a využívá digitální snímky v počítačovém prostředí. Digitální obraz je možné získat přímo digitálním snímačem nebo skenováním analogových snímků. Díky tomu, že celé zpracování probíhá v digitálním prostředí pomocí softwaru, má digitální fotogrammetrie velký potenciál při automatizaci jednotlivých pracovních úkonů. Digitální snímek je kompatibilní se zobrazením analogového snímku. Tento snímek je rozdělen do pixelů, kde má každý v digitální

souřadnicové soustavě svoje souřadnice a obsahuje i informaci o denzitě ve formě čísla. Shromážděním velkého množství pixelů vzniká spojitý obraz.

Existuje široká škála zařízení pro záznam obrazu dostupných pro účely blízké fotogrammetrie. Tato zařízení je možné klasifikovat jako fotoaparát nebo kamera.

Prakticky všechny moderní zobrazovací senzory jdou navrhnout na základě technologie CMOS (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor). Jedná se o nejrozšířenější druh snímacího čipu v digitálních fotoaparátech. Čip je pokryt světlocitlivými pixely. Každý pixel má vlastní obvod, který konvertuje napětí na digitální data.

Na Dvourozměrný obraz se aplikuje čtyřkrokový algoritmus Cannyho hranového detektoru.

Prvním krokem je eliminace šumu (Noise reduction). Tento krok je nesmírně důležitý, neboť šum v obraze může ovlivnit další kroky detekce i její celkový výsledek. K odstranění šumu Cannyho hranový detektor používá konvoluci s Gaussovým filtrem (reprezentovaným maticí o rozměrech 5x5). Velikost směrodatné odchylky Gaussova filtru udává míru rozostření a tím i celkovou citlivost detektoru na šum.

Výpočet velikosti a směru gradientu (Finding Intensity Gradient of the Image) je prováděn detekcí hran pomocí některé z metod založených na první derivaci, například Robertsův, Prewittové a Sobelův, s jejíž pomocí jsme schopni spočítat nejen velikost magnitudy, ale také směr hran.

Třetím krokem algoritmu je nalezení lokálních maxim (Non-maximum Suppression) jehož cílem je převést hranový obraz na obrazy o tloušťce jednoho bodu. Základní částí tohoto algoritmu je rozdělení hran podle směru gradientu do čtyř rozdílných skupin. Skupiny jsou rozděleny dle čtyř úhlů (0° , 45° , 90° a 135°) a body jsou k nim přiřazeny dle směru gradientu. Toto rozdělení je na základě vzdálenosti od referenčních úhlů. Hledání maxim se nazývá „thinning“, neboli ztenčení.

Posledním krokem je prahování s hysterezí (Hysteresis Thresholding). Na rozdíl od klasického prahování se zde nepoužívá práh jeden, nýbrž dva. Důvodem je možné kolísání hodnot bodů obrazu v důsledku šumu, které by mohlo znehodnotit výstupní obraz. Pokud použijeme prahy dva, mezi kterými hodnota magnitudy může kolísat, značně tento jev omezíme. Body obrazu s vyšší hodnotou, než je velikost horního prahu, automaticky označíme jako hranu. Body obrazu, jejichž hodnoty magnitudy se nachází v rozmezí vytyčeném horním a dolním prahem, jsou uznány za hranu pouze tehdy, pokud sousedí s bodem, který již byl označen za hranový.

Na takto vytvořených snímcích bylo zapotřebí určit průsečík křivky závitů s rovnoběžkou s osou Y vedenou skrz bod středové souměrnosti matice. Následovně byly vypočítány vzdálenosti mezi jednotlivými průsečíky rovnoběžky a křivek závitů, a tak bylo stanoveno stoupání závitů na obraze. Pro přepočty na hodnoty předmětu bylo zapotřebí použít vztahu středové souměrnosti v lineárním zobrazení, a tak převést hodnoty stoupání závitů obrazu na hodnoty stoupání předmětu. Z funkce křivky závitů bylo možné určit směr vynutí závitů.

