



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

**FAKULTA DOPRAVNÍ**

Daniel Hlavatý

**VYHLEDÁVÁNÍ VHODNÝCH MÍST PRO PŘISTÁNÍ V  
„NEZNÁMÉM TERÉNU“**

SEARCHING FOR SUITABLE LANDING SITES IN „UNKNOWN TERRAIN“

**Bakalářská práce**

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jakub Kraus

Praha 2015



**K621..... Ústav letecké dopravy**

**ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**  
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

**Daniel Hlavatý**

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

**B 3710 – LED – Letecká doprava**

Název tématu (česky): **Vyhledávání vhodných míst pro přistání  
v "neznámém terénu"**

Název tématu (anglicky): Searching for Suitable Landing Sites in "Unknown Terrain"

**Zásady pro vypracování**

Při zpracování bakalářské práce se řiďte osnovou uvedenou v následujících bodech:

- Úvod
- Lety letecké záchranní služby k zásahu
- Možnost vyhledávání místa přistání
- Návrh možností
- Automatické vytváření přibližovací procedury
- Shrnutí
- Závěr

- 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: System Analysis and Design with UML  
Předpis L 14 H  
ICAO Doc 8168

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jakub Kraus**

Datum zadání bakalářské práce: **23. října 2013**  
(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: **24. srpna 2015**  
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. Daniel Hanus, CSc.  
vedoucí  
Ústavu letecké dopravy



prof. Dr. Ing. Miroslav Svítek  
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.



Daniel Hlavatý  
jméno a podpis studenta

V Praze dne..... 30. prosince 2014

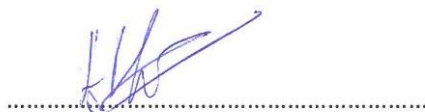
## Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na ČVUT v Praze Fakultě dopravní.

Prohlašuji, že jsem předloženou bakalářskou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Nemám závažný důvod proti použití 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).

V Praze dne 20. 8. 2015



podpis

## **Poděkování**

Velké poděkování bych chtěl věnovat mému vedoucímu bakalářské práce Ing. Jakubovi Krausovi za množství času, které mi věnoval během tvorby této práce, za jeho odborné vedení, připomínky, návrhy a ochotu. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Vratislavu Eliášovi, pilotovi Letecké záchranné služby na stanici v Hradci Králové za to, že mi umožnil s ním provést rozhovor, který byl stěžejním kamenem této bakalářské práce. V neposlední řadě patří velké poděkování mým nejbližším a rodině za jejich podporu v průběhu celého studia.

## **Abstrakt**

Autor: Daniel Hlavatý

Název bakalářské práce: Vyhledávání vhodných míst pro přistání v „neznámém“ terénu

Škola: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta dopravní

Místo a rok vydání: Praha 2015

Počet stran: 66

Počet příloh: 2

Cílem této bakalářské práce je navrhnout zařízení, díky němuž by bylo umožněno provádět letecké záchranné práce i za neodpovídajících meteorologických podmínek. V první části této práce se nachází seznámení s historií, provozem a právními potřebami Letecké záchranné služby v České republice. Ve druhé fázi bakalářské práce jsou zhodnoceny již existující systémy, které by mohly sloužit k lepší orientaci v nepříznivých podmínkách ve spojitosti s leteckou záchrannou službou. Tyto systémy jsou následně porovnány dle daných kritérií. Z těchto systémů je vybráno nejvíce vyhovující zařízení, které je popsáno z technického pohledu. Konečnou fází této práce je návrh systému pro automatické přibližovací procedury leteckých záchranných vrtulníků.

Klíčová slova: Letecká záchranná služba, Letecké laserové skenování, Termokamera, Noční vidění

## **Abstract**

Autor: Daniel Hlavatý

Title: Searching for Suitable Landing Sites in „Unknown Terrain“

School: Czech Technical University in Prague, Faculty of Transportation Sciences

Publication: Prague 2015

Number of pages: 66

Number of appendices: 2

The aim of this bachelor thesis is to propose a device which would allow Air Rescue Service to carry out work even under poor meteorological conditions. In the first part of this paper is an explanation of an Air Rescue service and the legal needs of the Service in the Czech Republic. In the second part of this paper, contemporary systems for better orientation under poor weather conditions are evaluated. These systems are subsequently compared under specified criteria. From these systems, the most suitable device is chosen and described technologically to detail. The final phase of the thesis proposes a design of such system for the automatic approach procedures of Air Rescue Helicopters.

