



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní
Ústav letecké dopravy

Možnosti detekce laserového paprsku ozařujícího letadlo
Detection Possibilities of Laser Beaming Towards an Aircraft

Bakalářská práce

Studijní program: Technika a technologie v dopravě a spojích

Studijní obor: Technologie údržby letadel

Vedoucí práce: doc. Ing. Jakub Hospodka, Ph.D.

Artem Philippenko

Praha 2022

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

děkan

Konviktská 20, 110 00 Praha 1



K621.....Ústav letecké dopravy

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Artem Philippenko

Studijní program (obor/specializace) studenta:

bakalářský – TUL – Technologie údržby letadel

Název tématu (česky): **Možnosti detekce laserové paprsku ozařujícího letadlo**

Název tématu (anglicky): Detection Possibilities of Laser Beaming Towards an Aircraft

Zásady pro vypracování

Při zpracování bakalářské práce se řiďte následujícími pokyny:

- Cílem práce je navrhnout a provést experiment ověřující vliv úhlu paprsku laseru na jeho detekovatelnost. Z výsledků experimentů odhadnout možnosti detekce místa laserového útoku na letadlo.
- Detekce laserové paprsku.
- Návrh experimentu k ověření mezních úhlů detekovatelnosti.
- Technická příprava experimentu včetně tvorby vhodného měřicího zařízení.
- Vyhodnocení experimentu.
- Diskuze řešení s důrazem na zhodnocení dalších parametrů, které mohou výsledek ovlivnit.



- Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího bakalářské práce
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 35 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: ICAO DOC 8168 - Provoz letadel - letové postupy
Lasery a moderní optika - Miroslava Vrbová
Nařízení EK 664/2021- o regulačním rámci pro vzdušný prostor U-space

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Jakub Hospodka, Ph.D.**

Datum zadání bakalářské práce: **9. října 2020**
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání bakalářské práce: **30. listopadu 2022**
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

doc. Ing. Jakub Kraus, Ph.D.
vedoucí
Ústavu letecké dopravy



prof. Ing. Ondřej Příbyl, Ph.D.
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.

Artem Philippenko
jméno a podpis studenta

V Praze dne..... 9. srpna 2022



Abstrakt

Laserové útoky na letadla jsou poměrně časté. Ohrožují nejen bezpečnost letu, ale i zdraví pilotů. Zásadním omezením je těžká detekovatelnost útočníka. V práci bude zkoumáno, jak může směr a úhel laserového paprsku ovlivnit jeho zachytitelnost kamerovým systémem. Práce tak poslouží jako vstup do projektu APALER.

Klíčová slova: Laserové záření, laserové útoky, úhel paprsku, detekce, kamerový systém.



Abstract

Laser attacks on aircraft are quite common. They not only threaten the safety of the flight, but also the health of the pilots. A major limitation is the hard detectability of the attacker. The paper will examine how the direction and angle of the laser beam can affect its capture by the camera system and the work will serve as an input to the APALER project.

Keywords: Laser radiation, laser attacks, coal beam, detection, camera system.



Poděkování

Rád bych vyjádřil poděkování všem, kdo přispěli k vytvoření mé bakalářské práce. V první řadě děkuji svému vedoucímu práce doc. Ing. Jakubu Hospodkovi, Ph.D., za rady, připomínky a čas, který mi věnoval při zpracování této práce. Děkuji také svým rodičům a přítelkyni za to, že mě podporovali v průběhu celého studia, a v neposlední řadě svým kolegům, kteří byli ochotni mi asistovat při provádění mého experimentu.



Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem Možnosti detekce laserového paprsku oznařujícího letadlo vypracoval samostatně a použil k tomu úplný výčet citací použitých pramenů, které uvádím v seznamu přiloženém k bakalářské práci.

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

Praze dne 9. listopadu 2022

.....


Podpis



Obsah

Seznam obrázků	9
Seznam tabulek	10
Seznam symbolů a zkratek	11
Úvod	12
1 Základní teoretická východiska	13
1.1 Fyzikální princip fungování laseru	13
1.2 Rozdělení laserů	15
1.3 Konstrukce laseru	17
1.4 Možnosti využití laserové technologie v praxi	19
1.5 Laserový paprsek	20
1.6 Legislativní předpisy ve vztahu k užití laserů v letecké praxi	23
1.7 Fungování a konstrukce fotoaparátů	24
1.8 Případy útoků laserovým paprskem v letecké dopravě v České republice a v zahraničí	28
2 Praktická část bakalářské práce	31
2.1 Návrh experimentu k ověření mezních úhlů detekovatelnosti	31
2.2 Příprava k experimentu (vybavení)	32
2.2.1 Lasery	32
2.2.2 Sestava	34
2.2.3 Fotoaparát	37
2.2.4 Objektiv	38
2.3 Vlastní měření	38
2.3.1 Měření na vzdálenosti 100 m se zeleným laserem	39
2.3.2 Měření na vzdálenosti 100 m s modrým laserem	41
2.3.3 Měření na vzdálenosti 200 m s modrým laserem	44
2.3.4 Porovnání míry viditelnosti laseru na 100 a 200 metrech. Odhad viditelnosti laseru na 300 metrech	46
2.3.5 Provedení měření na 300 m – ověření předpokladu	49
2.4 Diskuse	51
Závěr	53
Seznam použité literatury	54
Seznam přílohy	58

Seznam obrázků

Obrázek 1 Schéma znázornění absorpce spontánní emise a stimulované emise záření [3].....	14
Obrázek 2 Polovodičový laser [38]	16
Obrázek 3 Plynový laser [39].....	17
Obrázek 4 Schéma pevnolátkového laseru [30]	18
Obrázek 5 Schéma digitálního fotoaparátu [40].....	24
Obrázek 6 Clona objektivu [41].....	27
Obrázek 7 Počet laserových útoků v USA za poslední roky [30].....	29
Obrázek 8 Počet laserových útoků v České republice za poslední roky [30]	29
Obrázek 9 Schéma měření boční pohled [Autor]	31
Obrázek 10 Schéma měření pohled shora [Autor].....	32
Obrázek 11 Modrý laser s držákem [Autor]	33
Obrázek 12 Zelený laser s držákem [Autor].....	34
Obrázek 13 Díl pro změnu vertikálního směru záření laseru [Autor]	34
Obrázek 14 První sestava – neúspěšná [Autor].....	35
Obrázek 15 Druhá sestava – 3D model [Autor]	36
Obrázek 16 Sestava s laserem namontovaná na stativ [Autor].....	36
Obrázek 17 Canon EOS 850D [34]	37
Obrázek 18 Objektiv použitý při měření [35].....	38
Obrázek 19. Umístění laseru a kamery [36].....	39
Obrázek 20 Srovnání viditelnosti laseru podle barvy [Autor].....	40
Obrázek 21 Maximální a minimální viditelnost laseru při prvním měření [Autor]	43
Obrázek 22 Maximální a minimální viditelnost laseru při druhém měření [Autor]	43
Obrázek 23 Maximální a minimální viditelnost laseru při třetím měření [Autor]	45
Obrázek 24 Maximální a minimální viditelnost laseru při čtvrtém měření [Autor]	46
Obrázek 25 Porovnání výsledků [Autor]	47
Obrázek 26 Odhad na 300 m [Autor].....	48
Obrázek 27 Porovnání výsledků [Autor]	48
Obrázek 28 Odhad na 300 m [Autor].....	49
Obrázek 29 Výsledky měření na 300 m, 200 m, 100 m [Autor].....	51
Obrázek 30 Výsledky měření na 300 m, 200 m, 100 m [Autor].....	51



Seznam tabulek

Tabulka 1 Parametry fotoaparátu [34]	37
Tabulka 2 Parametry objektivu [35]	38
Tabulka 3 Měření na 100 m [Autor]	42
Tabulka 4 Měření na 200 m [Autor]	44
Tabulka 5 Měření na 300 m [Autor]	50



Seznam symbolů a zkratk

ICAO	International Civil Aviation Organization
LASER	Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation



Úvod

Obor letecké dopravy je jedním z nejserióznějších odvětví dopravy. Jedním z hlavních cílů této dopravy je zajištění bezpečnosti letu. Již od začátku minulého století začala vznikat pravidla bezpečnostního provozu, která se zaměřovala na všechny složky, začínaje od výroby letadla až po provoz a navigování letadel. Všechno je zacíleno na bezpečnost. Bez ohledu na to, jak se zdokonalují technologie a metody zajištění bezpečnosti, stále existují případy leteckých nehod a katastrof. Důvodem nehod zpravidla bývá lidský faktor. Podle statistiky 35 % připadá na lidský faktor, 25 % na technické problémy, 6 % na počasí a ostatní [31]. V poslední době byly zaznamenány častější případy porušování bezpečnosti letového provozu, které nejsou závislé na činnosti leteckého personálu ani na přírodních jevech. S pokrokem technologie roste i riziko vzniku zařízení, která mohou ohrozit oblast letectví. Jednou z takových technologií je laser. V poslední době došlo k opakovaným případům útoků na letadla nízkooenergetickými lasery. Zločinci pomocí laseru svítí do kabiny posádky, tím mohou způsobit poškození zraku nebo ztrátu pozornosti v nejtěžších etapách letu, např. při přistání letadla.

Cílem bakalářské práce je navrhnout a provést experiment ověřující vliv úhlu paprsku laseru na jeho detekovatelnost a z jeho výsledku odhadnout možnosti detekce místa laserového útoku na letadlo.



1 Základní teoretická východiska

První kapitola bakalářské práce předkládá základní poznatky týkající se jak principů laseru a laserového paprsku, jejich vlastností a možností využití v praxi, tak i fyzikální podstaty fungování fotoaparátů. S ohledem na fakt, že se tato práce snaží poukázat na možnosti detekce laserového paprsku v oblasti letecké dopravy, je také nutné poukázat v této souvislosti na legislativu využívání laserového paprsku v letectví a na některé útoky laserovým paprskem v tomto sektoru dopravy, k nimž došlo nejenom v zahraničí, ale také v České republice.

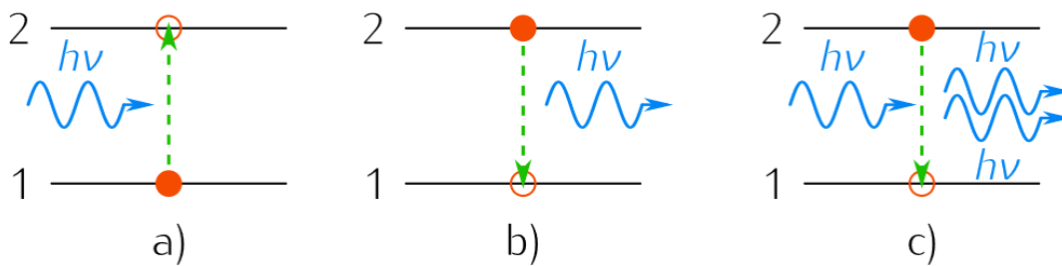
1.1 Fyzikální princip fungování laseru

Cílem této dílčí podkapitoly je seznámit se s principy fungování laserů po jejich fyzikální stránce. Dále je třeba také vysvětlit, a to v dalších podkapitolách, kde všude se laserové technologie používají. Bude vysvětleno rozdělení laserů, jejich konstrukce, a co to je laserový paprsek.

Výraz LASER je zkratkou anglického výrazu Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation. Toto spojení lze do češtiny přeložit jako zesílení světla stimulovanou emisí záření [1]. Laser se považuje za zdroj elektromagnetického záření, který je vybaven schopností zesílení světelného vlnění a vyzařováním světla v úzkém svazku paprsků (laserový paprsek), který oproti klasickému světlu vykazuje koherentnost a monochromaticnost [2], o čemž bude pojednáno v jedné z dalších podkapitol.

Součástí laseru je tzv. aktivní prostředí, které je možné definovat jako médium se schopností zesilování záření, které jím prochází, a to za pomoci stimulované emise. K tomuto procesu dochází v případě, kdy foton interaguje buď s atomem, nebo s molekulou. Rozeznávají se celkem tři druhy interakcí, které lze označit jako:

- a) Absorpci;
- b) Spontánní emise;
- c) Stimulovanou emisí záření.[3].



Obrázek 1 Schéma znázornění absorpce spontánní emise a stimulované emise záření [3]

Níže v textu bude pozornost blíže zaměřena na základní fyzikální principy fungování laseru. Zde je nutno vyjít z teorie kvantové fyziky. Za předpokladu existence dvou energetických hladin atomu u daného materiálu, které se označí jako E_1 a E_2 (na obrázku č. 1 označeno jako 1 a 2), se má za to, že E_1 dosahuje nižší hladiny než v případě E_2 . Hladina u E_1 se považuje za základní. Tím se chápe základní stav mající minimální energii. Atom pak leží na hladině 1 a zde zůstává do té doby, než mu je určitým způsobem dodána příslušná energie. Tím, že získá energii, změní se u něj energetický stav. K tomu může dojít např. tak, že na něj dopadne elektromagnetická vlna, jejíž součástí jsou příslušné fotony. V případě, že výše energie dosahuje u těchto fotonů rozdílu mezi energetickými hladinami E_2 a E_1 , vzniká jev, který je označován jako absorpce záření. Tím je atomem uvedená energie absorbována, čímž dochází k jeho přesunu na vyšší hladinu E_2 . Spontánní emise nastává tehdy, jestliže se atom nachází na hladině 2, přičemž platí, že hladina E_2 je vyšší než hladina E_1 . U atomu je proto pozorována tendence přechodu do stavu, který je pro něj výhodnější, to znamená na hladinu 1. Zároveň se však musí atom snažit o snížení své energie, která se musí rovnat rozdílu mezi E_2 a E_1 [3] [4] [5]. Ke spontánní emisi dochází u elektromagnetického záření. Pro tuto emisi je charakteristické, že vyzařuje foton, jehož energie se rovná:

$$h\nu = E_2 - E_1,$$

přičemž h je Planckovou konstantou [6].

V dnešní době se jako aktivní prostředí používá velké množství látek všech možných skupenství. Aktivním prostředím můžou být krystal, keramika, plyn, kapalina a další látky. Aktivní prostředí je tvořeno atomy, které se za normálních okolností, jinak řečeno za stavu termodynamické rovnováhy, nachází na základní energetické hladině E_0 . Potom může dojít k již zmiňované absorpci záření, které je v tomto případě reprezentováno tokem fotonů o energii:

$$E = h \cdot f = h \cdot c / \lambda,$$



λ je vlnová délka [3].

V praxi se lze setkat s dvěma, třemi, čtyřmi i více hladinovými systémy. Zdrojem energie je například výbojka nebo elektrický proud. Energie je „pumpována“ („buzena“) do aktivního prostředí. Buzení může být buď přímé, nebo nepřímé. Pokud má laser nepřímé buzení, příjem energie potřebný na dosažení inverze je poskytnutý jinou látkou, než je aktivní látka [4].

V případě zesílení laserů je mnohonásobě, až milionkrát, zajištěno jejich stejné fungování, nicméně elektrony fotonů se nacházejí na metastabilní hladině. Foton se stimulující funkcí přiletí až ke stovkám elektronů, a to v jediný časový okamžik. V tom jsou ze strany atomů vypuštěny zesílené fotony, a to do jakéhokoliv směru. Fotony, které se pohybují, jsou pro ostatní fotony jakýmsi stimulujícími, což ostatní elektrony nutí ke zpětnému přesunu a k vypuštění fotonů, které se následně přidají ke stimulujícím fotonům [3].