5 Výsledky a diskuse

V následujících dvou podkapitolách byly rozebrány dopodrobna výsledky této práce a diskuse o možných dalších variantách, jak se ke kýženým výsledkům dopracovat jinou cestou či jinými možnými úpravami prototypu a také komplexní ohlédnutí a snaha odpověd' na otázky vzniklé při tvorbě této diplomové práci.

5.1 Výsledky

Měření	Spočítané hodnoty	Reálné hodnoty	Odchylka
1.	1,56	1,75	0,19
2.	1,47	1,75	0,28
3.	1,35	1,75	0,40
4.	1,28	1,75	0,47
5.	1,36	1,75	0,39
6.	1,23	1,75	0,52
7.	1,14	1,75	0,61
8.	1,12	1,75	0,63
9.	1,20	1,75	0,55
10.	1,12	1,75	0,63
11.	1,10	1,75	0,65
12.	1,12	1,75	0,63
13.	1,44	2,00	0,56
14.	1,47	2,00	0,53
15.	1,41	2,00	0,59
16.	1,39	2,00	0,61
17.	1,43	2,00	0,57
18.	1,37	2,00	0,63
19.	1,42	2,00	0,58
20.	1,01	2,00	0,99
21.	1,44	2,00	0,56
22.	1,39	2,00	0,61
23.	1,45	2,00	0,55
24.	1,38	2,00	0,62
25.	1,38	2,00	0,62
26.	1,43	2,00	0,57
27.	1,47	2,00	0,53
28.	1,43	2,00	0,57
29.	1,44	2,00	0,56
30.	1,44	2,00	0,56
31.	1,42	2,00	0,58
32.	1,48	2,00	0,52
33.	1,50	2,00	0,50
34.	1,43	2,00	0,57
35.	1,38	2,00	0,62
36.	1,36	2,00	0,64
37.	1,88	2,50	0,62
38.	1,67	2,50	0,83
39.	1,78	2,50	0,72
40.	1,92	2,50	0,58
41.	1,62	2,50	0,88
42.	1,93	2,50	0,57
43.	1,64	2,50	0,86
44.	1,81	2,50	0,69
45.	1,81	2,50	0,69
46.	1,73	2,50	0,77
47.	0,96	2,50	1,54
48.	1,76	2,50	0,74
49.	1,76	2,50	0,74
50.	1,75	2,50	0,75
51.	1,69	2,50	0,81
52.	2,04	2,50	0,46
53.	2,76	2,50	0,26
54.	1,62	2,50	0,88
55.	1,91	2,50	0,59
56.	1,94	2,50	0,56
57.	1,77	2,50	0,73
58.	1,73	2,50	0,77
59.	1,88	2,50	0,62
60.	1,58	2,50	0,92

Tabulka 4 Výsledky

Pomocí prototypu byly vypočítány ze vstupních 60 fotografií hodnoty určující stoupání vnitřního závitu matice. Tyto hodnoty byly porovnány s tabulkovými hodnotami stoupání závitu dle Strojnických tabulek. Rozdílem hodnot vypočítaných oproti hodnotám ze Strojnických tabulek byla vypočtena odchylka. Na vzorku 60 matic byla dosažena odchylka maximální hodnoty 1,54, takto vysoká odchylka se objevila jen v jednom případě, s největší pravděpodobností způsobenou nikoliv chybou výpočtu, ale chybou při měření,

Průměrná odchylka výpočtu byla určena 0,63 a minimální odchylka 0,19. Pro vzorek 60 matic výpočet jednoznačně správně určil 8 stoupání závitů, 51 bylo určeno v rámci přijatelného rozsahu a pouze jeden případ byl zcela určen chybně. Z těchto informací můžeme stanovit směrodatnou odchylku prototypu na 0,1905.