Key words: Air Rescue service, Airborne laser scanning, Termovision, Night Vision Device

# Obsah

Seznam zkratk.....	8
Úvod.....	10
1 Lety letecké záchranné služby k zásahu .....	11
1.1 Letecká záchranná služba .....	11
1.1.1 Historie.....	11
1.1.2 Současný stav .....	12
1.1.3 Porovnání LZS ve světě .....	15
1.1.4 Činnosti LZS .....	16
1.2 Průběh letu LZS .....	17
1.2.1 Tísňové volání .....	17
1.2.2 Start vrtulníku .....	17
1.2.3 Dolet na místo určení.....	18
1.2.4 Vyhledávání místa přistání.....	19
1.2.5 Transport pacienta, návrat na základnu .....	20
1.3 Legislativní nutnosti spojené s provozem letecké záchranné služby .....	21
2 Možnosti vyhledávání místa přistání .....	22
2.1 Problematika současného stavu .....	22
2.1.1 Lety v noci .....	23
2.1.2 Meteorologické podmínky.....	24
2.1.3 Možnosti řešení.....	24
2.2 Letecké laserové skenování .....	25
2.2.1 Historie vývoje systému .....	25
2.2.2 Popis systému .....	26
2.2.3 Využívání leteckého ALS v praxi.....	30
2.2.4 Možnosti implantace ALS v HEMS .....	31



2.3	Termokamery.....	32
2.3.1	Fyzikální princip bezdotykového měření teploty.....	32
2.3.2	Konstrukce kamery .....	34
2.3.3	Praktické využití .....	37
2.3.4	Využití termokamer pro LZS.....	38
2.4	Noční vidění .....	39
2.4.1	Princip systému .....	40
2.4.2	Využitelnost.....	41
2.4.3	Možnosti použití NVD v HEMS.....	42
3	Návrh možností .....	44
3.1	Kritéria.....	44
3.2	Hodnocení.....	45
3.2.1	Letecké laserové skenování – hodnocení .....	45
3.2.2	Termokamery – hodnocení.....	46
3.2.3	Noční vidění – hodnocení .....	47
3.2.4	Celkové hodnocení.....	49
3.3	Návrh systému .....	49
4	Automatické vytváření přibližovací procedury .....	51
5	Shrnutí.....	55
	Závěr .....	56
	Seznam literatury.....	57
	Seznam obrázků.....	60
	Seznam tabulek.....	61
	Seznam příloh .....	62
	Příloha A – Historie fyzikálních zákonů a jejich popis týkajících se termokamer .....	63
	Příloha B – Generace noktovizorů, zařízení pro zesilování zbytkového světla.....	65

## Seznam zkratek

ALS	Letecké laserové skenování (Airborne Laser Scanning)
CRT	Katodová trubice – obrazovka (Cathode Ray Tube)
DMR	Digitální model reliéfu
DMT	Digitální model terénu
EGNOS	Evropská podpůrná geostacionární navigační služba (European Geostationary Navigation Overlay Service)
FMV	Federální ministerstvo vnitra
GNSS	Globální navigační satelitní systém (Global Navigation Satellite System)
GPS	Globální polohovací systém (Global Positioning System)
HEMS	Vrtulníková záchranná zdravotnická služba (Helicopter Emergency Medical Services)
IFR	Přístrojová pravidla létání (Instrument Flight Rules)
IMC	Přístrojové meteorologické podmínky (Instrument Meteorological Condition)
IZS	Integrovaný záchranný systém
LAN	Lokální síť (Local Area Network)
LCD	Display z tekutých krystalů (Liquid Crystal Display)
LZS	Letecká záchranná služba
MAPt	Bod nezdařeného přiblížení (Missed Approach Point)
MCP	Mikrokanálová destička (Micro Channel Plate)
NVD	Zařízení pro noční vidění (Night Vision Device)
PinS	Přiblížení na bod v prostoru (Point in Space)
PPS	Počet pulsů za sekundu (Puls Per Second)

RLP	Rychlá lékařská pomoc
RZP	Rychlá zdravotnická pomoc
SBAS	Družicový opravný systém (Satellite Based Augmentation Systems)
VFR	Visuální pravidla létání (Visual Flight Rules)
VMC	Visuální meteorologické podmínky (Visual Meteorological Condition)
ZZS	Záchranná zdravotnická služba

## Úvod

Lidstvo se odjakživa zajímalo o možnost létat a fascinovala ho představa vznést se do oblak. Nakonec se tato představa stala skutečností a přišlo období, kdy se lidé začali odpoutávat od země a překonávali vzduchem větší a větší vzdálenosti. Zrodily se základy letecké dopravy.

S vývojem dokonalejších letounů, vznikaly i představy o strojích, které by vzlétaly a přistávaly bez nutnosti dlouhého rozjezdu. Začaly se konstruovat helikoptéry. Ve stejné době se uvažovalo o možnostech, jak zrychlit a zdokonalit zdravotnickou pomoc. Propojení zdravotnické pomoci a helikoptér umožnilo v krátkém čase dostat zdravotnickou pomoc i do míst, kam sanitní vozy neměly přístup. Toto propojení například ve válce v Koreji zachránilo několik stovek lidských životů.