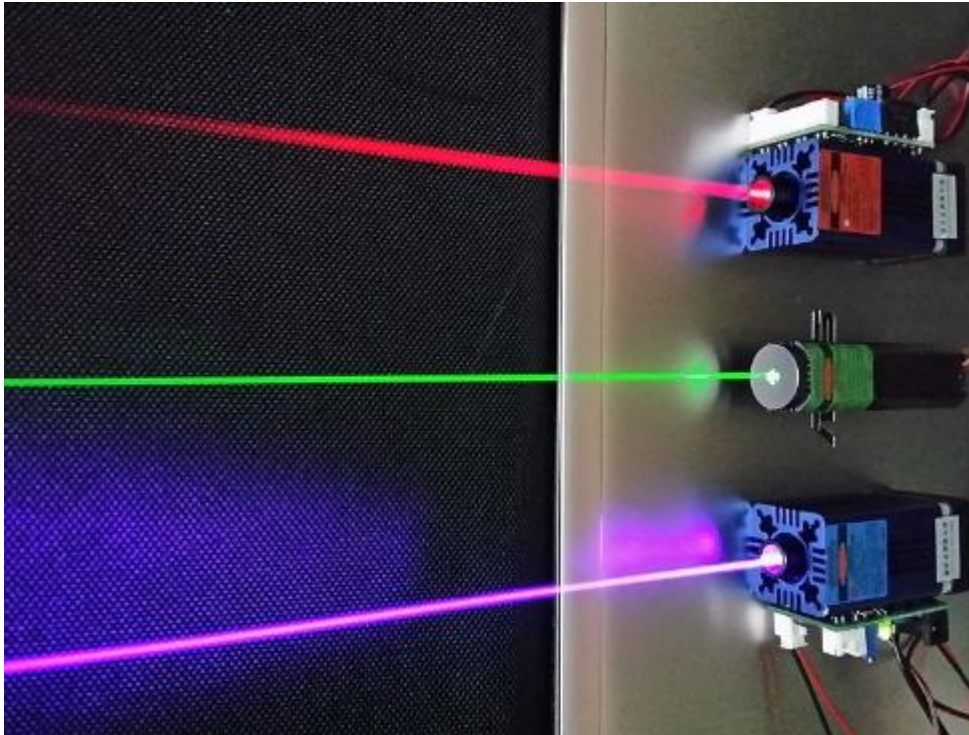
Vzhledem k opětovnému mnohonásobnému zesílení fotonů je také zesíleno světlo. V takovém případě však nemůže laser vykonávat přesnou funkci, a to díky neuspořádanosti fotonů. Z toho důvodu je do laseru implementován rezonátor, který má podobu dvou zrcadel – odrazivého a polopropustného, přičemž obě jsou k sobě rovnoběžná. Tím lze zajistit odražení fotonů od zrcadel a jejich následné vylétávání z tohoto prostoru [7].

1.2 Rozdělení laserů

Za posledních 50 let prošla laserová technika poměrně velkým rozmachem, přičemž se lze dnes setkat s mnoha různými druhy laserů, a to jak co do velikosti, tak do jejich výkonů. Z hlediska emitovaného záření existují lasery, kterými je pokryto nejen ultrafialové, ale také viditelné, infračervené i rentgenové záření. Existuje několik kritérií, na jejichž základě je možné lasery klasifikovat. Nejčastější typologií laserů je přitom jejich rozčlenění na základě typu aktivního prostředí a vlnové délky [1].

Pokud se vezme jako kritérium aktivní prostředí, lze rozeznat lasery pevnolátkové, kapalinové, plynové, chemické, polovodičové a plazmatické. Druhým rozlišovacím kritériem je jejich pracovní režim. Podle toho se rozeznávají kontinuální lasery, které pracují nepřetržitě, dále pulsní a impulsní. Z hlediska výkonu je možné klasifikovat lasery, které jsou málo výkonné (od 3 do 10 W), poté výkonné, dosahující výkonu od 100 W až do 100 kW. Z hlediska vlnové délky se rozeznávají lasery, které lze užívat v rentgenové oblasti, dále v ultrafialové, ve viditelné, v infračervené a monochromatické. [8]

Na jednotlivé druhy laserů lze také nahlížet podle toho, jak jsou užity v průmyslu, proto lze rozeznat lasery využívané k řezání, ke svařování a pájení, ke gravírování a značení, k vrtání, ke kalení, k dekoracím skla, k mikroobrábění či se jedná o lasery využitelné v medicínském oboru. To mohou být např. oční, onkologické nebo dermatologické lasery [8] [9].



Obrázek 2 Polovodičový laser [38]

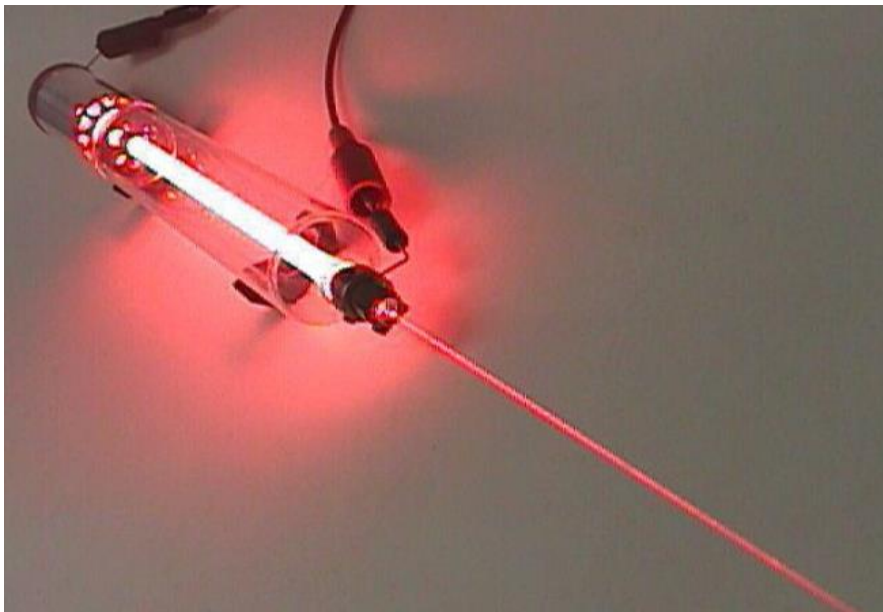
Detailněji budou níže v textu představeny některé lasery, které se odlišují svým aktivním prostředím. Jak o tom ještě bude pojednáno v další podkapitole, aktivní prostředí je důležitou komponentou jakéhokoliv laseru, neboť jde o látku, jejíž součástí jsou oddělené elektrony nacházející se na určitých kvantových energetických hladinách. A právě podle toho, jakou formu daný laser obsahuje, rozlišují se jeho jednotlivé druhy. Např. pevnolátkovým laserem mohou být např. krystaly rubínu, dále jde o kapalinové či plynové lasery, jejichž typickým zástupcem je CO₂ laser [1].

U pevnolátkových laserů se lze setkat s tím, že obsahují opticky průhledné krystaly skla, a proto je zapotřebí je ochlazovat určitým vodním médiem. Tyto krystaly mají uvnitř koncentrované ionty chromu v koncentraci 0,05 %. Příkladem tohoto typu laserů jsou např. rubínové, neodymové či safírové. Jejich slabou stránkou je především poměrně nízká účinnost [8].

U kapalinových laserů je jejich aktivní prostředí tvořeno organickými molekulami barviv, přičemž mohou být využity jak v nepřetržitém, tak pulsním režimu. Našly využití

především ve fotochemickém výzkumu a v oblasti spektroskopie. Jejich silnou stránkou je to, že mohou být laděny v širokém pásmu vlnových délek. Na druhé straně však jejich aktivní prostředí vykazuje nízkou životnost, což je dáno jejich rozkladem vlivem světelného a tepelného záření [1].

V neposlední řadě budou zmíněny také plynové lasery, u nichž aktivní prostředí obsahuje např. atomy, ionty nebo molekuly. K provádění jejich excitace je zapotřebí elektrický výboj, který je zředěn v plynu. Ačkoliv jsou tyto druhy laserů vysoce účinné, jsou poměrně málo výkonné. Typickým zástupcem plynového laseru je helium-neonový a argonový laser [4].



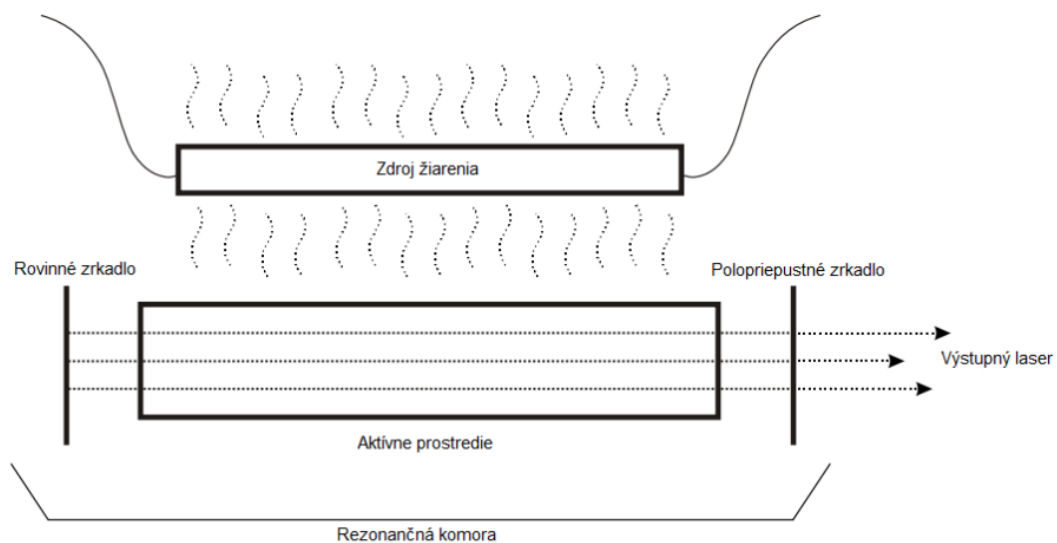
Obrázek 3 Plynový laser [39]

1.3 Konstrukce laseru

Součástí laserů bývá několik pasivních optických komponentů, přičemž k nim lze zařadit mimo jiné laserová zrcadla. Jejich funkce spočívá v implementaci laserových rezonátorů, přičemž zrcadla jsou především vysoce odrazová dielektrická, ta bývají nejčastějšími zástupci, v menší míře se může jednat také o zrcadla, která mají určitou propustnost proto, aby je bylo možno využít ve funkci výstupních vazebních členů. Zatímco jsou zrcadla poměrně často v laserech využívána, u čoček je tomu spíše naopak, protože se zaostřuje a rozostřuje za pomoci zakřivených zrcadel [8].

Co se týče hranolů, ty jsou aplikovány spíše mimo laser, ale lze je najít i uvnitř (především v případě ultrarychlých laserů), přičemž zde umožňují kompenzovat disperzi. Vlnová délka je laděna na základě optických filtrů, které se nacházejí na laserovém rezonátoru [10].

Z obecného hlediska je laser složen z několika důležitých částí. Jedním z nich je aktivní prostředí. Dále je laser tvořen rezonátorem, zdrojem záření a dalším příslušenstvím. Tím se myslí např. chladič, měření výkonu nebo kalibrace. Zcela jednoznačně je nejdůležitějším komponentem laseru aktivní prostředí, jehož součástí je látka obsahující oddělené kvantové energetické hladiny elektronů, jak o tom bylo pojednáno na počátku této kapitoly. Pro aktivní prostředí je důležité setrvat ve stavu, kdy má nejnižší energii, což je stav označovaný jako termodynamická rovnováha. Aktivní prostředí může být tvořeno buď pevnou látkou, kapalinou, nebo také směsí plynů [8] [11].



Obrázek 4 Schéma pevnolátkového laseru [30]

Pro správné fungování laseru je také důležitý prvek, který je pojmenován jako rezonátor. Jeho účelem je zesilovat záření. Rezonátor je možné definovat jako určitou soustavu či soubor zrcadel, která jsou vzájemně rovnoběžná a jsou umístěna kolmo na osu laseru. Bývá pravidlem, že jsou užívána rovinná zrcadla, nicméně se lze také setkat s lasery, v nichž jsou umístěna konvexní a konkávní zrcadla. Kromě toho, že jsou součástí rezonátoru zrcadla, je nutné zajistit jejich propustnost. V laserovém rezonátoru se obvykle nachází jedno nepropustné zrcadlo a další, které je polopropustné. Nepropustné zrcadlo je označováno jako dielektrické, což je kvalitně leštěný kov, který může být u polovodičových diod, může se jednat o rozhraní se vzduchem. Podle odborné literatury je fungování rezonátoru zajištěno odražením fotonů mezi jednotlivými zrcadly. Za předpokladu, že není zajištěno létání fotonů v ose rezonátoru, tak poté, co se několikrát odrazí, dojde k jejich opuštění v aktivním prostředí. Tyto fotony však v případě létání umožňují díky svým mnohonásobným odrazům stimulaci dalších, čímž je vyvolán lavinový efekt a dochází k zesilování vstupního záření. Za předpokladu dosažení



správné energetické hladiny fotonu je polopropustným zrcadlem zajištěno jeho vypuštění, a to v podobě paprsku [8] [11] [12].

Za třetí – část laseru se považuje za zdroj záření. Jeho funkcí je dodávat energii elektronům, které se nacházejí v aktivním prostředí, a to za účelem jejich přesouvání z nižší energetické hladiny na vyšší. Zdroj záření bývá v laserech konstruován např. v podobě výbojky nebo elektrického proudu [5] [8] [11].

1.4 Možnosti využití laserové technologie v praxi

Vzhledem k tomu, že je laser využíván a rozvíjen již přibližně 50 let, uplatňuje se v současnosti v mnoha oborech lidské činnosti. Jednoznačně se jedná o sektor průmyslu. V podstatě byl průmysl prvním oborem, kde se první lasery začaly využívat. Díky tomu, že je laserový paprsek koherentní, disponuje velkým množstvím energie a je poměrně přesný, bylo možno využívat lasery ke zpracování jak kovových, tak nekovových materiálů oplývajících vysokou kvalitou. Lasery se v průmyslu poměrně rychle osvědčily, a to i díky jejich rychlosti při zpracování daného materiálu, navíc výsledná plocha užitého materiálu vykazovala velmi dobrou kvalitu, aniž by bylo nutno ještě přistoupit k dokončovacím technologiím nebo k jejich modifikacím. Laser proto slouží jako řezný a vrtný nástroj, je možné jej využít ke svařování kovů. V tomto případě se přistupuje k užití laserů typu CO₂ a Nd: Yag. S využitím laserového paprsku je dosaženo vysoké rychlosti sváření, která může být až 20 m za minutu. Laser je však také vhodným nástrojem v případě, že je zapotřebí vytyčit a zaměřit objekty na staveništích nebo v geodézii. Za pomoci laserového paprsku se také měří vzdálenost mezi družicemi či Měsícem a Zemí, přičemž se hodnotí doba, která uplyne od vyslání světelného impulsu, k jeho přijetí [12] [13].

Dnes je zcela běžnou praxí, že jsou lasery využívány v medicíně. Jednou z možností aplikace je tzv. fototerapie. Nejprve se k užití laseru přistoupilo v očním lékařství, kdy jím byly prováděny oční operace, konkrétně se realizovaly korekce očních vad, dále se také v dermatologii vyhlazovaly jizvy. Tyto aplikace byly uskutečněny již v průběhu 70. let minulého století. Nicméně k masivnímu rozšíření laseru v řadě praktických lékařských oborů se přistoupilo až po roce 2000. Vzniklo dokonce nové lékařské odvětví – laserová chirurgie. Lékaři si uvědomili výhody užití laserů, a to především možnost koncentrovat světlo na poměrně malou plochu, přičemž mohli tkáň řezat jenom malými řezy, aniž by poškodili okolí. Ukázalo se také, že při řezání se laser nedotýká přímo tkáň, a tak lze eliminovat skutečnost, že dojde k infikování rány, což se často stávalo při „otevřených“ operacích. Energie uvolňovaná při řezání pomocí laseru je v tkáních pohlcována a přeměňuje se na teplo. [6] [9] [14]



Uvedená technika je vysoce šetrná a bezpečná, a proto se stále častěji přistupuje k užití laseru při operaci, a to zejména v oční chirurgii, v neurochirurgii, v onkologii, stomatologii a v dermatologii. Výhody laserové terapie se ukázaly také u nemocí pohybového ústrojí, při poruchách kloubů apod. [6].