Tvar profilu závitu nemusel být měřen ani nalezen, neboť jeho specifikum přesně určuje zadání této práce jednalo se o matice s metrickým závitem od M10 do M39 a jak již bylo popsáno v teoretické části, trav profilu závitu u metrického závitu je rovnostranný trojúhelník s vrcholovým úhlem 60° .

5.2 Diskuse

Během práce na projektu vzniklo mnoho otázek, které doposud nejsou zodpovězeny. Nejprve bychom se mohli zamyslet nad otázkou kvality vstupních dat. Jako vstupní data pro digitální fotogrammetrii byly použity digitální fotografie zhotovené digitální zrcadlovkou. V tomto případě byla použita digitální zrcadlovka Panasonic GH5. A však pořizovací cena tohoto stroje včetně objektivu, stativu, světel a fotografického stanu, standardně převyšuje možné náklady pro průměrného občana ČR. Největším úskalím při vyhotovení digitálních fotografií byla jejich ostrost, dostačující světelné podmínky a minimalizování odrazivosti jiných objektů na ploše fotografovaného objektu, aby bylo dosaženo maximální kvality vyhotoveného 3D modelu.

Během studia teoretických podkladů rozebírající proces Cannyho hranové detekce byl nalezen Derichův hranový detektor, jehož práce vychází ze Cennyho hraného detektoru. Jedná se tedy o možnou alternativu při zpracování fotografií a vytváření zjednodušeného modelu.

Při načítání teoretických podkladů byla objevena možná alternativa fotogrammetrie využívána v praxi, laserové měření. Které by dle načtených podkladů bylo vhodnější na měření malých objektů více než fotogrammetrie, neboť laserový paprsek dosahuje větší přesnosti. Laserové měření má ještě jednu výhodu vhodně využitelnou pro automatizaci či aplikaci na

strojní výrobní linku. Měření může probíhat bez přítomnosti světla, tím by se zamezilo nežádoucím odrazům a odleskům na povrchu objektů. Ovšem tato možnost pro tuto práci byla ihned zamítnuta ze dvou následujících důvodů. Za prvé, pořizovací cena takovéto přístroje je nad možné poměry útraty autora této práce. Za druhé, jednalo by se o odchýlení od zadání. Pro tyto důvody byla zvolena fotogrammetrie a laserové měření zamítnuto.

Dále pak vznikla otázka použití vhodného přístroje na zachycení fotografií. Existuje lepší přístroj na zachycení vstupních fotografií? Zcela jistě ano. Vysokorychlostní kamera by mohla zaznamenávat větší množství snímků v menším časovém horizontu a poskytnou vícero fotografií ze kterých by program vytvořil 3D model. Tím by se zvýšila kvalita modelu, ale prodloužil čas zpracování. Fotoaparát vybavený makro objektivem, by mohl umožnit zachycení drobnějších detailů s dostatečnou hloubkou ostrosti. S adekvátním nastavením hodnot při snímání fotografie by byl objekt zachycen s vyšší přesností detailu závitů. A současně by bylo eliminováno okolí předmětu (matice) neostrostí. Další výhodou makro objektivu je minimalizování vzdálenosti mezi fotoaparátem a objektem. Použitý fotoaparát měl minimální vzdálenost dvacet pět centimetrů, což může při rozměru matice o jedna celá sedm centimetru šířky být problém, i když je objektiv vybaven optickým zoomem, i tak se jedná o velkou vzdálenost od fotoaparátu.

Při propočtu ekvivalentní ohniskové vzdálenosti vznikl nápad použití zrcadlovky FullFrame čipem, jenž má Crop faktro roven jedné. Tím by se ulehčil výpočet o jeden krok. Neboť by se nemusela přepočítávat ohnisková vzdálenost na ekvivalentní ohniskovou vzdálenost. Samozřejmě by záleželo na výkonu stroje, který by výpočty kalkuloval, tudíž vynechání jednoho výpočtu by se mohlo projevit v řádech milisekund.