V první části své práce bych se rád zmínil o historii a provozu letecké záchranné služby v České republice. V hlavní části své práce se budu věnovat popisu a porovnáním technických zařízení, které by umožnily zvýšit počet zásahu letecké záchranné služby. V současné době letecká záchranná služba provádí záchranné práce pouze v denních hodinách a při vhodných meteorologických podmínkách. Termokamery, noční vidění a letecké laserové skenování bude v této práci porovnáno a z těchto systémů vybráno nejlépe odpovídající zařízení, které by letecké záchranné službě umožnilo lety i za dnes neodpovídajících letových podmínek. Text práce je pro jednodušší porozumění doplněn ilustracemi a obrázky. Doufám, že grafické interpretace textu ulehčí čtenáři získat konkrétní představu o principech fungování systémů, které jsou v práci uvedeny.

V poslední fázi mé práce budu popisovat návrh automatického přibližovacího systému, který by piloty leteckých záchranných vrtulníků navigoval nepříznivými meteorologickými podmínkami, kdy vizuální kontakt s terénem není možný.

# 1 Lety letecké záchranné služby k zásahu

## 1.1 Letecká záchranná služba

### 1.1.1 Historie

Letecká záchranná služba v České republice příští rok oslaví 60 let od první přepravy zraněného. Tehdejší let se uskutečnil 27. dubna 1956, kdy byl pacient letecky přepraven z Terezína do Ústřední vojenské nemocnice v Praze ve Střešovicích. Historicky první transport byl uskutečněn vojenským vrtulníkem Mi-4. Další nasazení tohoto vojenského vrtulníku bylo při pátracích akcích ve Vysokých Tatrách v roce 1962 nebo při rozsáhlých povodních o tři roky později. [1]

Od roku 1977, v tehdejším Československu, probíhal sběr informací a materiálů z ostatních evropských států, které měly sloužit jako vstupní data pro vytvoření celoplošné, státem garantované sítě leteckých záchranných služeb. Po dlouhých přípravách, které trvaly celé jedno desetiletí, byl konečně 1. dubna 1987 umístěn na Ruzyňský heliport první speciální záchranný vrtulník Mi-2 B-2401. Dokončení přípravy a nasazení prvního vrtulníku letecké záchranné služby mohlo být uskutečněno díky spolupráci 3 tehdejších subjektů. Pražský ústav národního zdraví vybral lékaře, volné vrtulníky spolu s jejich přestavbou do odpovídajícího stavu dodala Letecká správa FMV (Federálního ministerstva vnitra), a na nákladech se z velké části podílela Československá státní pojišťovna. [2]

Od založení první stanice LZS v Praze na Ružyni trvalo přesně rok, než se letecká záchranná služba dostala do nepřetržitého provozu. Do té doby probíhaly různé zkušební lety. V průběhu provozu první stanice LZS, získával stát cenné zkušenosti a do roku 1992 vznikaly po celém území Československa další heliporty a specializované stanice letecké záchranné služby. Plán pokrytí našeho území stanicemi LZS byl dokončen v roce 1992, kdy se na území Česka a Slovenska nacházelo 18 stanic letecké záchranné služby. [3]

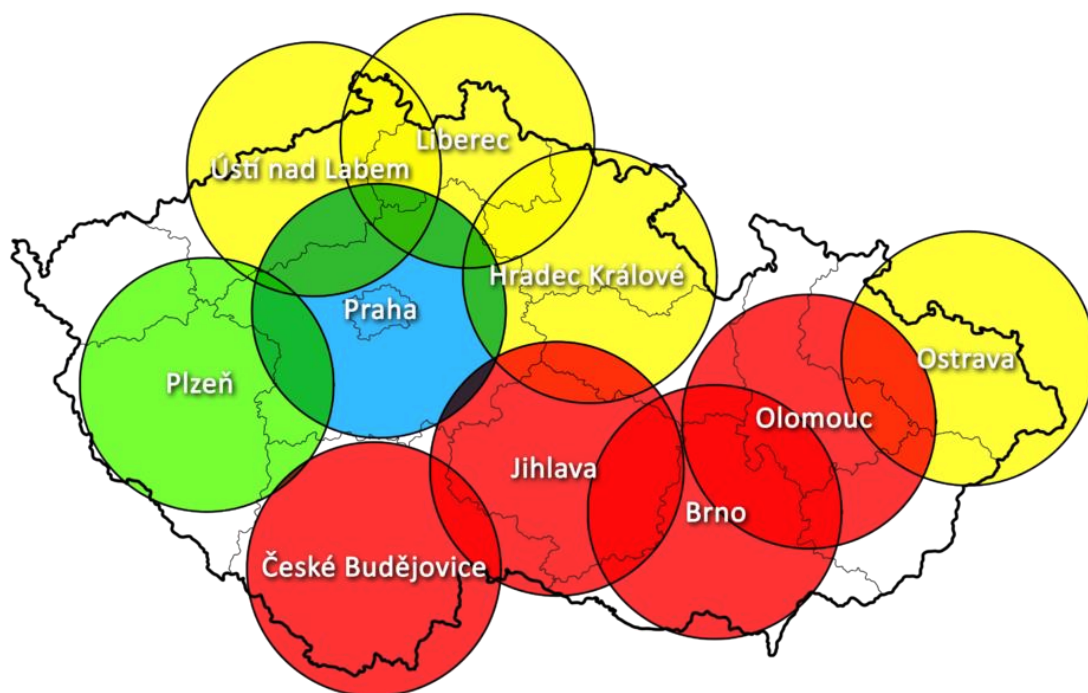


Obrázek 1: Mi-1 Kryštof Praha Ruzyně [1]