1.5 Laserový paprsek

Laserový paprsek je možné definovat jako vlnění optického typu, spadající do skupiny elektromagnetického záření, přičemž se odlišuje od jiného typu záření na základě vlnové délky. V běžném světelném záření se nachází vlnění, jehož součástí jsou vlny mající různou délku a frekvence, přičemž spontánně vycházejí do jakéhokoliv směru. V případě laseru bylo možno vytvoření takových podmínek, v jejichž rámci dojde za předpokladu existence vhodného aktivního prostředí díky stimulujícímu elektromagnetickému záření spontánní emise k potlačení na úkor emise, což je vynuceno stimulujícím záření. Tímto způsobem vytvořené laserové záření vykazuje vlastnosti koherence, interference, extrémní monochromatickosti a malé divergence záření za předpokladu vysoké spektrální hustoty záření. Díky tomu, že je laserový paprsek koherentní, je možné za pomoci optického systému zajistit soustředění záření pouze do jednoho malého bodu, který dosahuje v řádech velikosti vlnové délky záření, prakticky 0,1 až 0,001 mm – čímž se dají podle údajů v literatuře získat hustoty energetického toku větší než 108 W.cm^2 . To jsou hodnoty tisíckrát větší než hodnoty dosahované fokusací slunečního světla [15]. Takto zkoncentrovaná energie je schopna roztavit prakticky každý známý materiál. Dopadem laserového paprsku na materiál umístěný v ohništi vzniká absorpce záření na povrchu materiálu, a tím jeho ohřev. Teplota v tomto místě bude funkcí hustoty energie fokusovaného laserového paprsku [16].

Svazek elektromagnetického záření vyzářený laserem se liší od světla, které produkují jiné zdroje jako například žárovky, zářivky, reflektory nebo vysoce výkonové obloukové lampy. Jedinečná vlastnost laserového paprsku se nejlépe ukáže ve srovnání s jinými, méně jedinečnými zdroji světla [16].

Monochromatickost

Vlnová délka je rozdílem mezi dvěma po sobě následujícími vlnami. Označuje se řeckým písmenem λ (lambda). Každá barva viditelného světla má její charakteristickou vlnovou délku.



Bílé světlo vznikne rozložením různých vlnových délek. Tříboký hranol dokáže bílé světlo rozložit na jeho jednotlivé vlnové délky. Monochromaticnost je jedinečná vlastnost světla. Dokonalé monochromatické světlo by obsahovalo jen vlnění jediné vlnové délky. Laserový paprsek se této představě velmi přibližuje, protože obsahuje světlo úzkého intervalu vlnových délek [15].

Šířka spektrální čáry laseru je menší než 1 nm. Změnit vlnovou délku, na které laserový zdroj září, se dá pomocí změny optických vlastností rezonátoru nebo aktivního prostředí. Monochromaticnost je důležitá v aplikacích interferometrie, holografie, měření rychlosti a vzdáleností, izotopové separace a ve spojové a informační technice. Není důležitá, např. při obrábění laserem [3].

Divergence (rozbíhavost)

Světlo vychází ze žárovky ve všech směrech. Všechny běžné světelné zdroje vyzařují světlo tímto způsobem. Například automobilové reflektory neboli bodová světla jsou vytvořeny pouze optickými systémy, jež soustřeďují světlo ze zdroje do úzkého směrového paprsku. **Směrovost** je charakteristická vlastnost laserového paprsku, která způsobuje jeho šíření prostorem v podobě úzkého kužele, který se vyznačuje malou rozbíhavostí [15].

Podobně jako je tomu u monochromaticnosti, ani zde není možné docílit vytvoření dokonale rovnoběžného paprsku světla. Vlastností všech světelných paprsků, a to včetně těch laserových, je jejich prostorová rozbíhavost. Pro laserové světlo je také charakteristická velmi vysoká směrovost, čímž se liší od jiných světelných zdrojů, přičemž rozbíhavost je u laserového světla relativně nízká [2]. V řadě aplikací jsou použity optické systémy, které zmenšují rozbíhavost výstupního laserového paprsku.

Koherence je představována jako paralelní vlny světla z běžného zdroje šířící se prostorem. Žádná z těchto vln nemá žádnou spojitost s jinou vlnou v tomto paprsku. Takové světlo se nazývá inkohrentní a rozumí se tím, že světlo v paprsku nemá žádné vnitřní uspořádání. Každá z jednotlivých vln je v každém okamžiku ve fázi s kteroukoli jinou vlnou. Tento jev dokonalého uspořádání vln se v laserovém paprsku nazývá koherencí. Stejně jako laserový paprsek nemůže být dokonale monochromatický nebo dokonale směrový, nemůže být ani dokonale koherentní, ale ve srovnání s jinými zdroji světla je laserový paprsek vysoce koherentní. Koherence je vysoce významná vlastnost laserového paprsku a odlišuje jej od světla z jiných zdrojů. Laser je proto možné definovat jako zdroj koherentního záření [1] [7].



Zdroj [3] uvádí, že v laseru vzniká světelná vlna, ve které jsou všechny vyzařované fotony vzájemně sesynchronizovány. Toto skládání vln se nazývá interference a projevuje se ve formě páskových obrazů na místě dopadu paprsku. Z výsledného tvaru těchto obrázků a vzdálenosti či šířky pásků lze zjišťovat velikost a tvar rozptylujících center, která jsou za běžných okolností pozorovatelná pouze pod mikroskopem. Vlny laserového světla mohou mít délku stovek kilometrů [3].

Analogií může být skupina pochoduujících vojáků, při pohledu na řady zepředu je rameno u ramene – prostorová koherence, při pohledu na skupinu z boku se vzdálenosti nemění, i když se skupina pohybuje – časová koherence [12].

Polarizace

Vlny elektromagnetického pole kmitají pouze v jedné rovině, což je přesným opakem světla přirozeného – nepolarizovaného, ve kterém jsou roviny kmitání elektromagnetických vln orientovány náhodně. Rozlišují se tři druhy polarizace elektromagnetických vln, a to lineární, kruhová a eliptická [3].

Fokusování (zaostření) laserového paprsku

Nezaostřený paprsek obecně nedává dostatečnou hustotu energie, potřebnou k dosažení teploty tavení nebo varu zpracovávaného materiálu. Jeho průměr bývá řádově v mm, proto je zapotřebí fokusování paprsku. Fokusování laserového paprsku se provádí za pomoci optických čoček nebo zrcadel. To, jaké budou vybrány vhodné optické prvky, aby bylo možno docílit zaostření laserového paprsku, je ovlivněno především délkou laserového záření a intenzitou výkonu. U laserového paprsku není možné jeho ovlivnění díky elektromagnetického ani statického poli, což běžně u jiných druhů paprsků ovlivnit lze. S pomocí čoček dochází k fokusování laserového paprsku do menšího a systematictějšího bodu, než by se podařilo u zrcadel, což vede ke zvýšení intenzity výkonu. S čočkami se však pojí nevýhoda jejich využitelnosti jenom do určitého výkonu, cca do 2 kW. Systém používající optické čočky nemůže déle pracovat při vysokých výkonech. Fokusační čočky jsou vysoce výkonným laserovým paprskem porušovány a mohou shořet. Při výkonech nad 2 kW se používají optická zrcátka. Na optická zrcadla se používají vrstvy z kovů s vysokou reflexivitou pro danou vlnovou délku laserového záření, například: Au, Ag, Cu. Používají se také různé dielektrické vakuově napařené vrstvy. Fokusování se provádí konkávními a parabolickými zrcadly [12] [17].

Vysoký stupeň koherence umožňuje laserovému paprsku za použití čočky se soustředit – zfokusovat na velmi malé plochy až do rozměrů menších než tisícina mm². Změnou velikosti plochy, na kterou dopadá zfokusovaný laserový paprsek, je možno ovlivňovat intenzitu, a tedy i aplikovanou dávku záření. Při konstantním výkonu laseru závisí intenzita světla nepřímo úměrně na ozářené ploše. [3]



Některé druhy laserů lze „ladit“ (měnit vlnovou délku vyzářeného světla) v úzkém rozsahu, pokud se zajistí shoda rezonanční vlnové délky rezonátoru a oblasti zesílení aktivní látky. [3]

Výkon

Výkon laseru je optický výkonový výstup laseru. Uživatel potřebuje informaci o normálním pracovním výkonu laseru, který principiálně funguje v kontinuálním, nebo pulzním režimu. Oba režimy se využívají v mnoha aplikacích. Důležitým parametrem pulzního laseru je výkon při maximálním rozkmitu pulsu. Obecně lze uvést, že z laserů fungujících v kontinuálním režimu má CO₂ laser relativně vysoký výkon, z pulzních laserů to platí o Nd:YAG laseru. Jeho výstupní výkon je v určitém vztahu s provozním časem a operačními náklady. Pokud je výkon laseru nižší, je třeba počítat s delším provozním časem, pokud je výkon vyšší, než je nezbytně nutný – vzrostou náklady na provoz. Z toho vyplývá, že výběr výkonu laseru je důležitý [12].

Zářivost

Zářivost nebo i hustota energie světelného paprsku je v podstatě světelný výkon a vyjadřuje se ve W/cm². Zářivost nelze zvýšit optickou manipulací, závisí především na konstrukci dutiny. Právě zářivost předurčuje laser pro mnohostranné využití zejména v průmyslových aplikacích. Energie laserového paprsku způsobuje změnu tuhé fáze na tekutou a/nebo na plynnou [13].

1.6 Legislativní předpisy ve vztahu k užití laserů v letecké praxi

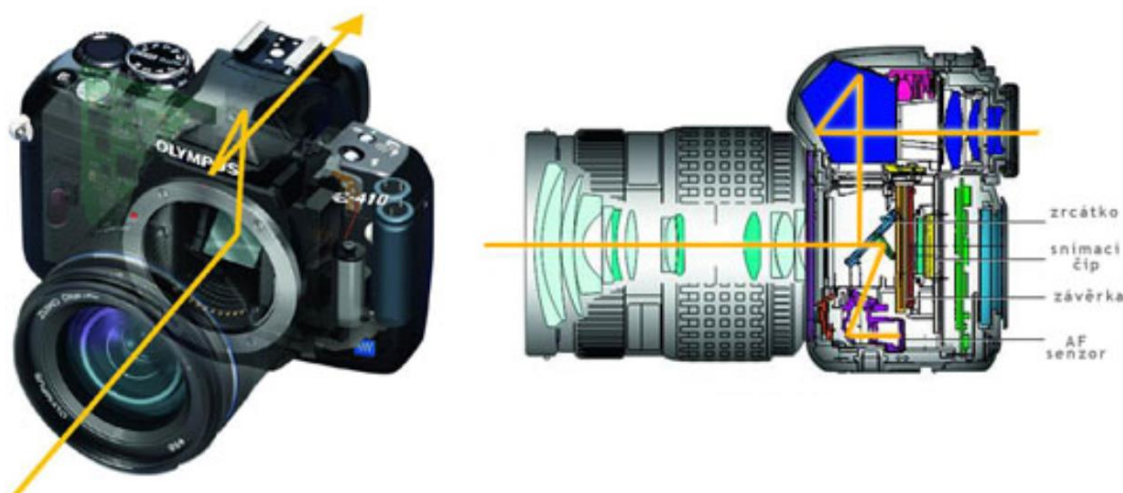
V této souvislosti se lze odkázat na prováděcí nařízení Komise 2021/664, které v čl. 1 uvádí, že tímto nařízením jsou stanovena pravidla a postupy, jež mají vést k zajištění bezpečného provozu bezpilotních systémů ve vzdušném prostoru. Podle čl. 6 musí každý provozovatel bezpilotního systému zajistit splnění požadavků týkající se schopností a výkonnosti daného systému a z jejich strany jsou splněny příslušné provozní podmínky [18].

Za důležitý právní předpis lze v této souvislosti považovat zákon o civilním letectví č. 49/1997 Sb., kdy v novelizaci z roku 2011 bylo zakázáno používat laser v okolí letišť. Vzniklo totiž ochranné pásmo, kde se tyto přístroje zakazují používat [19]. Touto novelou Poslanecká sněmovna ČR reagovala na nutnost a potřebu zajištění vyšší bezpečnosti pilotů. Zejména v okolí letišť tak nově od roku 2011 vznikla ochranná pásma, kde se nesmí využívat lasery, přičemž pokuta za porušení tohoto zákazu činí až 5 mil. Kč. [20]. Ochranné pásmo se dělí na dva sektory. *Sektor A je vymezen obdélníkem s podélnou osou totožnou s osou RWY, o šířce 8 000 m, o délce přesahující za prahy drah*

o 10 000 m a zasahuje od země do výšky 600 m nad průměrnou nadmořskou výškou provozních ploch letiště. Sektor B má tvar kruhu se středem ve vztažném bodu letiště o poloměru 20 000 m a zasahuje od země do výšky 2 400 m nad průměrnou nadmořskou výškou provozních ploch letiště. [41]

1.7 Fungování a konstrukce fotoaparátů

Objektiv fotoaparátu funguje jako oko, prochází přes něj světlo, které dopadá na světlocitlivý snímač, v případě oka na sítnici, na základě toho může vzniknout fotografie a díky sítnici je lze vidět. Odborná literatura klade důraz na objektiv a spolu s digitálním snímačem je považuje za nejdůležitější části digitálního fotoaparátu. Snímač je součástí hardwaru fotoaparátu, který zachycuje světlo a přeměňuje to, co je vidět přes hledáček, na fotografii. Je to jakoby elektronická náhrada za film používaný v analogových fotoaparátech. Čím vyšší je kvalita snímače digitálního fotoaparátu, tím kvalitnější budou i výsledné fotografie [21].



Obrázek 5 Schéma digitálního fotoaparátu [40]

Digitální snímač je jedním z nejdůležitějších prvků fotoaparátu, přičemž je složen z jednotlivých světlocitlivých plošek, na jejichž velikosti a počtu také závisí kvalita fotografie. Podstatnou částí fotografického přístroje je objektiv. Je to spojná optická soustava, která vytváří v rovině fotografického materiálu ostrý, skutečný a převrácený obraz snímaného předmětu. Ve srovnání s velikostí předmětu je takový obraz obvykle zmenšen [22]. Objektiv lze také chápat jako optickou soustavu, která vytváří co nejmenší zkreslený reálný obraz. [21]



Objektiv se skládá z několika čoček, zrcadel, případně čoček i zrcadel uložených ve válcové objímce tak, aby se středy křivosti jejich ploch nacházely na společné přímce nazvané optická osa. Čočku, podstatnou komponentu objektivu, si lze představit jako zvětšovací sklo, ale při pozorování vytvořeného obrazu zvětšovací sklem je možné zjistit, že má několik chyb. Když je obraz uprostřed ostrý, okraje jsou rozmazané a zkreslené. Složitá stavba objektivu z několika čoček (je potřebná k odstranění optických chyb). [21]

Objektivy se dělí podle různých kritérií, a to podle typu na objektivy s pevným ohniskem a zoomobjektivy, dále podle ohniskové vzdálenosti na základní objektivy, širokoúhlé objektivy a teleobjektivy, na speciální objektivy, např. makro objektivy, rybí oko. Objektivy se také rozlišují podle ohniskové vzdálenosti na širokoúhlé zoomové a podle způsobu využití, např. makro objektivy a portrétní objektivy [23].

Objektivy s pevným ohniskem mají na rozdíl od zoomových objektivů pevně danou ohniskovou vzdálenost a mají nejkvalitnější optické vlastnosti, ale nelze jimi zoomovat čili přibližovat a vzdalovat objekt na obraze, jako u zoom objektivů. Objektivy s proměnnou ohniskovou vzdáleností (zoom objektivy) dovolují měnit zvětšení objektu beze změny pozice fotoaparátu. Každý objektiv má určitou ohniskovou vzdálenost, ve které je ostře zobrazen předmět nacházející se v nekonečnu nebo velmi vzdálený, např. Slunce. Má-li objektiv kratší ohniskovou vzdálenost, je obraz tohoto předmětu menší a opačně, má-li objektiv delší ohniskovou vzdálenost, je obraz tohoto předmětu větší. Objektiv obraz velmi jemně zhuští, pozadí se rozostří a postava na fotografii bude více vynikat [24].