Během pořizování fotografií vyvstala otázka, zda by nebylo vhodné využití dalších pomůcek ke zvýšení přesnosti focení či měření. Na tuto otázku bylo snadné odpovědět. Ano, bylo. Ideální pomůckou pro fotografování by bylo využití točny obohacené o měřítko úhlu natočení. Pro zvýšení přesnosti měření by bylo vhodnější použití specifického bezdotykového měřidla, jako je laserový měřič (ovšem upravený na měření krátkých vzdáleností s vyšší přesností). Možné alternativy měřidel jsou založeny na sonarovém či radiovém signálu a zaznamenávání doby jejich odezvy.

Během hledání informací a knihoven pro programovací jazyk Python se zrodila otázka, zda by nebylo vhodnější využití programovacího jazyku C++, neboť během načítání a zkoumání teoretických východisek a možností bylo objeveno nezměrné množství knihoven

zabývající se Fotogrammetrií, měřením a v neposlední řadě 3D modelováním z fotografií. Tato otázka zůstává nezodpovězená.

Poslední otázkou při konstrukci této práce byla: Je možná automatizace a její potenciální zavedení jako součást strojové výrobní linky jakožto jeden z prvků kontroly kvality matic? Tato otázka vyplynula hned na počátku práce na software prototypu. A s touto vznášející se otázkou byl i prototyp vytvořen. Bohužel prototyp takový, jaký byl vytvořen, není zcela automatický a ani automatizovaný. K tomu by bylo zapotřebí vždy v určitém kroku asistence uživatele, například během nalézání bodů A a B na zjednodušeném modelu pomocí Cannyho hranového detektoru. Pro tento krok nebylo nalezeno automatizované řešení, byl ovšem navrhnout program, který dokázal rozeznat barevný bod na snímku (zde se jednalo na zelený bod (RGB == 0,255,0) a červený bod (RGB = 255,0,0) a spočítá jejich rozteč. Avšak automatické umístění bodů na snímku nebylo možné určit ani na původní fotografii, ani na zjednodušeném modelu vytvořeného za pomoci Cannyho hranového detektoru. Tento defekt nebyl způsoben chybou kvality vstupních fotografií nebo procesu samotného, ale střetem teorie s praxí. Neboť tvar profilu metrického závitu je dle teorie tvořen rovnostranným trojúhelníkem, leč v praxi tvar profilu závitu nikdy trojúhelníku nedosáhne. Vrchol trojúhelníku je vždy komolý, a proto nelze jednoznačně identifikovat hrana profilu závitu z vnějšího pohledu na matici. Jediným řešením by bylo umístit miniaturní kameru dovnitř matice a pomocí rotace kamery nebo matice vytvořit 360° fotografii vnitřního závitu matice, ze které by se nejlépe vytvářel 3D model závitu. Především by se zamezilo všem vnějším ruchům. Bohužel takováto kamera nebyla seznána k vypracování této práce.

6 Závěr

Hlavními cíli této práce bylo navrhnutí softwarového prototypu, který bude schopen určit z fotografie matice parametry jejího vnitřního závitu, především stoupání, směr a tvar profilu závitu. Druhým cílem bylo vytvoření rešerše pojednávající o problematice řešení softwarového prototypu, která může být využita pro publikační činnost ve vědeckém periodiku.

Práce se skládala z teoretické a praktické části. Teoretická spočívala v nalezení teoretických podkladů pro praktickou část. Na začátku teoretické části byl definován pojem matice, ve smyslu strojírenské součásti šroubového spojení, které je nejčastěji využívaná metoda spojení dvou či vícero konstrukčních součástí. V této části byly popsány varianty tvarů matic a jejich přesné rozměry. Po definování matice byl vymezen pojem závit. Zde byly charakterizovány základní parametry závitů a rozdělení závitů. Rozdělení dle polohy vzhledem k základnímu tělesu, dle smyslu vinutí, dle počtu zálivových ploch připadajících na jedno stoupání a dle tvaru profilu závitu. Nejvyšší pozornost byla věnována metrickému závitu a jeho vlastnostem.