### 1.1.2 Současný stav

Současný stav se v mnoha ohledech liší od stavu, který byl před rokem 1992. Česká a Slovenská Federativní Republika se 31. 12. 1992 rozpadlo na dva samostatné státy a také provozovatelé, kterými byly stát spolu se slovenskou společností Bel-Air se změnil na kombinaci státních a soukromých provozovatelů, přičemž stanice provozované společností Bel-Air si rozdělili čeští provozovatelé Delta Systém Air a.s. a olomoucký Alfa – Helicopter s.r.o.. [4]

V České republice nyní existuje 10 stanic letecké záchranné služby. Každá stanice má svůj vlastní volací znak, který začíná označením „Kryštof“ a specifické číslo. Číslo byla k volacím znakům přiřazována podle toho, jak postupně po celém území Československa jednotlivé stanice vznikaly. Každá stanice má svůj daný akční rádius. Ten je asi 70 km, přičemž doba doletu do nejbližšího místa oblasti od obdržení tísňového volání je maximálně 30 minut. Z tohoto důvodu je zavedeno spádové území, které je dáno kruhem s poloměrem 50 km, kde doba doletu na okraj spádového území by měla být přibližně 15 minut. Rozdílných 20 kilometrů je oblast, kde se spádová území jednotlivých stanic LZS překrývají. [5]



Obrázek 2: Mapa pokrytí LZS v ČR [3]

V roce 2002 učinila vláda krok, který byl v plánu na rozvoj integrovaného záchranného systému v letecké oblasti. Vypsala veřejnou zakázku na dodání moderních specializovaných vrtulníků v hodnotě 150 milionů korun za jeden stroj. Obnova leteckého parku byla naplánována na sedm let. Proto jsou dnes v České republice pouze tři druhy vrtulníků letecké záchranné služby. Soukromá společnost DSA a.s. (na obrázku č. 2 oblasti vyznačené žlutou barvou) provozuje vrtulníky značky Eurocopter typu EC 135 T2 a EC 135 T2+. Stejný typ vrtulníků je také provozován policií České republiky (na obrázku č. 2 oblasti vyznačené modrou barvou), která zajišťuje leteckou záchrannou službu ve Středočeském kraji. Společnost Alfa – Helicopter s.r.o (na obrázku č. 2 oblasti vyznačené červenou barvou) má v leteckém parku dva vrtulníky Eurocopter EC 135 T2+, které jsou nasazeny v Brně a v Olomouci a dva vrtulníky značky Bell 427, kterými zajišťuje LZS v jižních Čechách a na Vysočině. Naprosto odlišný typ vrtulníků má pod svojí správou Armáda České republiky (na obrázku č. 2 oblasti vyznačené zelenou barvou), která provozuje vrtulník PZL W-3A zvaný Sokol. Tento stroj je možné spatřit na stanici Kryštof 07 v Plzni. [4]



Obrázek 3: Kryštof 18 Liberec [6]



Obrázek 4: Kryštof 09 Olomouc [7]

V následující tabulce je přehledně zmapován provoz LZS v České Republice s ohledem na lokalizaci, provozovatele, volací znak stanice a typ vrtulníku.



Tabulka 1: Provoz LZS v ČR [2]

Lokalizace	Volací znak	Provozovatel	Vrtulník
Praha a Středočeský kraj	Kryštof 01	Letecká služba Policie ČR	Eurocopter EC 135 T2
Brno	Kryštof 02	Alfa – Helicopter	Eurocopter EC 135 T2+
Ostrava	Kryštof 05	DSA	Eurocopter EC 135 T2+
Hradec Králové	Kryštof 06	DSA	Eurocopter EC 135 T2
Plzeň	Kryštof 07	Armáda ČR	PZL W-3A Sokol
Olomouc	Kryštof 09	Alfa – Helicopter	Eurocopter EC 135 T2+
Jihlava	Kryštof 12	Alfa – Helicopter	Bell 427
České Budějovice	Kryštof 13	Alfa – Helicopter	Bell 427
Ústí nad Labem	Kryštof 15	DSA	Eurocopter EC 135 T2
Liberec	Kryštof 18	DSA	Eurocopter EC 135 T2