Pro objektiv rybí oko je typické sférické zkreslení, které způsobuje, že linie na fotografii nejsou rovné jako ve skutečnosti. Proto se rybí oko může uplatnit jako kreativní nástroj, díky kterému lze ve fotografii experimentovat a vytvářet na fotografiích zakřivené linie. Objektivy pro makrofotografii umožňují fotografovi dostat se do těsné blízkosti snímaného předmětu, makro objektiv umožňuje fotografování objektu v nezměněné velikosti, což znamená, že objekt velikosti 1 centimetr se na snímači fotoaparátu promítne ve stejné velikosti 1 centimetru. V případě, že je použit posuvný objektiv, fotoaparát zůstává v nezměněné poloze a posouvá se jen optika, čímž se zabrání sbíhání linií na fotografii [24].

Na základě uvedených informací je možné konstatovat, že nejdůležitějšími stavebními prvky fotoaparátů jsou světlocitlivé vrstvy a objektivy. Funkci objektivu lze přirovnat k funkci lidského oka.

Zdroj [25] klade důraz na to, že klíčem k ukázkovým fotografiím je expozice. Expozici lze definovat jako celkové množství světla, které dopadne na světlocitlivou vrstvu (u analogových fotoaparátů tvořena filmem, u digitálních fotoaparátů



světlocitlivým čipem). Expozice přitom nezávisí nejen na množství světla, které prochází objektivem fotoaparátu, ale také na tom, jak dlouho prochází, a na tom, jak je fotografovaná scéna jasná [24]. „Expozici ovlivňují tři prvky: čas závěrky fotoaparátu, velikost otvoru clony a citlivost na světlo“ [25, s. 60]. Kombinace těchto tří prvků, které ovlivňují expozici, je označována jako expoziční trojúhelník [24].

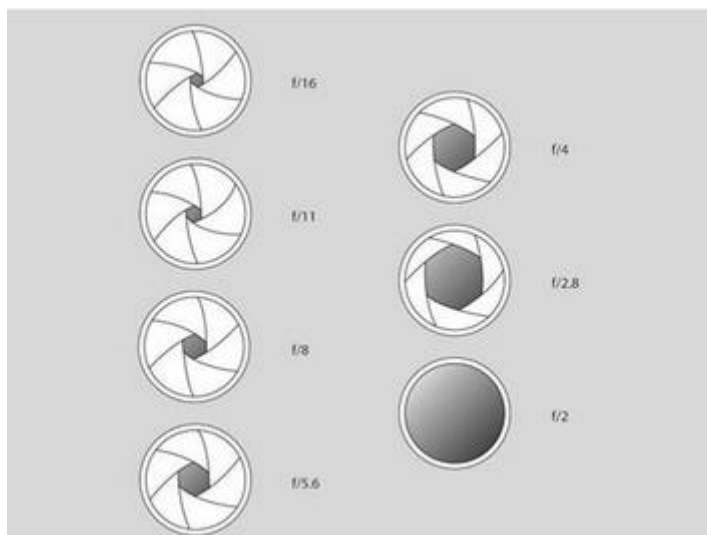
Na světlocitlivou vrstvu musí dopadnout správné množství světla, aby obraz nebyl příliš světlý, tj. přeexponovaný, nebo příliš tmavý, tj. podexponovaný. Množství světla, které dopadá na světlocitlivou vrstvu, se řídí clonou a uzávěrkou. „Uzávěrka fotoaparátu je malá, obvykle kovová záclona, která se pohybuje před snímačem a kontroluje množství světla, které na něj dopadne. Krátký čas závěrky vpustí dovnitř méně světla, dlouhý zase více“ [25, s. 60].

Podle zdroje [23] je uzávěrka považovaná za velmi důležitou součást fotografického přístroje, která řídí čas osvětlení světlocitlivé vrstvy a na rozdíl od [25] namísto pojmu čas uzávěrky používá pojem čas osvětlení. Jiné označení času závěrky uvádí i tento zdroj [24], který dobu, po kterou je světlocitlivá vrstva vystavena účinkům světla, nazývá expozičním časem nebo rychlostí závěrky. Čas se uvádí v sekundách a ve zlomcích sekund, například: 1/30, 1/60, 1/125, 1/250, 1/500, 1/1000. Časy od 1 sekundy se označují znakem sekundy, například 3“.

Uvádí se, že objektivy s velkou světelností jsou výhodnější, neboť s nimi lze fotografovat za méně vhodných světelných podmínek i s krátkými expozičními časy. Expoziční čas určuje, jak se pohyb zobrazí. „K dosažení dojmu pohybu jsou dva základní způsoby: buď pohyb objektu na fotografii „zmrazit“, nebo trošku obraz rozmazat“ [26, s. 16].

Pokud má být zachycen pohybující se objekt ostře, používá se krátký expoziční čas, např. při fotografii cyklisty během závodu – delší expoziční časy dodávají fotografiím na dramatickosti, protože pohybující se objekty budou na snímku rozmazané, což působí dynamicky, např. u fotografie tekoucí vody v potoce. Kratší expoziční doba se kromě zmrazení pohybu používá i za velmi dobrých světelných podmínek, protože tehdy na světlocitlivou vrstvu dopadá dostatek světla za krátkou dobu. Naopak delší expoziční doba je vhodná při slabém osvětlení [24].

Digitální fotoaparáty již nemají na rozdíl od analogových centrální a štěrbínové uzávěrky, ale uzávěrky řízené elektronicky. „Clona je mechanické zařízení, které omezuje množství světla procházející objektivem“ [24, s. 48]. Zdroj [26] definuje clonu jako otvor v objektivu, kterým přechází do fotoaparátu světlo.



Obrázek 6 Clona objektivu [41]

Velikost clony lze nastavit clonovým mechanismem, udává se pomocí clonového čísla, které se označuje písmenem f , například: $f/2$, $f/8$, $f/16$. Velká hodnota clonového čísla znamená malý otvor a malá hodnota clonového čísla znamená velký otvor. Funkci clony lze přirovnat k zornici lidského oka. Ostré světlo způsobuje zmenšení zornice, čímž do oka proniká méně světla. Naopak v tlumeném světle se zornice zvětší. Stejně tak fotograf používá větší clonové číslo při intenzivním osvětlení a menší při slabším osvětlení. Při horších světelných podmínkách se dosáhne relativně světlé fotografie použitím malého clonového čísla, čímž se zvětší otvor clony [25]. Malé clonové číslo se využívá, i když chce fotograf změkčit rušivé pozadí a zvýraznit objekt zájmu. Naopak při fotografování země je většinou žádoucí, aby byla celá scéna ostrá, proto se používá vysoké clonové číslo [26].

Digitální fotografické přístroje mají irisovou clonu, která je konstruována z tenkých lamel srpového tvaru, jež se navzájem překrývají tak, že uprostřed vytvářejí kruhový otvor. Lamely bývají většinou kovové a otáčením řídicího kovového kroužku na objektivu se lamely plynule pohybují a otvor uprostřed se plynule zvětšuje a zmenšuje. „Velikost otvoru clony má vliv na celkovou ostrost snímku, resp. na hloubku ostrosti“ [24, s. 49]. Zdroj [25] definuje pojem hloubka ostrosti jako velikost plochy, která bude na fotce zaostřena. Při zaostření na určitou vzdálenost jsou ostře zobrazeny bližší i vzdálenější předměty. Rozmezí, ve kterém jsou předměty zobrazeny ostře, se nazývá hloubka pole. A rozmezí těchto dvou vzdáleností zobrazené objektivem do obrazového prostoru se nazývá hloubka ostrosti. Hloubka ostrosti je v podstatě obraz hloubky pole.

Zdroj [26] zdůrazňuje, že hloubka ostrosti závisí na ohniskové vzdálenosti (dlouhé objektivy s ohniskovou vzdáleností od 300 do 600 mm pořizují fotografie s malou hloubkou ostrosti a krátké objektivy s ohniskovou vzdáleností od 28 do 35 mm pořizují fotografie), na vzdálenosti fotografovaného objektu (čím blíže se k fotografovanému



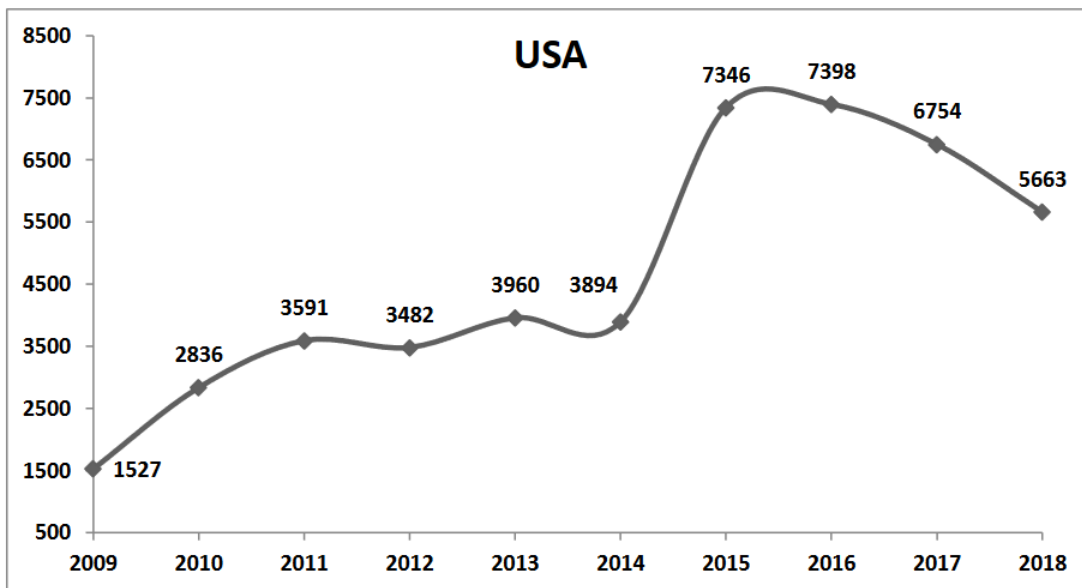
objektu fotograf nachází, tím je hloubka ostrosti na fotografii menší), na zaostřeném bodu (hloubka ostrosti se pohybuje zhruba od jedné třetiny vzdálenosti před bodem, na který bylo zaostřeno, po dvě třetiny vzdálenosti za ním) a na clonovém čísle (při malém clonovém čísle se získávají fotografie s omezenou hloubkou ostrosti, zatímco s velkým clonovým číslem se oblast přijatelné ostrosti zvětšuje).

Malá hloubka ostrosti se nejčastěji používá u portrétů, na kterých chce fotograf zvýraznit objekt svého zájmu tak, že osoba bude ostrá a pozadí rozmazané. Dosáhne se toho použitím delší ohniskové vzdálenosti a větším otvorem clony. S objektem ve stejné vzdálenosti a se stejným clonovým číslem může být hloubka ostrosti ovlivněna objektivy různých ohniskových vzdáleností. Například použije-li se širokouhlý objektiv s větší clonou, při fotografování země se dosáhnou mimořádně velké hloubky ostrosti [25] [26].

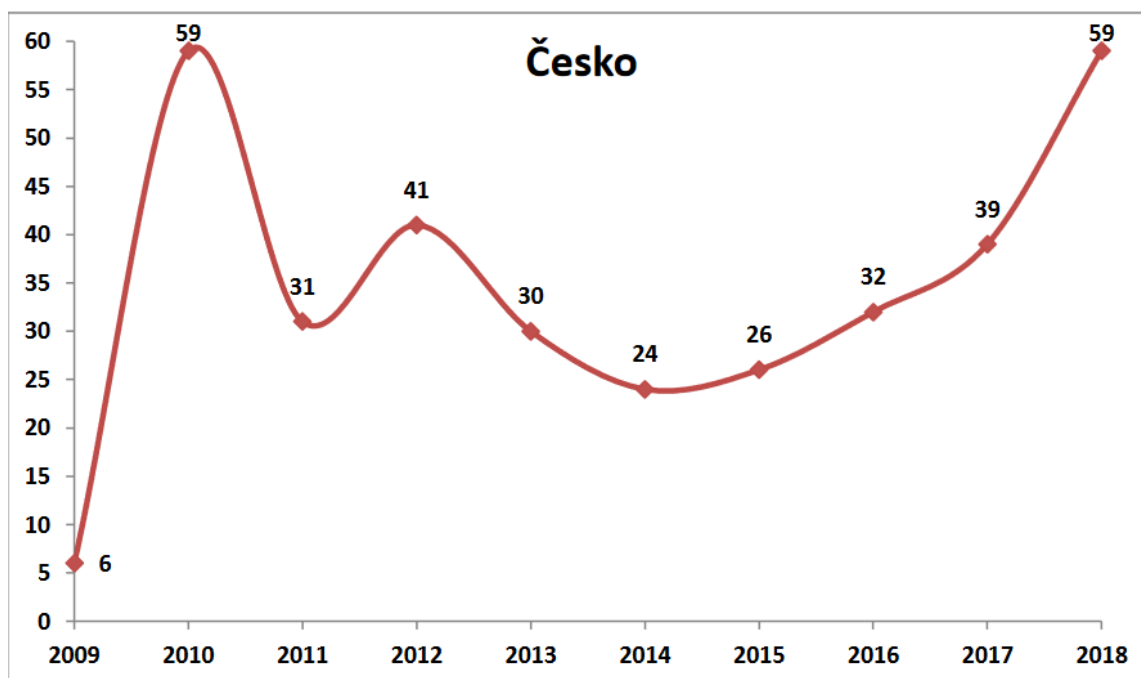
Zdroj [25] se blíže věnuje citlivosti digitálních fotoaparátů a poukazuje na to, že citlivost mnoha digitálních fotoaparátů lze zvýšit v jejich nastaveních. Čím je číslo ISO větší, tím je fotoaparát citlivější na světlo. Zvýšení citlivosti fotoaparátu při dané intenzitě osvětlení umožňuje používat kratší časy závěrky nebo menší otvor clony, ale nevýhodou je zvýšení množství šumu na fotografiích. Efekt šumu je podle [22] podobný hrubým zrnům na filmu. Digitální fotoaparáty disponují funkcí redukce šumu, díky které se částečně odstraní, ale ne dokonale. Zdroj [24] se přiklání k názoru, že nejlepší je používat co nejmenší možné hodnoty citlivosti ISO, neboť její zvyšování přináší do obrazu výrazný šum, a to i přes funkci sloužící k redukci šumu. Při citlivosti fotoaparátu ISO 800 je již šum dost viditelný, a proto je lepší zapnout jeho redukci. ISO 800 a více je vhodné použít, i pokud fotograf potřebuje krátkou dobu závěrky pro zmrazení pohybu [25].

1.8 Případy útoků laserovým paprskem v letecké dopravě v České republice a v zahraničí

Zdroj [27] se v roce 2012 v rámci své diplomové práce zabýval historií útoků laserovým paprskem v letecké dopravě v zahraničí i na území České republiky. Tento zdroj podotýká, že jsou to právě USA, které mají s laserovými leteckými útoky největší zkušenost, nicméně až do roku 1990 byly tyto útoky spíše raritou, většinou se jednalo o jeden, max. dva případy ročně. Šlo ale o náhodné případy, k nimž došlo z laserových show či nějakých kulturních akcí realizovaných v exteriéru. Ovšem s tím, jak se snižovala cena laserů, takže si je lidé mohli daleko častěji pořídit, začal se zvyšovat také počet těchto útoků.