V druhém úseku teoretické části nastoupila na scénu fotogrammetrie. Nejprve bylo nahlédnuto na základní principy fotogrammetrie, následováno 3D geometrií až po digitální fotogrammetrii. Na konec teoretické části byla rozebrána teorie Cannyho hranového detektoru.

Praktická část byla rozdělena na dvě samostatné, leč provázané sekce. V první sekci byl definován proces na pořízení vstupních fotografií a byly stanoveny nutné parametry pro pořízení validních fotografií k pozdějšímu zpracování. U pořizování fotografií bylo zapotřebí nalézt optimální úhel, vzdálenost snímání a nastavit nejvýhodnější hodnoty fotoaparátu (rychlost závěrky, ISO, clonové číslo, ohnisková vzdálenost). Po pořízení fotografií bylo nezbytné snímky digitálně upravit pro lepší detekci hran v pozdějším procesu. Detekce hran byla provedena za pomoci Cannyho hranového detektoru, který ze snímku vytvořil zjednodušený drátový model. Díky programu na měření vzdálenosti bylo na snímcích stanoveno stoupání závitu, které pak bylo prostřednictvím výpočtů převedeno na stoupání závitu objektu, tedy matice.

V druhé sekci praktické části diplomové práce byla vypracována rešerše pojednávající o problematice řešení softwarového prototypu. Která může být využita pro publikační činnost ve vědeckém periodiku.

V předposlední části této diplomové práce byly prezentovány vypočtené výsledky za pomoci softwarového prototypu a porovnány s hodnotami ve Strojních tabulkách. Ze srovnání těchto hodnot byla vypočtena odchylka. Průměrná odchylka byla stanovena na 0,63.

V budoucnosti by tento prototyp mohl stát na počátku zcela automatizovaného procesu pro zjištění kýžených parametrů závitů matice. Pročez jsou cíle této diplomové práce považovány za splněné.

7 Reference

1. **ČSN. ISO 4032.** technicke-normy-csn.cz. [Online] 01. Květen 2014. [Citace: 15. Březen 2020.] http://www.technicke-normy-csn.cz/inc/nahled_normy.php?norma=021401-csn-en-iso-4032&kat=94604.
2. **KILLICH.** Spojovací materiál. KILLICH s.r.o. [Online] 2020. [Citace: 28. Únor 2020.] <https://www.spojovacimaterialy.cz/produktovy-katalog/matice?from=36>.
3. **ČSN. ČSN 02 1401.** zakony.cz. [Online] ČSN. <https://www.zakony.cz/normy/strojni-soucasti/normy-matice-presne-0214/csn-norma-presne-sestihranne-matice-021401>.
4. **Valenta ZT s.r.o.** Matice. Valenta závitové tyče. [Online] Valenta ZT s.r.o, 2020. <https://www.valentazt.cz/matice.html>.
5. **KONVIČNÁ, Iveta.** ww.rvp.cz. Metodický portál. [Online] 2018. [Citace: 12. Březen 2020.] http://www.sossoukyjov.cz/data/file/Strojnictvi/VY_32_INOVACE_5c/VY_32_INOVACE_5c10.pdf. SSN 1802-4785.
6. **KLETEČKA, Jaroslav a Petr FOŘT.** Technické kreslení. Brno : CP Books, 2005. ISBN 80-251-0498-2.
7. **SOŠ a SOU Uničov.** Kreslení strojních součástí a spojů. Studijní materiály. [Online] 2009. [Citace: 31. Leden 2020.] <http://eduka.spaco.cz/wp-content/5-kresleni-strojnich-soucasti-a-spoju.pdf>.
8. **LINKEROVÁ, Ivana a František NOVÁK.** VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE ELEKTROMECHANICKÝCH ELEKTROMECHANICKÝCH PRVKŮ A SPOJŮ. Praha : Gradient, 2004. ISBN 80-8678686786-0101-3.
9. **E-konstrukér.** E-konstrukér.cz. Portál pro strojní konstrukce. [Online] 2017. [Citace: 30. Leden 2020.] <https://e-konstrukter.cz/prakticka-informace/metricky-zavit-stoupani>.
10. **SVOBODOVÁ, Magdalena.** Spoje a spojovací součásti. [Online] 2012. http://domes.spssbrno.cz/web/DUMy/SPS,%20MEC,%20CAD/VY_32_INOVACE_13-04.pdf.
11. **SPŠZ.** <https://spszem.cz/>. Střední průmyslová škola zeměměřická. [Online] 2016. [Citace: 28. Březen 2020.] <https://spszem.cz/storage/files/660/1-1-Definice.pdf>.
12. **LUHMANN Thomas, ROBSON Stuart, KYLE Stephen BOEHM Jan.** Close Range Photogrammetry and 3D Imaging. místo neznámé : De Gruyter, 2019. 978-3-11-060738-3.
13. **LUHMANN, Thomas.** Nahbereichsphotogrammetrie. Berlin : Auflage, 2018. 978-3-87907-640-6.