### 1.1.3 Porovnání LZS ve světě

Při srovnání České republiky s ostatními vyspělými státy Evropské Unie, či dokonce se světovými mocnostmi jako je USA, se zjistilo, že LZS je v České republice na podobné úrovni, či dokonce lepší než v některých státech. Je nutné vzít v úvahu kolik má na svém území daný stát počet stanic LZS a porovnat toto číslo s počtem obyvatel a rozlohou v km<sup>2</sup>. Tabulka číslo č. 2 porovnává LZS v České republice s ostatními státy podle průměrného počtu obyvatel, které na jednu stanic LZS připadají (údaje jsou v jednotkách milionů). Z tabulky je patrné, že se Česká republika umístila na pátém místě. [5]

Tabulka 2: Porovnání LZS s ostatními státy ve světě podle průměrného počtu obyvatel na 1 LZS (mil.) [5]

Stát	Zahájení provozu	Rozloha (v tis. Km2)	Počet obyvatel (mil.)	Průměrná oblast na 1 LZS (tis. Km2)	Průměrný počet obyvatel na 1 LZS (mil.)	Počet středisek LZS
Rakousko	1983	83,9	8,5	3,00	0,30	28
USA	1972	9826,7	317,9	13,76	0,45	714
Švýcarsko	1973	41,3	8	3,18	0,62	13
Slovensko	1987	49,0	5,4	7,01	0,77	7
<b>Česká republika</b>	<b>1987</b>	<b>78,9</b>	<b>10,5</b>	<b>7,89</b>	<b>1,05</b>	<b>10</b>
Německo	1970	357,2	80,2	4,96	1,11	72
Itálie	1987	301,3	59,9	6,28	1,25	48
Španělsko	1989	506,0	46,7	20,24	1,87	25
Francie	1983	551,7	63,9	18,39	2,13	30
Polsko	1955	312,7	38,5	17,37	2,14	18
Velká Británie	1987	229,8	60,8	8,84	2,34	26
Nizozemí	1995	41,5	16,8	10,39	4,20	4
Japonsko	2001	377,9	128	14,54	4,92	26

#### 1.1.4 Činnosti LZS

Činnost letecké záchranné služby lze rozdělit na dva typy. Jsou jimi „primární“ a „sekundární“ lety. Primární lety jsou určeny výhradně pro lety k pacientovi. Jedná se tedy o situace, kdy vrtulník vzlétá ihned poté, co obdrží výzvu o člověku v tísni. Vrtulník je pak směřován na daný bod, zadaný GPS souřadnicemi, nebo na celou oblast, pokud se nezná přesná lokalizace pacienta. Druhým případem, tedy sekundárními lety se rozumí takové lety, kdy se jedná o přepravu pacienta, který je ve stabilizovaném stavu. Může se jednat o přepravu za účelem dopravit pacienta z oblastní nemocnice na specializované pracoviště, nebo přeprava v rámci transplantačního programu, ale také sem patří repatriační lety, kdy je pacient přepravován z jiného území nacházejícího se mimo Českou republiku. Repatriační přeprava není vždy prováděna leteckými záchrannými vrtulníky, ale v případě DSA a.s. i lehkým vrtulovým letadlem typu Cessna. [2] [8]

## **1.2 Průběh letu LZS**

### **1.2.1 Tísňové volání**

Přivolání zdravotnické pomoci všech typů, to znamená vozy ZZS (Zdravotnická záchranná služba), RLP (Rychlá lékařská pomoc), RZP (Rychlá zdravotnická pomoc) a právě i přivolání letecké záchranné služby, se většinou řídí z moderně vybavených krajských zdravotnických operačních středisek, kterým se nesprávně říká dispečinky. Operační středisko vysílá informace o výjezdu na pagery, které vlastní každý člen posádky sanitního vozu či posádky vrtulníku. Na pageru je několika řádkový LCD display, na kterém se zobrazují podrobnosti k zásahu – místo zásahu, jméno a věk pacienta a kategorie zásahu. Kategorie zásahů se rozděluje do tří skupin K1, K2, K3. Na pager letecké záchranné služby téměř vždy chodí popluchy kategorie K1 na kterých se většinou jedná o bezprostřední ohrožení života. K zásahům typu K2 jsou nejčastěji posílány sanitní vozy a k zásahům typu K3 už není nutné používat modré majákové světlo. V souvislosti se zprávou s detaily se také využívá prealarm. Prealarm je předběžný poplach (akutní výzva), kdy členové záchranných složek dostávají na svůj pager upozornění, že je vyhlášen poplach, tato zpráva však zatím neobsahuje detailní podrobnosti zásahu. Zpráva je posílána z důvodu celkového urychlení přípravy záchranných složek. Důležité využití je u letecké záchranné služby, a to hlavně v zimních měsících, kdy z důvodu špatného počasí je vrtulník vytažen z hangáru až po obdržení této předběžné zprávy. Během procesu přípravy vrtulníku posádka obdrží další zprávu, již s detailními údaji. [3]