Obrázek 7 Počet laserových útoků v USA za poslední roky [30]



Obrázek 8 Počet laserových útoků v České republice za poslední roky [30]

Za jeden z nejvýznamnějších případů tohoto typu se považuje útok z roku 2004, k němuž došlo v New Jersey. Tehdy byl zatčen osmatřicetiletý David Banach, který byl podezřelý, že ke konci roku 2004 oslnil laserovým paprskem pilota letadla přistávajícího na letišti Teterboro. Totéž se týkalo také policejní helikoptéry, jež pátrala po tomto



pachateli. Banach byl nakonec odsouzen ke dvěma letům probace, přičemž mu nebyl udělen žádný peněžní trest. [27]

V posledních letech se také množí útoky laserovým paprskem i v České republice. K poslednímu útoku podobného typu došlo v letošním roce 2022, kdy v srpnu byl nucen pilot letadla přistát se 130 cestujícími, a to z důvodu, že byl oslněn laserovým paprskem. Bylo zjištěno, že na přelomu července a srpna se s útoky tohoto typu setkávali piloti letadel v okolí Prahy téměř každodenně. Netýká se to však jenom leteckého provozu v Praze, ale také kolem letišť v Ostravě a Brně [28]. Řízení leteckého provozu evidovalo 15 útoků laserovým paprskem během třetího čtvrtletí roku 2022, přičemž většina z nich, a to 11, se týkala letové informační oblasti Praha. Proto se vědecký tým z Fakulty informačních technologií VUT rozhodl ve spolupráci s experty z ČVUT a Univerzity obrany vyvinout v rámci čtyřletého projektu sofistikovaný kamerový systém, aby se již s útoky tohoto typu skončilo. Tento systém bude využívat chytré algoritmy, díky nimž bude možná detekce laserových zdrojů, které ohrožují leteckou dopravu. Poměrně rychle bude možná identifikace trajektorie paprsku a s tím související lokalizace pachatele [29].

2 Praktická část bakalářské práce

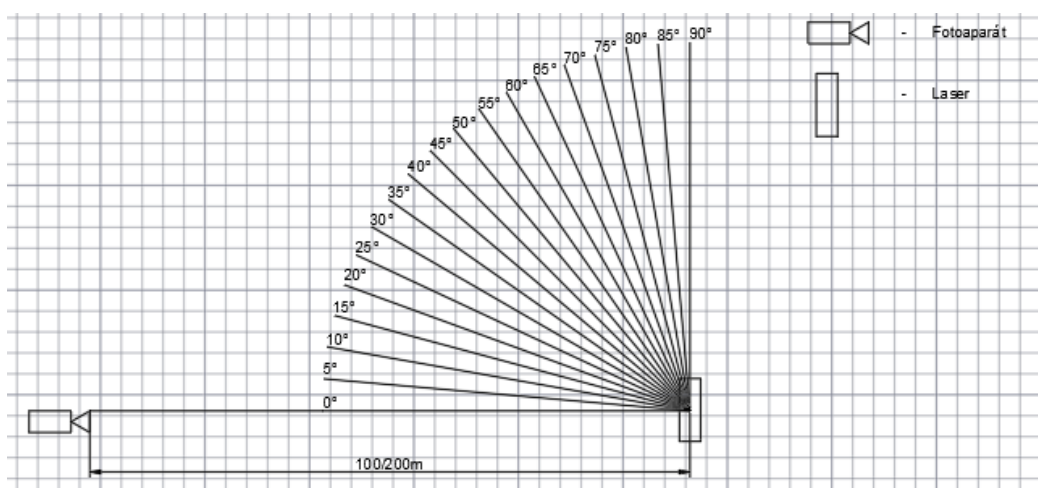
Hlavní myšlenkou provedených měření je ověřit vliv úhlu záření snadno dostupných nízkoenergetických laserů na jejich detekovatelnost a z výsledků experimentů odhadnou možné místo útoku.

2.1 Návrh experimentu k ověření mezních úhlů detekovatelnosti

Na začátku bylo nutné navrhnout konkrétní měření a jejich průběh. Pro dosažení cíle byla zvolena metoda detekce laserového paprsku pomocí moderního fotoaparátu s profesionálním objektivem. Hlavní myšlenkou bylo fotografování laseru v určitých vodorovných vzdálenostech pod různými úhly. Laser by měl být umístěn na speciální sestavě, která by umožnila jeho otáčení z vodorovné do svislé polohy a také rotace kolem své osy.

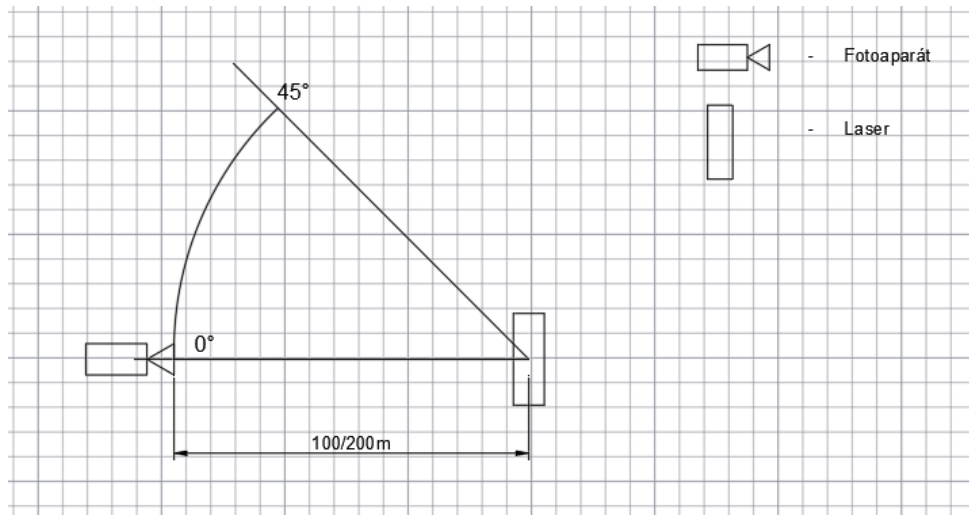
Kvůli nedostatku informací na internetu bylo přijato rozhodnutí použít dva lasery s různou barvou záření pro zkoumání vlivů barvy světelného záření na jeho viditelnost pomocí kamery.

Jelikož kapacita elektrického článku napájecího laser je omezena a teoreticky vydrží cca. 15 minut nepřetržitého provozu, byla doba měření omezená. Na základě daného předpokladu k ověření mezních úhlů detekovatelnosti bylo zvoleno otáčení laseru z vodorovné do svislé polohy s krokem 5° , jak je uvedeno v následujícím schématu.



Obrázek 9 Schéma měření boční pohled [Autor]

Měření by mělo probíhat ve dvou vodorovných vzdálenostech 100 m a 200 m. V každém bodě měření bude probíhat v 0 a 45 stupních od osy focení ve směru od fotoaparátu, jak je uvedeno v následujícím plánovacím obrázku.



Obrázek 10 Schéma měření pohled shora [Autor]

Výsledkem daného experimentu je ověření mezních úhlů detekovatelnosti na různých vzdálenostech, srovnání a diskuse o možnosti použití daného metodu pro detekce místa laserového útoku na letadlo.

2.2 Příprava k experimentu (vybavení)

Pro úspěšné provedení experimentu bylo zapotřebí mít:

- výkonný laser s minimálním dosahem laserového paprsku 1000 m a vlnovou délkou od 450 nm;
- sestavu, která by otáčela laser ve všech potřebných směrech;
- moderní digitální fotoaparát;
- profesionální velký objektiv pro lepší zachycení laserového záření.

2.2.1 Lasery

Pro naše účely byly vybrány následující dva lasery:

Laserové ukazovátko modré barvy kategorie IIIA, které bylo vydáno v Ústavu letecké dopravy panem vedoucím. Maximální výkon daného laserového zdroje podle parametrů uvedených jejich výrobcem je 10000 mW. Laser vydává stálý zdroj světla s výstupní vlnovou délkou 450 nm. Rozměry daného zařízení jsou 180 mm na délku a průměr je 24 mm. Dosah laserového paprsku činí kolem 15000 m. Zdrojem elektrické

energie jsou dvě sériově zapojené lithium-iontové baterie s maximálním napětím 8,4 V. Průměr laserového paprsku je přibližně 1 mm, což splňuje hodnotu uvedenou výrobcem, která má být do 2 mm. Intenzita záření laseru je 6370 mW/cm^2 , což je mnohem více než hodnota, která byla stanovena ICAO v prostoru letišť. Uvedená hodnota je více oproti hodnotě stanovené ICAO [32].

Tento laser byl vydán spolu s držákem, který má velikosti $129 \times 20 \text{ mm}$ a také dva šrouby M8 s délkou 4,5 mm (následující obrázek).



Obrázek 11 Modrý laser s držákem [Autor]

Další laser zelené barvy, kategorie IIIB. max. výkon 4800 mW a vlnová délka se rovná 532 nm. Podle informace uvedené výrobcem dosahuje maximální dosah daného laseru kolem 3500 m. Zdroje energie jsou jedna baterie 18650 nebo dvě 16340 s maximálním napětím 3.7 V. Průměr zeleného laseru je 14,5 mm a délka 160 mm. Průměr laserového paprsku je stejný jako modrý laser, a to přibližně 1 mm [33].

Laser měl stejný konstrukční držák o rozměrech $129 \times 20 \text{ mm}$ a šrouby M8 s délkou 4,5 mm.

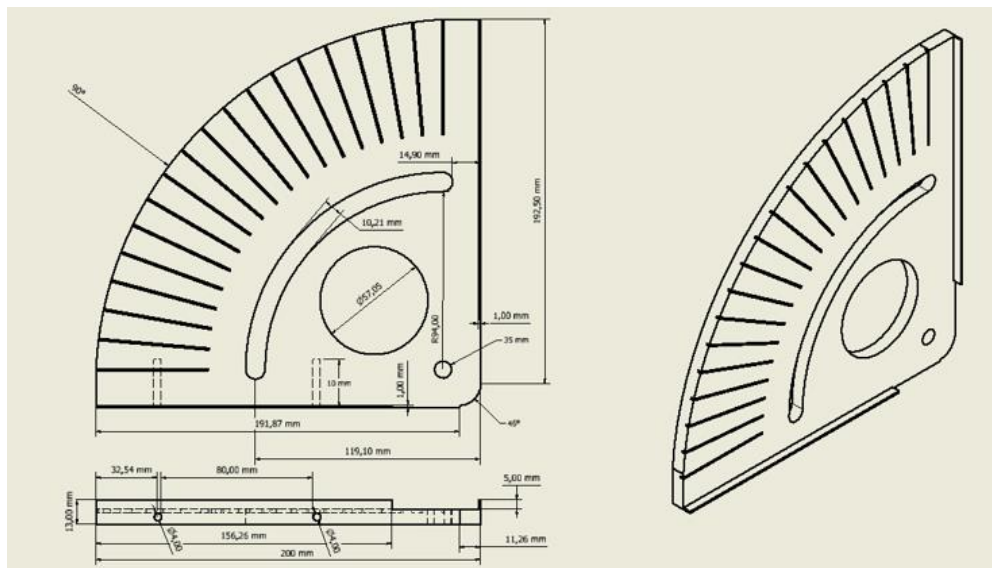


Obrázek 12 Zelený laser s držákem [Autor]

2.2.2 Sestava

Jednou z hlavních bodů přípravy je sestava pro směřování laserového paprsku na určitý úhel. Jelikož na internetu nebyla nalezena vhodná sestava, bylo přijato rozhodnutí o navržení a vyrobení vlastního zařízení.

V prvním kroku byl vykonstruován mechanismus, který by umožňoval měnit směr paprsku shora dolů. Podle konstrukce držáku pro laser byl zvolen způsob otáčení laseru z vodorovné do svislé polohy 0–90° s krokem 5°. Hlavní myšlenkou bylo zachytit zadní část držáku a pohyb přední části umožnit po speciální dráze. Na základě daného požadavku byl navržen následující výkres:



Obrázek 13 Díl pro změnu vertikálního směru záření laseru [Autor]

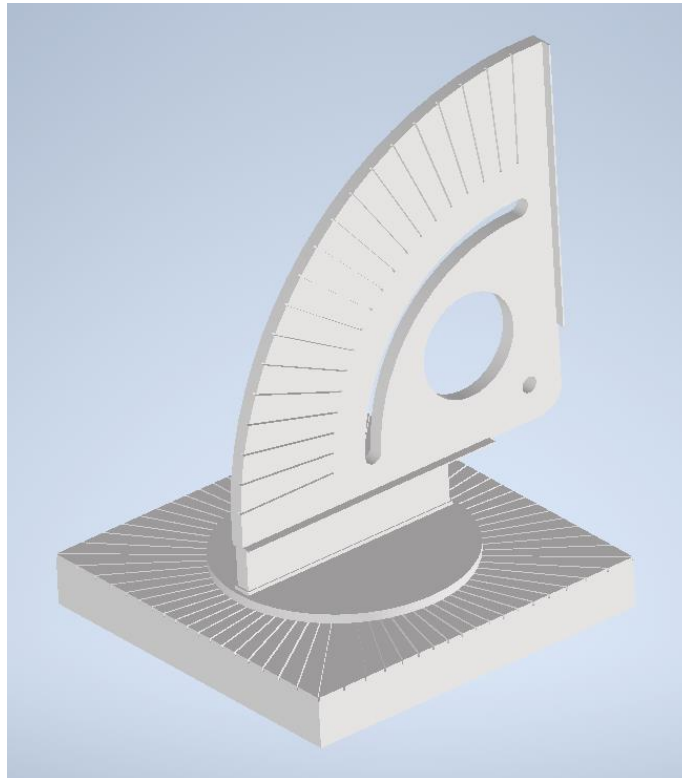
Dalším krokem bylo zajistit otáčení laseru ve vodorovné poloze +90° až -90°. Na první pohled je jednou z možností rozšířit výše ukázaný výkres na dalších 90°.



Obrázek 14 První sestava – neúspěšná [Autor]

Hlavní nevýhodou dané myšlenky je, že velikost pracovní plochy 3D tiskárny je omezena v rozmezí 20*20*20 cm, tím pádem by byla potřeba spojovat zhotovené části dílů pomocí spojovacího materiálu a spojení první součásti s druhou by se ocitlo na místě spojení dvou částí dílu. Další nevýhodou tisku takového dílu je chyby tiskárny. Obě části nebyly identické (což je důležité pro tento díl). Taková konstrukce měla funkční nedostatky, špatnou spolehlivost a malou životnost. Proto bylo zapotřebí vyrobit díl, který by se měl umístit na 3D tiskárně, ale chyby tiskárny při tisku by neměly ovlivnit funkční způsobilost sestavy.

Další pokus o vytvoření dílu byl inspirován metodou otočení starých televizí. Tento díl měl více proměnných, ale i přesto měl lepší funkční a pevnostní vlastnosti.



Obrázek 15 Druhá sestava – 3D model [Autor]

Model byl zhotoven a otestován v aplikaci Autocad Inventor 2023. Po zkouškách byl schválen pro tisk a další mechanické zpracování. Všechny modely budou v příloze č.1 této bakalářské práci.



Obrázek 16 Sestava s laserem namontovaná na stativ [Autor]

Zhotovená sestava byla doplněná vodováhou pro přesnou vodorovnou instalaci v místě experimentu a namontovaná na stativ. V průběhu testování sestava považovaná za životaschopnou pro provádění experimentu.

2.2.3 Fotoaparát

Fotoaparát firmy Canon moderní řady 850D byl vydán na Ústavu letecké dopravy panem vedoucím. Minimální a maximální citlivost v ISO je 100 až 25 600, což umožňuje práci v různých světelných podmínkách, navíc minimalizuje světelný šum, což velmi vyhovuje provádění experimentů. Dané zařízení umožňuje volit čas, jak dlouho může být otevřena uzávěrka. Nejrychlejší čas závěrky je 1/4 000 a nejdelší čas uzávěrky 30 sekund, tím pádem můžeme nastavovat, kolik světla a za jaký čas se dostane do snímače. Snímač typu CMOS oproti jiným snímačům zachytává světelné paprsky v úhlu až 60°. Výsledkem je lepší citlivost na světlo [34].