14. **STN 73 0401-2.** Terminológia v geodézii a kartografii, Část 2: Terminológia katastra nehnuteľností, mapovamai a fotogrametrie . 2009.
15. **RAA.SE.** *Equipment and procedures for photogrammetry.* RAA.SE. [Online] <https://www.raa.se/in-english/outreach-and-exhibitions/guide-for-publishing-3d-models/equipment-and-procedures-for-photogrammetry>.
16. **Styly.cc.** *Photogrammetry discount video.* Styly.cc. [Online] Styly.cc. https://styly.cc/tips/photogrammetry_discount_video/.
17. **HELLMAN T., LAHTI M.** Photogrammetric 3D modeling for virtual reality. 2018.
18. **Lee, YAO-AN.** A guide to capturing/ preparing photogrammetry for unity. *místo neznámé : The emerging media lab and department of geography at the university of briths columbia,* 2017.
19. **Python.** Python. Python. [Online] Python Software Foundation, 2021. <https://www.python.org/>.
20. **CANNY, J. A.** Computational Approach to Edge Detection. *místo neznámé : IEEE , 1986.* ISSN 0162-8828.
21. **ADOBE.** Adobe Illustrator. Adobe. [Online] Adobe, 2021. <https://www.adobe.com/cz/products/illustrator.html>.
22. —. Adobe photoshop. Adobe. [Online] ADOBE, 2021. <https://www.adobe.com/cz/products/photoshop.html>.
23. **Centrum FotoŠkoda.** PANASONIC Lumix DC-GH5. FotoŠkoda. [Online] Centrum FotoŠkoda, 2021. <https://www.fotoskoda.cz/panasonic-lumix-dmc-gh5/#/>.
24. —. LUMIX G X VARIO 12-35mm / F2.8 II ASPH. / POWER O.I.S. FotoŠkoda. [Online] Centrum FotoŠkoda, 2021. <https://www.fotoskoda.cz/panasonic-12-35-mm-f-2-8-ii-power-o-i-s/#/>.
25. **Megapixel.** Crop faktor . MEGAPIXEL.cz. [Online] 2021. <https://www.megapixel.cz/crop-faktor>.
26. **Vysoké učení technické v Brně. Čočky.** Vysoké učení technické v Brně. [Online] 2019. <https://physics.fme.vutbr.cz/~mcerny/BF/labiny/cocky.pdf>.
27. **Paladix.** Hodina matematiky. Paladix. [Online] Paladix, 2021. <https://www.paladix.cz/clanky/hodina-matematiky.html>.

8 Přílohy

Seznam příloh

Příloha 1 Canny_with_sliders_and_Save.py	53
Příloha 2 Cannyho_snimky.7z	53
Příloha 3 Plots.py	53
Příloha 4 vypocty.xlsx	53

Příloha 1 Canny_with_sliders_and_Save.py

Příloha 2 Cannyho_snimky.7z

Příloha 3 Plots.py

Příloha 4 vypocty.xlsx