### **1.2.2 Start vrtulníku**

To, zda pilot stiskem několika tlačítek roztočí listy vrtule, vzletí a vydá se směrem k zásahu, rozhoduje několik faktorů. Prvotní rozhodnutí je na straně pracovníka operačního střediska, zda se rozhodne, že je potřeba zdravotnické pomoci, která je oznamována na tísňovou linku a je natolik závažná, že je potřeba rychlý převoz leteckou cestou. K rozhodnutí operátora pomáhá tzv. Triagle (triáž), což je seznam vysokoenergetických mechanismů poranění. Pokud operátor při popisu volajícího zaslechne nějaký bod z níže uvedené tabulky mechanismů, neváhá a povolává leteckou záchrannou službu. [3]

Tabulka 3: Triagle [3]

<b>Vysokoenergetické mechanismy poranění</b>
Osoba zasažená vozidlem v rychlosti nad 35km/h – často chodci, cyklisté mimo obec
Pád z výšky nad 6 metrů
Větší počet zranění
Přejetí dopravním prostředkem
Katapultáž z vozidla
Vyprošťování z vozidla
Smrt spolujezdce v dopravním prostředku
<b>Další závažné úrazy</b>
Poranění páteře
Tonutí s poruchou základních životních funkcí

Dalším rozhodujícím aspektem pro vzlet vrtulníku je vlastní rozhodnutí kapitána vrtulníku. Pilot má hlavní slovo a může se z určitých důvodů rozhodnout, že se let konat nebude. Pilot se také může během zásahu rozhodnout přerušit let a vrátit se zpět na základnu. Jeho vyhodnocení podléhá meteorologickým a povětrnostním podmínkám, zvážení rizikovosti celé operace nebo i vlastnímu fyzickému stavu.

Pokud jsou podmínky pro let splněny, vrtulník může vzlétnout. Letecká záchranná služba má pro vzlet limit 3 minuty od přijetí výzvy operačního střediska. Většinou je ale schopná do 2 minut vzletět. [3]

### 1.2.3 Dolet na místo určení

Existují dvě možnosti určení místa pro LZS. Jedná-li se o závažný úraz v zástavbě, operátoři jsou většinou schopni zjistit přesnou adresu a letecký záchranný vrtulník je pak směrován na jeden konkrétní bod v terénu. Dalším případem, například při dopravní nehodě, oznamovatel ohlásí, že se dopravní nehoda stala v určitém úseku mezi dvěma městy s přibližnou orientací na určitém kilometru nebo u určité křižovatky. Posledním případem vysláním vrtulníku do terénu je vyhledávání zraněného v horách. Operační středisko obdrží zprávu, že byl nalezen zraněný turista, například na modré stezce u Velkého lomu. V horším případě se jedná o vyhledávání paraglidisty, který letěl z bodu A do bodu B, ale do bodu B se

po dlouhém čekání nedostavil a na mobilní telefon se nehlásí. V těchto dvou případech není zcela jasná lokace zraněného, proto je na posádce vrtulníku, aby přibližný prostor, který byl hlášený, prohledala a zraněného člověka našla. V některých situacích, pokud si zraněný sám zavolá záchrannou službu a je schopný komunikovat, je možné spojit posádku vrtulníku přímo se zraněným přes mobilní telefon a ten pak může udávat informace, v jaké vzdálenosti od něho letecký vrtulník při prohledávání krajiny proletěl. [9]

Letecký záchranný vrtulník vzlétá v případě nejvyšší urgency. To se promítá i do přednosti s jakou vrtulník letí. Jednoduše řečeno, letecký záchranný vrtulník má se dvěma výjimkami absolutní přednost před ostatním leteckým provozem. Zmiňované dvě výjimky tvoří letadlo, které je v nouzi a bezmotorová letadla. Těmto dvěma situacím se musí vrtulník vyhnout, jinak platí pravidlo, že letecký záchranný vrtulník letí vždy po přímce s co nejkratší vzdáleností. Součástí vybavení leteckého záchranného vrtulníku je i odpovídač, který mají běžná dopravní letadla a pokud se pilot vrtulníku zahlásí na řízení letového provozu svým volacím znakem, řídicí letového provozu jsou schopni vyhodnotit možnost sblížení vrtulníku s jiným letadlem a v takovém případě letadlo odklonit na jinou trasu. Pro vrtulník také neplatí žádné speciální vzdušné zóny, jako jsou například zakázané, nebezpečné či omezené prostory.