Další vlastnosti fotoaparátu CANON EOS 850D, které uvádí výrobce:

Tabulka 1 Parametry fotoaparátu [34]

Rozlišení	25,5 Mpx
Velikost snímače	APS-C (crop 1,6x)
Velikost displeje	3 palce
4K video	ano
Typ hledáčku	optický
Hmotnost	510 g
Šířka	131 mm
Výška	102,6 mm
Hloubka	76,2 mm



Obrázek 17 Canon EOS 850D [34]

2.2.4 Objektiv

Vzhledem k tomu, že měření bude probíhat na velkých vzdálenostech, při měření bude použit větší objektiv pro lepší kvalitu fotografie a více světla se dostane do objektivu a do snímače. Objektiv, který bude použit při měření, je objektiv firmy Tamron SP 150–600 mm F/5-6.3 Di VC USD G2.



Obrázek 18 Objektiv použitý při měření [35]

Výhody daného objektivu:

- Minimální ohnisková vzdálenost: 150 mm;
- Maximální ohnisková vzdálenost; 600 mm;
- Světelnost objektivu zoom (kolik světla propustí při maximálně otevřené cloně): 5–6,3;
- Maximální clona: 32 [35].

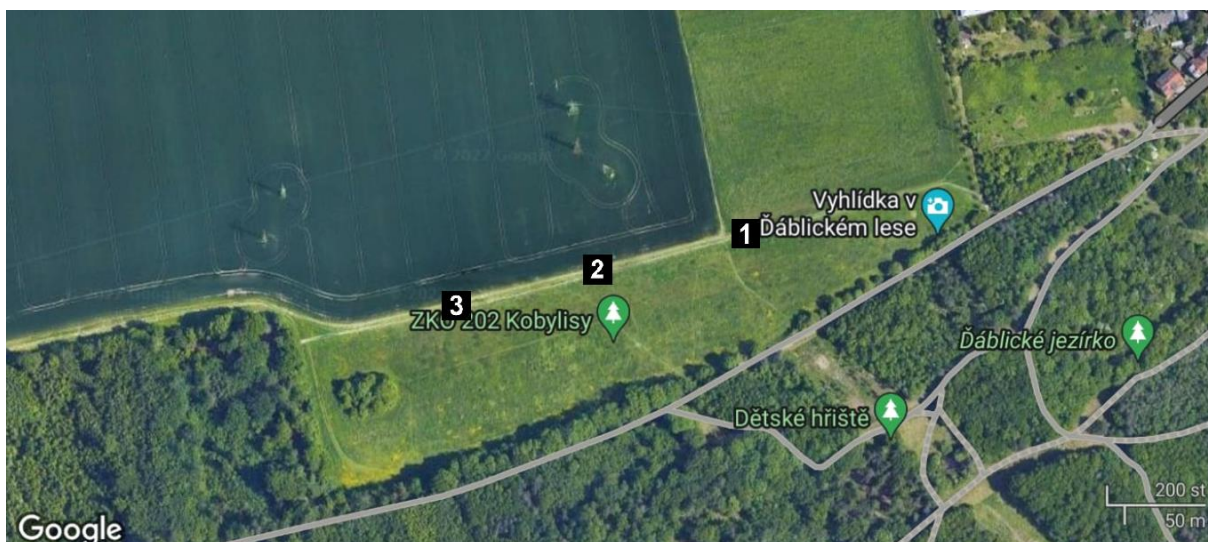
Další parametry objektivu uvedené výrobcem:

Tabulka 2 Parametry objektivu [35]

Světelnost objektivu – nejkratší ohnisko	5
Světelnost objektivu – nejdelší ohnisko	6,3
Optický zoom	4 ×
Konstrukce objektivu	21 členů / 13 skupin
Stabilizátor optický	Ano
Typ sluneční clony	HA022
Délka objektivu	260,2 mm

2.3 Vlastní měření

Experiment probíhal ve veřejném vnitrostátním prostoru na Ďáblickém poli, Praha 8 – Kobylisy. Kvůli nerovnému terénu byla zvolená rovnější místa v daném terénu pro přesnější měření.



Obrázek 19. Umístění laseru a kamery [36]

V bodě č. 1 se nacházela sestava pevně stojící na stativu. Bod č. 2 a č. 3 na obrazovce představují polohu měření na 100 a 200 metrech od sestavy s laserem. Vzdálenosti pro měření byly zaměřené na mobilní verzi mapové aplikace.

Měření probíhalo v noci 5. 11. 2022. Teplota se pohybovala kolem 4° a procento vlhkosti se pohybovalo kolem 70 až 80 procent. Měsíc se přibližoval k fázi úplňk (úplněk – 8. 11. 2022) a převládla polojasná obloha, proto měření probíhalo při měsíčním svitu, což na jednu stranu zhoršuje detekovatelnost laseru, ale na druhou stranu dává představu o tom, jaká bude při špatných podmínkách [37].

Během celého měření byl přidělen člověk odpovídající za monitorování letadel pomocí letového radaru na webové stránce <https://flightradar.live/cs/>.

2.3.1 Měření na vzdálenosti 100 m se zeleným laserem

Ve vzdálenosti 100 m od kamery byla umístěna sestava se zeleným laserem. Po jejím ukotvení bylo provedeno nastavení fotoaparátu.

Hlavním cílem bylo manuálně nastavit fotoaparát tak, aby se světlo dostávalo do snímače v množství nutném pro viditelnost laseru. Snadným a efektivním řešením bylo nastavit nejvyšší hodnotu ISO a clony a hrát si jenom s rychlostí závěrky. Zaprvé byl převeden na manuální režim objektivu, v takovém stavu objektiv umožňuje fotografovat v temném prostředí bez nutnosti zapínání blesku. Dal ISO bylo nastaveno na maximální hodnotu 25600, clona na F20 a podle několika zkoušek byla zvolena rychlost závěrky 6 sekund.

Po úspěšném nastavení fotoaparátu bylo provedeno několik nástřelů měření pro zjištění, že všechno funguje, jak má. Než se uskutečnilo reálné měření, laser přestal normálně fungovat a byl méně viditelný než při nástřelu. Byla provedená výměna baterie, ale tato akce nepřinesla žádné výsledky. Jak se potom zjistilo, během nepřetržitého

provozu během nastavení shořela součástka čipu, a proto laser nebyl schopen vydávat výkon uvedený výrobcem. Proto bylo přijato rozhodnutí měřit jenom modrým laserem.

Posudek o vlivu barvy laseru na jeho viditelnost však byl proveden díky pořízeným fotografiím při nástřelu.



Obrázek 20 Srovnání viditelnosti laseru podle barvy [Autor]

Daný obrázek potvrzuje, že barva laseru má vliv na jeho viditelnost. Zelený paprsek má jasnější obraz/osvětlení než modrý, i když parametry zeleného laseru jsou o polovinu nižší oproti modrému.



2.3.2 Měření na vzdálenosti 100 m s modrým laserem

Měření ve vzdálenosti 100 metrů probíhalo podle předem určeného plánu. Místo pro nainstalování sestavy pro směřování laserového paprsku je označeno na obrázku č. 18 bod 1. Modrý laser byl namontován na danou sestavu. Bod 2 odpovídá poloze fotoaparátu ve vzdálenosti 100 metrů od laseru.

První měření

Jak je uvedené v obr. č. 9 a č. 10, laserový paprsek byl nasměrován těsně nad objektiv fotoaparátu (aby nepoškodil snímač fotoaparátu), přičemž uvedená poloha je prvním bodem měření a označuje se jako 0° . Počínaje tímto bodem bude laser stoupat v krocích po 5 stupních do svislé polohy, která odpovídá 90° .

Od 0° do 30° je laserový paprsek velmi dobře viditelný. V rozmezí od 35° do 75° lze pozorovat mírný pokles viditelnosti, který neovlivňuje bezproblémovou detekci laserového paprsku. Se zvyšujícím se úhlem záření paprsku se snižuje jeho viditelnost, což je jasně patrné od 80° do svislé polohy. V tomto úseku je laser stále zachytitelný kamerou, i když pro lidské oko není téměř viditelný, dokud pozorovatel o laseru neví.

Druhé měření

Pro zahájení druhého měření byl směr záření laserového paprsku posunut o 45° doprava od objektivu fotoaparátu, jak znázorňuje obr. č. 10. Dále stejně jako při prvním měření se laser pohyboval směrem nahoru od 0° do svislé polohy v krocích po 5° .

Po celém měření je laserový paprsek dobře viditelný. Se zvyšujícím se úhlem záření paprsku se snižuje jeho viditelnost, ale nesnižuje se míra jeho detekovatelnosti. Stojí za zmínku, že v úhlu 90° se výsledky při prvním a druhém měření liší. S největší pravděpodobností to souvisí s proměnlivou oblačností v den provádění obou měření. Během prvního měření viditelnosti laserového paprsku v rozmezí od 80° do 90° mohla být detekce laseru zkreslena vlivem měsíčního záření.



Následující tabulka je vytvořena na základě fotografií z přílohy č. 2 a subjektivního názoru na míru viditelnosti laseru.

Tabulka 3 Měření na 100 m [Autor]

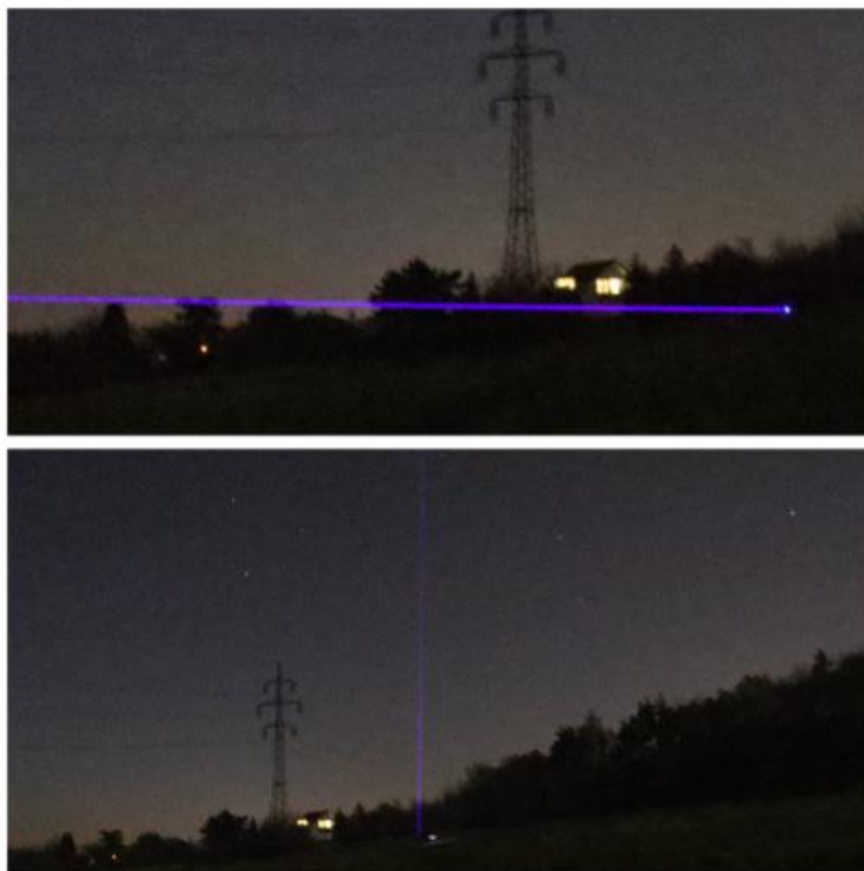
Proti směru osy focení		45° vpravo od fotoaparátu	
uhel	Míra viditelnosti	uhel	Míra viditelnosti
0°	1	0°	2
5°	1	5°	2
10°	1	10°	2
15°	1	15°	2
20°	1	20°	2
25°	1	25°	2
30°	1	30°	2
35°	2	35°	2
40°	2	40°	2
45°	2	45°	2
50°	2	50°	2
55°	2	55°	2
60°	2	60°	2
65°	2	65°	2
70°	2	70°	2
75°	2	75°	2
80°	3	80°	2
85°	3	85°	2
90°	3	90°	2

Rozdělení podle viditelnosti laseru: 1 – výborně viditelné silné záření, 2 – laser dobře viditelný (zřetelně vidět místo záření, s rostoucí výškou viditelnost místa útoku exponenciálně klesá), 3 – laser špatně viditelný (není vidět, pokud pozorovatel neví, že je tam laserový paprsek), 4 – není viditelný.

Na níže uvedených obrázcích je zachycena maximální a minimální viditelnost laseru v úhlech 0° a 90°.



Obrázek 21 Maximální a minimální viditelnost laseru při prvním měření [Autor]



Obrázek 22 Maximální a minimální viditelnost laseru při druhém měření [Autor]



2.3.3 Měření na vzdálenosti 200 m s modrým laserem

Po provedení měření na 100 metrech byla zahájena druhá etapa experimentu. Nově byla poloha fotoaparátu 200 metrů vzdálena od sestavy s laserem. Fotoaparát se nacházel v bodě 3 podle obrázku č. 18. Po několika zkušebních snímcích se stejným nastavením fotoaparátu jako při měření na 100 metrech bylo rozhodnuto, že toto nastavení je vyhovující i pro provádění měření na vzdálenosti 200 metrů.

Třetí měření

Třetí měření bylo provedeno stejným způsobem jako první měření (viz obr. č. 9). V úseku od 0° do 35° je laserové záření velmi dobře viditelné, což odpovídá kategorii viditelnosti 1. Mezi 35° a 55° dochází k postupnému snížení viditelnosti laserového paprsku zejména z kategorie 1 na 3), přičemž v bodě 40° až 50° viditelnost laseru odpovídá kategorii 2. V rozmezí 55° a 70° je laserový paprsek špatně viditelný. Od 75° až po svislou polohu laserový paprsek již není viditelný. Změna parametrů clony, rychlosti závěrky a ISO nepomohla zachytit laserové záření, a tak nepřinesla očekávaný výsledek.

Následující tabulka je vyhotovena na základě fotografií z přílohy č. 3 a subjektivního názoru na míru viditelnosti laseru.

Tabulka 4 Měření na 200 m [Autor]

Proti směru osy focení		45° vpravo od fotoaparátu	
uhel	Míra viditelnosti	uhel	Míra viditelnosti
0°	1	0°	2
5°	1	5°	2
10°	1	10°	2
15°	1	15°	2
20°	1	20°	2
25°	1	25°	2
30°	1	30°	2
35°	1	35°	2
40°	2	40°	2
45°	2	45°	2
50°	3	50°	2
55°	3	55°	3
60°	3	60°	3
65°	3	65°	3
70°	3	70°	3
75°	4	75°	3
80°	4	80°	3
85°	4	85°	3
90°	4	90°	3

Čtvrté měření

Čtvrté měření bylo provedeno stejným způsobem jako druhé měření (viz obr. č. 10). Od 0° až 50° viditelnost laseru odpovídá kategorii 2. Od 55° do 80° se viditelnost postupně snižuje a viditelnost laserového paprsku odpovídá kategorii 3. V rozmezí od 85° do 90° záření laserového paprsku již není vidět. Je třeba zmínit, že v rozmezí od 75° do 90° se výsledky při třetím a čtvrtém měření liší, což je pravděpodobně zapříčiněno proměnlivou oblačností v den provádění těchto měření. Během třetího měření viditelnosti laserového paprsku v rozmezí od 75° do 90° byla detekce laseru negativně ovlivněna měsíčním zářením.

Na níže uvedených obrázcích je zachycena maximální a minimální viditelnost laseru v úhlech 0° a 90° .



Obrázek 23 Maximální a minimální viditelnost laseru při třetím měření [Autor]

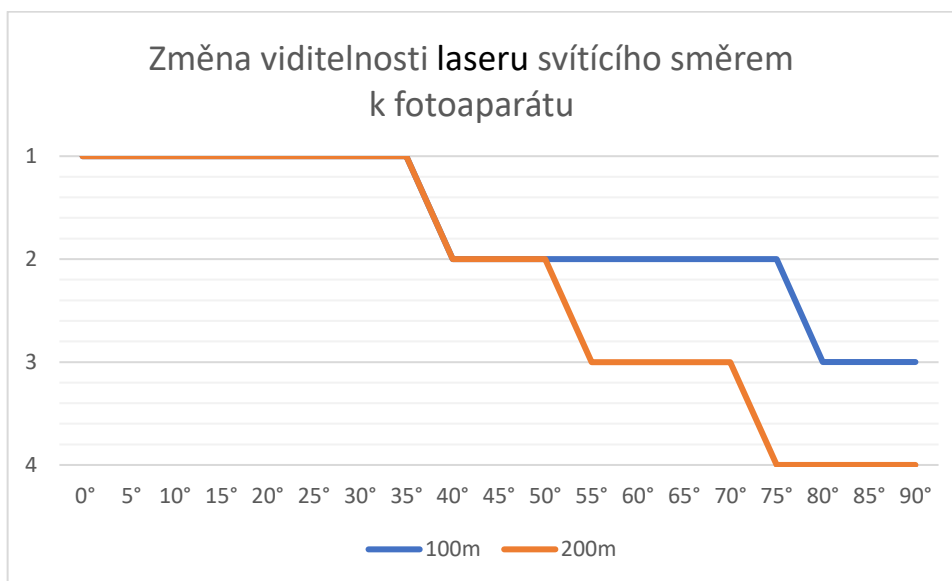


Obrázek 24 Maximální a minimální viditelnost laseru při čtvrtém měření [Autor]

2.3.4 Porovnání míry viditelnosti laseru na 100 a 200 metrech. Odhad viditelnosti laseru na 300 metrech

V této podkapitole bude analyzován vliv vzdálenosti mezi objektivem fotoaparátu a sestavou s laserem na viditelnost laserového paprsku ve stejných úhlech směrování laserového záření. Pro srozumitelnější demonstraci změn byly na základě dat z tabulek č. 3 a 4 vytvořeny grafy č. 1 a 2, v nichž na ose X jsou znázorněné úhlové hodnoty a osa Y reprezentuje míry viditelnosti laserového paprsku.

Změna viditelnosti laseru svítícího směrem k fotoaparátu

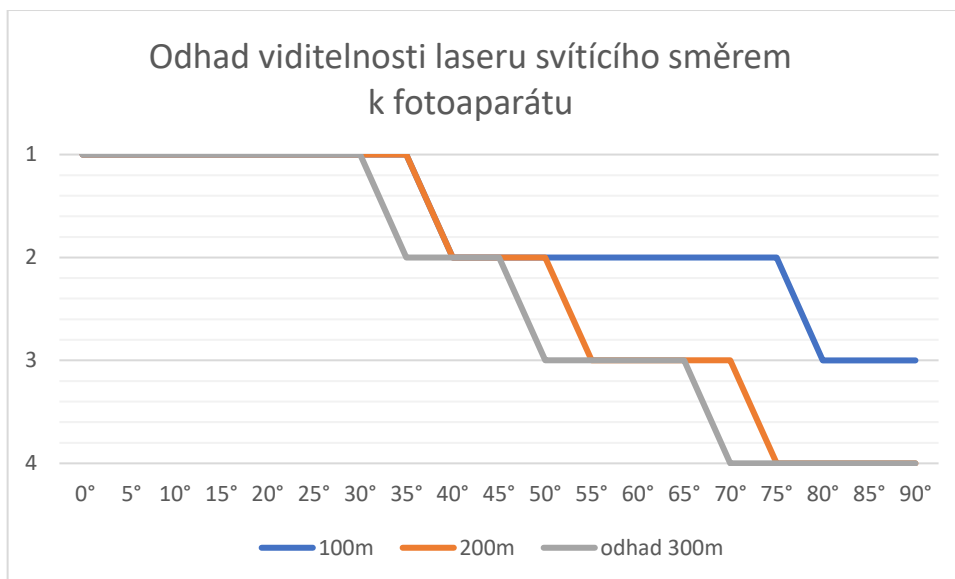


Obrázek 25 Porovnání výsledků [Autor]

Analýza dat z prvního grafu svědčí o tom, že do 35° je laserový paprsek stejně velmi dobře viditelný na 100 a 200 metrech. Dále od 40° obě křivky klesají na míru viditelnosti 2. První rozdíl mezi křivkami nastává po 50°. Zatímco ve vzdálenosti 100 metrů je laserový paprsek stále dobře viditelný, ve vzdálenosti 200 metrů jeho viditelnost výrazně klesá a přechází na míru 3. Po překročení 70° viditelnost laserového paprsku ve vzdálenosti 200 metrů dále klesá a počínaje úhlem 75° přestává být viditelný, zatímco laserový paprsek ve vzdálenosti 100 metrů je stále dobře viditelný. Změna ve vzdálenosti 100 metrů nastává teprve v úhlu 80°, viditelnost klesá na míru 3.

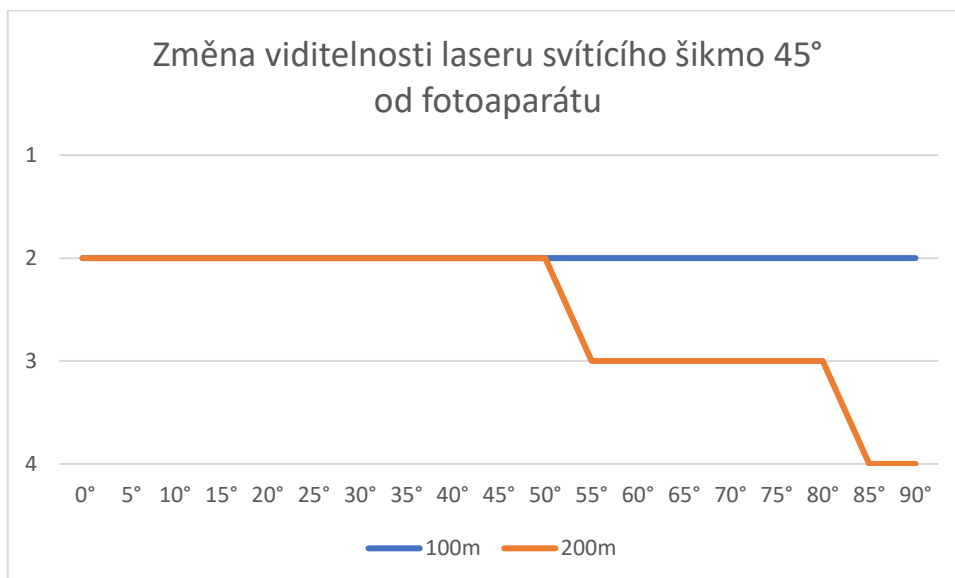
Na základě znalostí získaných z výše uvedeného grafu lze předpokládat, že v rozmezí 65–70° bude pokles úrovně detekovatelnosti z 3 na 4, což je o 5° dříve než pokles viditelnosti na 200 m a na 10° dříve než pokles viditelnosti na 100 m z úrovně 2 na úroveň 3. Dále úroveň viditelnosti se může zhoršit po 45° a změnit hodnotu viditelnosti z 2 na 3. Co se týče prvního poklesu, je možné předpokládat, že nastane také o 5° dříve.

Následující graf znázorňuje, jak by mohla vypadat křivka viditelnosti laserového paprsku:



Obrázek 26 Odhad na 300 m [Autor]

Změna viditelnosti laseru svítícího šikmo 45° od fotoaparátu

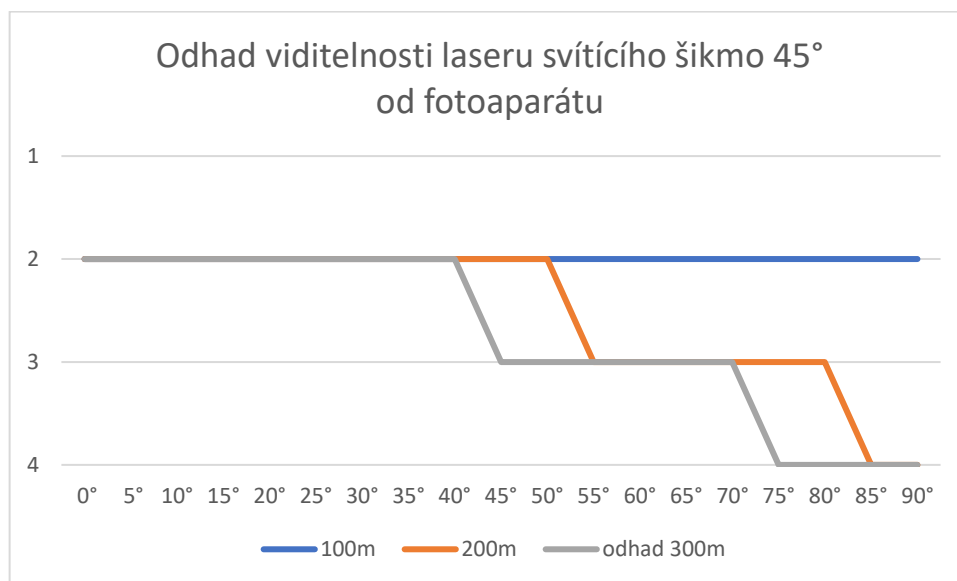


Obrázek 27 Porovnání výsledků [Autor]

Na grafu č. 2 je patrné, že ve vzdálenosti 100 metrů se viditelnost laserového paprsku nemění a zůstává na úrovni viditelnosti 2 po celou dobu měření. Co se týká vzdálenosti 200 metrů, viditelnost laserového paprsku se snižuje dvakrát. První pokles lze pozorovat po překročení 50°, míra viditelnosti klesá na hodnotu 3. Další změna nastává v bodě 85°. Po překročení tohoto úhlu přestane být laserový paprsek viditelný pro fotoaparát. Na základě těchto dat je dobře vidět, jak vzdálenost fotoaparátu od laseru ovlivňuje viditelnost a následně detekovatelnost laserového paprsku. S rostoucí vzdáleností klesá úhel, při němž je možné detekovat laserový paprsek.

Na základě znalostí získaných z výše uvedeného grafu lze předpokládat, že snížení viditelnosti ve vzdálenosti 300 metrů bude méně plynulé než při detekování laseru svítícího směrem k fotoaparátu a začne přibližně v rozmezí 35° a 45°. Snížení viditelnosti laseru z úrovně 3 na 4 může nastat již při 65° až 75°.

Následující graf znázorňuje, jak by mohla vypadat křivka viditelnosti laseru (při tvorbě grafu bylo rozhodnuto vzít průměrný úhel, kde může dojít k poklesu viditelnosti):



Obrázek 28 Odhad na 300 m [Autor]

2.3.5 Provedení měření na 300 m – ověření předpokladu

Pro ověření odhadu chování laserového paprsku na vzdálenosti 300 metrů byl zvolen stejný terén v Ďáblickém poli, Praha 8 – Kobylisy. Sestava s modrým laserem a fotoaparát byly rozmístěny stejným způsobem jako při měření ve vzdálenosti 100 a 200 metrů. Nastavení fotoaparátu bylo zachováno jako při minulých měřeních.

Experiment probíhal v noci 19. 11. 2022 kolem 22:00. Povětrnostní podmínky byly jiné než při prvním experimentu. Teplota se pohybovala kolem -4° , vlhkost vzduchu 89 %, mraková pokrývka 86 %, množství sněhu v daném terénu přibližně 0,1 cm.

Provedené měření nemělo očekávaný přínos kvůli jiným okolním podmínkám, které měly velký vliv na detekovatelnost laseru. Kvůli mlze, jež převládala při měření, rozptýlení fotonů světla bylo silnější, v důsledku toho ve vzdálenosti 300 metrů při směřování laserového paprsku proti směru focení byla detekovatelnost laserového záření stejná jako na 100 m. Při směřování laserového paprsku 45° vpravo od



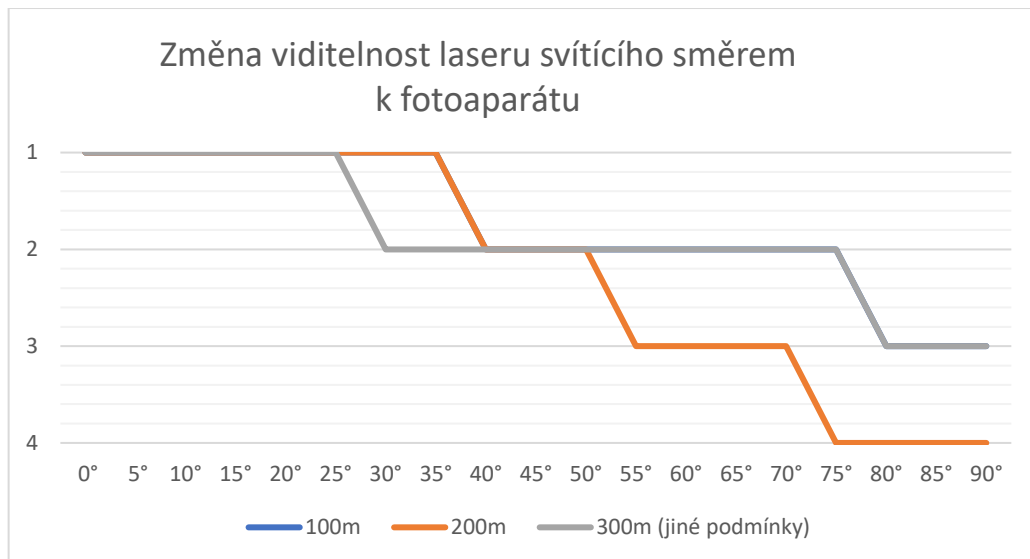
fotoaparátu zůstávala skoro po celé měření míra viditelnosti záření na úrovni 2. Změna nastala pouze po překročení 70° a poklesla o jeden úroveň viditelnosti níže.

Následující tabulka je vytvořena na základě fotografií z přílohy č. 4 a subjektivního názoru na míru viditelnosti laseru.

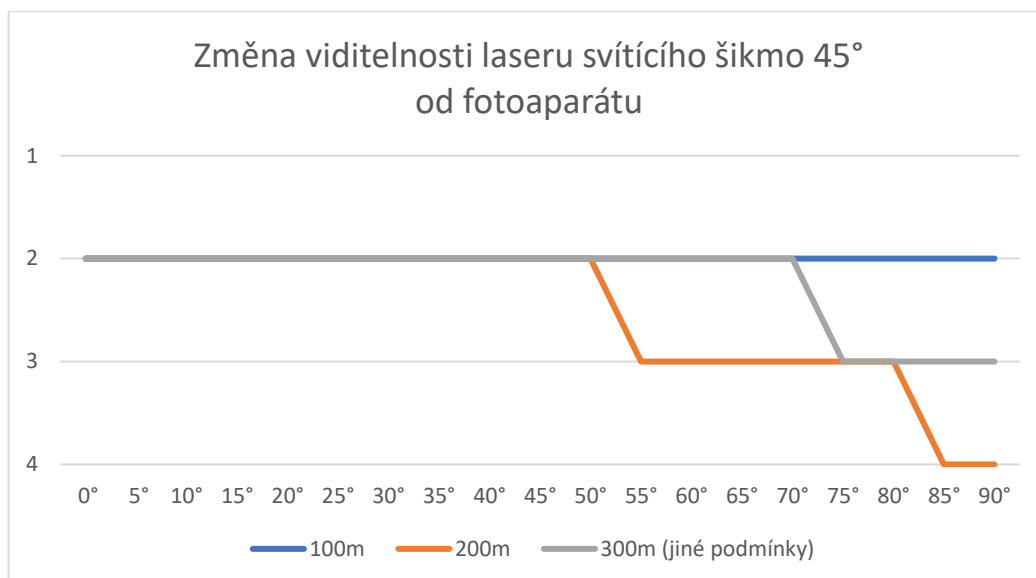
Tabulka 5 Měření na 300 m [Autor]

Proti směru osy focení		45° vpravo od fotoaparátu	
uhel	Míra viditelnosti	uhel	Míra viditelnosti
0°	1	0°	2
5°	1	5°	2
10°	1	10°	2
15°	1	15°	2
20°	1	20°	2
25°	1	25°	2
30°	2	30°	2
35°	2	35°	2
40°	2	40°	2
45°	2	45°	2
50°	2	50°	2
55°	2	55°	2
60°	2	60°	2
65°	2	65°	2
70°	2	70°	2
75°	2	75°	3
80°	3	80°	3
85°	3	85°	3
90°	3	90°	3

V níže uvedených grafech je znázorněn rozdíl mezi mírou viditelnosti při vzdálenosti 100 a 200 metrů a mírou viditelnosti 300 m při jiných podmínkách.