#### **1.2.4 Vyhledávání místa přistání**

Jak bylo zmíněno v kapitole č. 1.2.3, pilot zná polohu nebo přibližnou oblast nehody/úrazu. Při příletu na dané místo je ovšem nutné vyhledat vhodné místo dosedu vrtulníku. Tuto informaci pilot ani dispečer dopředu samozřejmě nemůžou určit, proto je na kapitánovi vrtulníku vhodnou plochu operativně vyhledat. Obecně platí pravidlo, že vrtulník může přistát na jakékoliv ploše, která je svými rozměry pro přistání vrtulníku dostačující a je přístupná ostatním členům integrovaného záchranného systému. Místo, kde vrtulník nesmí přistát, jsou nestabilní plochy, jako například střechy domů, rozmáčená pole, svahy a podobně. [9]

Letecký zásah v nočních hodinách je možné provádět zpravidla pouze za podmínky, že pilot letí na místo, které už zná, nebo které je nějakým způsobem osvětlené. Osvětlené místo může být například část louky, kterou buď dobrovolní nebo profesionální hasiči světlometry automobilů či halogeny nasvítí. Vhodné pro přistání je také nasvětlené hřiště či přes noc

osvětlené parkoviště. Pacient je poté sanitním vozem převezen na toto místo a leteckou záchrannou službou transportován do oblastní nemocnice. [9]

### **1.2.5 Transport pacienta, návrat na základnu**

Pro transport zraněného pacienta existuje několik různých možností. První možností je jeho okamžitý převoz do nemocnice. K této možnosti se přistupuje, pokud je pacient přímo ohrožen na životě, například když vykazuje vnitřní krvácení (nejčastěji z jater nebo sleziny). Vyhledání zdroje krvácení a následné ošetření je možné pouze na operačním sále a jakékoliv další prodlevy na místě zásahu by snižovaly šanci pacienta na přežití. [3]

V jiném případě záchranáři letecké záchranné služby ošetří zraněného přímo na místě. Pokud se nejedná o vnitřní krvácení nebo jiné velmi závažné zranění, je lepší pacienta stabilizovat a během transportu už jen kontrolovat, zda se jeho stav nezhoršuje, podávat léky či infuzní roztoky. Za letu se již neprovádějí žádné velké zásahy, posádka vrtulníku sedí připoutaná v sedačkách spolu s pacientem. Záchranáři během transportu zasahují například pouze v nutnosti resuscitace pacienta.

Ve výjimečných případech funguje letecká záchranná služba na principu tzv. rendez-vous systému, který je hojně využíván v pozemní záchranné službě. Situace, kdy vrtulník přiletí na místo, záchranáři LZS ošetří pacienta a předají ho sanitce, která mezitím také dorazí na místo, nastává ve chvíli, kdy pacient není v tak vážném zdravotním stavu a povolání LZS bylo spíše z důvodu špatné přístupnosti ke zraněnému. V sousedním Německu je tato spolupráce LZS s pozemními sanitními vozidly využívána hojněji, přibližně v 50% všech případů. Nastávají i situace, kdy na místo nehody dorazí složky ZZS, pacienta ošetří, ale doktor konstatuje, že je potřeba pacienta transportovat do specializovaného centra v Praze. V tomto případě vzlétá letecký vrtulník na rendez-vous s ZZS a transportuje stabilizovaného pacienta na specializované pracoviště.

Jako nejlepší dosedací plochy v nemocničním zařízení jsou heliporty na střeších nebo v areálu. Nejlepší variantou je samozřejmě heliport umístěný přímo na budově nebo v těsné blízkosti budovy. Pacienta pak není nutno překládat do sanitního vozu kvůli konečnému přiblížení k budově a tím se dají ušetřit mnohdy životně důležité minuty. Pokud nemocnice nemá vybudovaný heliport, vrtulník dosedá na co nejvhodnější plochu, co nejbližší nemocničnímu zařízení. [3]

Na celou rozlohu České republiky připadá 10 vrtulníků letecké záchranné služby. To má vliv na přednost návratu vrtulníku na svoji domovskou stanici. Z důvodu, že letecký záchranný vrtulník nemůže být v případě zásahu nahrazen jiným strojem, jako v případě pozemních sanitek, je jeho přednost letu vždy stejná, jako když letí ke zraněnému pacientovi. Proto i návrat z nemocnice na základnu je prioritní záležitostí a let probíhá rovněž přímo a s co největší rychlostí.

### **1.3 Legislativní nutnosti spojené s provozem letecké záchranné služby**

Provoz letecké záchranné služby musí splňovat množství státních i mezinárodních předpisů a zákonů, a to zejména Nařízení komise (EU) č. 965/2012, který upravuje podmínky a stanovuje pravidla pro provoz letounů a vrtulníků v obchodní letecké přepravě. Dalším základním dokumentem, kterým se musí provozovatel letecké záchranné služby řídit je Zákon o civilním letectví č. 49/1997 Sb.. Do tohoto zákona jsou implementovány požadavky mezinárodní Úmluvy o mezinárodním civilním letectví.