Obrázek 29 Výsledky měření na 300 m, 200 m, 100 m [Autor]



Obrázek 30 Výsledky měření na 300 m, 200 m, 100 m [Autor]

2.4 Diskuse

Z provedených experimentů je zřetelně vidět, že detekovatelnost laseru závisí na mnoha faktorech. Na základě výsledků z prvního experimentu na 100 m a 200 m vidíme, jaký vliv na detekovatelnost laserového paprsku má jeho úhel natočení vůči Zemi a také jak ovlivňuje změna vzdálenosti od fotoaparátu k laseru to, jak se mění detekovatelnost laserového záření v určitých úhlech. S tím, jak roste vzdálenost od fotoaparátu k laseru, klesá úhel, při němž se míra viditelnosti začíná snižovat. Je to dobře vidět na obrázku 26. Při měření na 100 m se míra viditelnosti změnila z 2 na 3 po překročení 75°, zatímco



při měření na 200 m tato změna nastala již při 70°. Dalším faktorem, jemuž je třeba věnovat pozornost, je vzdálenost objektivu od laserového paprsku. Čím dále je laserový paprsek od objektivu, tím horší je detekovatelnost laseru. Tato závislost je dobře vidět při měření na 100 m, když v jednom případě laserový paprsek zářil proti ose focení a v druhém případě 45° vpravo od té osy. Při svícení vpravo na 45° v prvním bodě měření (0° ve svislé poloze) je míra viditelnosti 2, což je o jeden bod více než při prvním fotografování (0° ve svislé poloze) proti směru focení, viz tabulka č. 3.

Bez ohledu na to, že ověření předpokladu detekovatelnosti laserového paprsku na vzdálenosti 300 m bylo neúspěšné, při provedení experimentu byl zjištěn vliv viditelnosti laserového paprsku v podmínkách se zvýšenou mlhovitostí. Výsledky experimentu potvrzují, že světlo se rozptýlí v mlze, tím pádem je detekování místa útoku mnohem lepší, pokud se fotoaparát nachází v relativní blízkosti zdroje světla. Čím výkonnější bude laser, tím větší bude vzdálenost, na niž bude laserový paprsek viditelný.

Dalšími faktory ovlivňujícími detekovatelnost laseru jsou takové povětrnostní podmínky jako sníh, déšť, nízké a vysoké teploty. Při sněžení a dešti by měla být detekovatelnost laseru vyšší, ale jako ve výše popsaném případě by měl být dosah laseru kratší kvůli sražení paprsku o dešťové kapky a padající sníh.

Pro lepší zkoumání vlivu povětrnostních podmínek, vzdálenosti laseru od fotoaparátu a úhlu natočení na detekovatelnost laserového paprsku by bylo zapotřebí celoročně věnovat pozornost této problematice. To je ale časově náročné a také je potřeba provádět experimenty na velkých vzdálenostech od 1 km a více, ideálně až do 20 km, aby se pokryl celý sektor B, což podle předpisu L14 – AIM je 20 km.

Každopádně i bez ohledu na výše popsané obtíže je možné na základě znalosti teoretické a praktické části navrhnout řešení problematiky detekování možného místa útoku. Jednou z možností je monitorování okolního prostředí letiště pomocí kamerových systémů s dálkoměrem, které by měly být umístěny na ploty chránící letiště a nejbližší budovy tak, aby byla mezi kamerami vzdálenost cca 100 m. V takovém případě bude větší pravděpodobnost zachycení laserového paprsku minimálně dvěma kamerami. Z hlediska softwarového vybavení je potřebný vývoj inteligentního systému, který by automaticky zjišťoval případy laserového útoku a pomocí určování trajektorie laserového paprsku a znalosti své souřadnicové polohy by označoval na mapě přibližné místo laserového útoku.



Závěr

Cílem práce bylo navrhnout a provést experiment ověřující vliv úhlu paprsku laseru na jeho detekovatelnost a následně z výsledků experimentů odhadnout možnost detekce místa laserového útoku na letadlo.

Na začátku této bakalářské práce bylo důležité prohloubit si znalosti v oboru laserových technologií, laserových útoků, momentálně existujících legislativních předpisů ve vztahu k užití laseru v letecké praxi. Pro provedení praktické části bylo také nutné rozšířit dovednosti v oblasti digitálního fotoaparátu, jeho prvků a vlastností nastavení fotografického vybavení.

V praktické části bakalářské práce byl navržen experiment pro ověření vlivu úhlu paprsku laseru na jeho detekovatelnost a vymyšlena byla sestava, která umožňuje směřování laserového paprsku v úhlech nutných pro experiment. Výsledkem experimentu jsou tabulky a grafy znázorňující, jak se mění detekovatelnost laseru při různých úhlech, vzdálenostech a určitých povětrnostních podmínkách, a návrh systému, který by mohl pomoci při detekování místa laserového útoku.

Co se týká limitace daného experimentu, stojí za zmínku, že pro lepší zkoumání dané problematiky je nutné provádět měření na větších vzdálenostech a při různých kombinacích počasí, což v rámci dané práce provedeno nebylo, a to kvůli obtížnosti hledání vhodného prostoru.

Doporučením pro navazující výzkum je provádění experimentu na větší vzdálenosti, při různých povětrnostních podmínkách a použití více fotoaparátů najednou a s možností vyzkoušet kamery s nočním viděním.



Seznam použité literatury

1. VRBOVÁ, Miroslava et al. *Lasery a moderní optika*. Praha: Prometheus, 1994, 474 s. ISBN 80-85849-56-9.
2. VRBOVÁ, Miroslava, Petr GAVRILOV a Helena JELÍNKOVÁ. *Úvod do laserové techniky*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1998, 228 s. ISBN 80-01-01108-9.
3. LAPŠANSKÁ, Hana. *Laserové technologie v praxi*. Olomouc: Moravská vysoká škola Olomouc, 2010, 42 s. ISBN 978-80-87240-65-6.
4. BASU, Prasanta Kumar, Bratati MUKHOPADHYAY a Rikmantra BASU. *Semiconductor Laser Theory*. Boca Raton: CRC Press, 2016, 551 p. ISBN 978-1-4665-6192-2.
5. SVELTO, Orazio. *Principles of Lasers*. 5th ed. New York: Springer, 2010, 620 p. ISBN 978-1-4419-1302-9.
6. ROSINA, Jozef, Jana VRÁNOVÁ a Hana KOLÁŘOVÁ. *Biofyzika*. 2., dopl. vyd. Praha: Grada Publishing, 2021, 295 s. ISBN 978-80-271-2526-5.
7. MALÝ, Petr. *Optika*. 2., přepr. vyd. Praha: Karolinum, 2013, 368 s. ISBN 978-80-246-2246-0.
8. DOHNAL, Miroslav. *Lasery a jejich aplikace v polygrafii*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2008, 119 s. ISBN 978-80-7395-043-9.
9. NAVRÁTIL, Leoš et al. *Nové pohledy na neinvazivní laser*. Praha: Grada Publishing, 2015, 155 s. ISBN 978-80-247-1651-0.
10. GUO, Chunlei et al. *Handbook of Laser Technology and Applications: Laser Design and Laser Systems*. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2021, 716 p. ISBN 978-1-003-12713-0.
11. MOCEK, Tomáš. *Laser: supernástroj člověka 21. století*. Praha: Academia, 2017, 47 s. ISBN 978-80-200-2691-0.
12. GELETA, Vojtech. *Progresívne metódy obrábania*. Bratislava: STU, 2013, 163 s. ISBN 978-80-227-3997-9.
13. ZEMAN, Lubomír. *Vstříkování plastů. Teorie a praxe*. Praha: Grada Publishing, 2018, 464 s. ISBN 978-80-271-0614-1.
14. MAZÁNEK, Jiří et al. *Zubní lékařství: propedeutika*. Praha: Grada Publishing, 2014, 569 s. ISBN 978-80-247-3534-4.
15. BENKO, Bernard et al. *Laserové technológie*. Bratislava: Slovenská technická univerzita, 2000, 122 s. ISBN 80-227-1425-9.



16. ZEMAN, Lubomír. *Vstřikování plastů 2. Simulace, analýzy, odstraňování vad, 3D tisk. Teorie a praxe*. Praha: Grada Publishing, 2021, 448 s. ISBN 978-80-271-4248-4.
17. NAVRÁTIL, Leoš et al. *Medicínská biofyzika*. 2., přeprac. a dopl. vyd. Praha: Grada Publishing, 2019, 431 s. ISBN 978-80-271-0209-9.
18. *Prováděcí nařízení Komise (EU) 2021/664 ze dne 22. dubna 2021 o regulačním rámci pro vzdušný prostor U-space* [online]. Úřední věstník Evropské unie L 139 ze dne 23. 4. 2021 [cit. 2022-11-13]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32021R0664&from=EN>
19. Zákon č. 49/1997 Sb., o civilním letectví a o změně a doplnění zákona č. 455/1991 Sb., o živnostenském podnikání (živnostenský zákon), ve znění pozdějších předpisů.
20. HUSÁK, Jan. Sněmovna schválila pokuty za oslnění pilotů laserem. In: *Top09.cz* [online]. 9. 11. 2010 [cit. 2022-11-13]. Dostupné z: <https://www.top09.cz/regiony/jihomoravsky-kraj/napsali-o-nas/tiskove-zpravy/snemovna-schvalila-pokuty-za-oslneni-pilotu-laserem-4661.html>
21. WESTON, Chris. *Naučte se používat digitální fotoaparát*. Brno: Zoner Press, 2019, 191 s. ISBN 978-80-7413-392-3.
22. LINDNER, Petr, Miroslav MYŠKA a Tomáš TŮMA. *Velká kniha digitální fotografie*. 3., aktualiz. vyd. Brno: Computer Press, 2008, 271 s. ISBN 978-80-251-2005-7.
23. PINĎÁK, Miroslav. *Fototechnika*. 2. vyd. Olomouc: Rubico, 2001, 277 s. ISBN 80-85839-68-7.
24. ŠEBO, Miroslav. *Digitálna fotografia a kamera*. Nitra: UKF v Nitre, 2014, 126 s. ISBN 978-80-558-0567-2.
25. HARMAN, Doug. *Digitální fotografie*. Praha: Slovart, 2012, 221 s. ISBN 978-80-7391-553-7.
26. BURIAN, Peter K. a Robert CAPUTO. *Škola fotografování: příručka do kapsy*. Praha: Sanoma Magazines Praha, 2003, 364 s. ISBN 80-7026-253-2.
27. NAJMAN, Jan. *Laserové útoky v letecké dopravě* [online]. Brno, 2012. Diplomová práce. Fakulta sociálních studií, Masarykova univerzita [cit. 2022-11-13]. Vedoucí práce Martin Bastl. Dostupné z: https://is.muni.cz/th/o6zr0/Diplomova_prace_Najman.pdf
28. NOVOTNÝ, Václav. Vědci z Brna vyvíjejí systém detekce laserových útočníků. In: *Aeroweb.cz* [online]. 10. 11. 2022 [cit. 2022-11-13]. Dostupné z: <https://www.aeroweb.cz/clanky/7888-vedci-z-brna-vyvijejí-systém-detekce-laserových-utocniku>



29. VANÍČKOVÁ, Kateřina. Útoků lasery na letadla přibývá. Pilot může dočasně ztratit zrak, říká kapitán. In: *Idnes.cz* [online]. 4. 9. 2022 [cit. 2022-11-13]. Dostupné z: https://www.idnes.cz/zpravy/domaci/letiste-laser-utoky-oslneni-piloti-policie-pripady-nouzove-pristani.A220825_080012_domaci_vank
30. VÝBOŠŤOK, Adam. *Ochrana letadla před optickými zdroji elektromagnetického záření* [online]. Praha, 2021. Bakalářská práce. Fakulta dopravní, ČVUT v Praze [cit. 2022-11-13]. Vedoucí práce Jakub Hospodka. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/97503/F6-BP-2021-Vybostok-Adam-Ochrana%20letadla%20pred%20optickymi%20zdroji%20elektromagnetickeho%20zareni.pdf?sequence=-1>
31. NADELNYUK, Oleksandr. Proč padají: Všech 26 000 leteckých neštěstí za 100 let v sedmi žebříčcích. In: *Liga.net* [online]. 13. 1. 2020 [cit. 2022-17-11]. Dostupné z: <https://www.liga.net/incidents/articles/pochemu-oni-padayut-vse-26-000-aviakatastrof-za-100-let-v-semi-grafikah>
32. CHLAZENEZBRANE. VELKÝ MODRÝ LASER "OBI-VAN KENOBI SWORD" <10000MW. *Chladnezbrane.eu* [online]. © 2022 [cit. 2022-17-11]. Dostupné z: <https://www.chladnezbrane.eu/laser/modry-silny-laser-zapali-sirky/>
33. MALL. Laserové ukazovátko. *Mall.cz* [online]. © 2022 [cit. 2022-17-11]. Dostupné z: https://www.mall.cz/elektronicka-pera-ukazovatka/laserove-ukazovatko-viditelnost-3-5-km-4800-mah-d-168-1000530_124_32?tab=description
34. FOTOSKODA. CANON EOS 850D tělo. *Fotoskoda.cz* [online]. © 2022 [cit. 2022-17-11]. Dostupné z: <https://www.fotoskoda.cz/canon-eos-850d-telo/#/tab/description>
35. MEGAPIXEL. Tamron SP 150-600 mm f/5,0-6,3 Di VC USD G2 pro Canon. *Megapixel.cz* [online]. © 2022 [cit. 2022-17-11]. Dostupné z: <https://www.megapixel.cz/tamron-sp-150-600mm-f-5-0-6-3-di-vc-usd-g2-pro-canon>
36. Google maps. [online]. © 2022 [cit. 2022-17-11]. Dostupné z: <https://www.google.com/maps/>
37. E-POČASÍ. 5. listopadu. *E-pocasi.cz* [online]. © 2022 [cit. 2022-17-11]. Dostupné z: <https://www.e-pocasi.cz/archiv-pocasi/2022/5-listopadu/>
38. FIBER-LASER. Zařízení a princip činnosti polovodičového laseru. *Giber-laser.ru* [online]. © 2022 [cit. 2022-17-11]. Dostupné z: https://fiber-laser.ru/device_principle_operation_semiconductor_laser
39. ELECTRICIANPROF. Provozní režim plynového laseru. Podívejte se, co je „plynový laser“ v jiných slovnících. *Electricianprof.ru* [online] © 2022 [cit. 2022-17-11]. Dostupné z: <https://electricianprof.ru/cs/tools/gas-laser-operation-mode-see-what-gas-laser-in-other-dictionaries/>



40. DOLEJŠÍ, Tomáš. Digitální zrcadlovku nebo kompakť? In: *Fotoradce.cz* [online]. 16. 10. 2007 [cit. 2022-17-11]. Dostupné z: <https://www.fotoradce.cz/digitalni-zrcadlovku-nebo-kompakt>
41. Mediastartre [online] 2022. <http://mediastarter.ru/archives/355>
42. LETECKÝ PŘEDPIS LETIŠTĚ L14 – AIM. [online]. [cit. 2022-17-11]. https://aim.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-14/data/print/L-14_cely.pdf



Seznam příloh

Příloha 1: Modely pro vyhotovení sestavy

Příloha 2: Fotografie z měření na 100 m

Příloha 3: Fotografie z měření na 200 m

Příloha 4: Fotografie z měření na 300 m