Společnost zabývající se leteckou záchrannou službou je z právního hlediska společnost provozující obchodní leteckou přepravu, tak většina zásadních nařízení a postupů vychází právě z Nařízení komise (EU) č. 965/2012. Provoz vrtulníkové záchranné služby je předmětem Hlavy J dokumentu. V této hlavě jsou k nalezení všechny informace, co se týče osvědčení pro provoz společnosti obchodní letecké přepravy, požadavky na vybavení HEMS, požadavky na komunikační vybavení, provozní minima letů HEMS či výkonnostní požadavky HEMS. V této části nařízení jsou také informace o požadavcích na posádku, jaké osvědčení a certifikace musí členové posádky a dalšího personálu mít. V tomto dokumenty nechybí postupy, jak nakládat s palivem nebo jakým způsobem se provádí plnění vrtulníků palivem.

## 2 Možnosti vyhledávání místa přistání

Cílem této bakalářské práce je zhodnotit možnosti, které by přinesly letecké záchranné službě schopnost pokrývat stanice dvaceti čtyř hodinovou službou a které by umožnili zásah vrtulníku LZS i za nepříznivých meteorologických podmínek. V kapitole č. 2 je zhodnocen současný stav a rizika, které by s sebou nesl provoz LZS v takových podmínkách. Současně jsou zde popsány základní principy 3 technických zařízení (včetně některých historických souvislostí), které by umožnily vybrat vhodné místo přistání i za neodpovídajících letových podmínek, popřípadě pomoci během samotného průběhu letu.

### 2.1 Problematika současného stavu

Podmínky neodpovídající pro provoz letecké záchranné služby jsou tzv. IMC (Instrument Meteorological Condition) podmínky. Druhou možností pravidel létání je VFR – Visual Flight Rules. VFR létání se může provádět pouze ve dne nebo v noci a za dobrých meteorologických podmínek. Následující tabulka uvádí provozní minima pro lety letecké záchranné služby (HEMS).

Tabulka 4: Provozní minima pro lety HEMS [10]

2 Piloti		1 Pilot	
<b>DEN</b>			
Výška základny nejnižší význačné oblačné vrstvy	Dohlednost	Výška základny nejnižší význačné oblačné vrstvy	Dohlednost
500 ft a více	Stanovená příslušnými minimy VFR ve vzdušném prostoru	500 ft a více	Stanovená příslušnými minimy VFR ve vzdušném prostoru
499–400 ft	1 000 m (*)	499–400 ft	2 000 m
399–300 ft	2 000 m	399–300 ft	3 000 m
<b>NOC</b>			
1 200 ft (**)	2 500 m	1 200 ft (**)	3 000 m

\* Během fáze letu na trati může být dohlednost na krátkou dobu snížena na 800 m za dohlednosti země, letí-li vrtulník rychlostí, která přiměřeným způsobem umožní zpozorovat všechny překážky s předstihem potřebným pro zamezení srážce.

\*\* Během fáze letu na trati může být základna oblačnosti na krátkou dobu snížena na 1 000 ft.



Nařízení komise (EU) č. 965/2012 ještě poukazuje na situaci, kdy se meteorologické podmínky zhorší pod výše uvedená minima základny oblačnosti nebo dohlednosti. V takovém případě se letecké záchranné vrtulníky, s osvědčením pouze pro let VFR, vrátí na základnu a operaci přeruší. Pokud má posádka i vrtulník příslušnou kvalifikaci pro let IFR, při zhoršených meteorologických podmínkách operaci přeruší a vrátí se na základnu nebo změní operaci na let prováděný podle přístrojů (IFR). Tabulka č. 4, která vychází z evropského nařízení, se vztahuje pouze pro lety HEMS prováděné v 1. a 2. výkonnostní třídě. Pro lety HEMS ve 3. výkonnostní třídě platí, že základna nejnižší význačné oblačné vrstvy musí být 600 ft a dohlednost 1 500 m. Dohlednost může být krátkodobě snížena na 800 m za dohlednosti země, letí-li vrtulník rychlostí, která přiměřeným způsobem umožní zpozorovat všechny překážky a zamezit srážce.

### **2.1.1 Lety v noci**

Lety v noci jsou obecně pro vrtulníky proveditelné. Podmínky vhodné pro let VFR v noci jsou uvedené v tabulce č. 4. Jednou z podmínek, která vychází z nařízení evropské unie č. 965/2012 pro let v noci, jsou osvětlená místa přistání a vzletu. Tyto místa musí být tak dostatečně osvětlena, aby bylo možné rozeznat jednotlivé překážky v daném místě. Pilot poté může vzletat a přistávat na osvětlených heliportech a za dobrých meteorologických podmínek. Co jsou dobré meteorologické podmínky je vysvětleno v následující kapitole. Lety v noci jsou z hlediska HEMS proveditelné pro sekundární lety. Létání v noci a transport pacientů či zdravotnického materiálu mezi nemocnicemi s osvětlenými heliporty je v LZS běžnou praxí. Komplikace ovšem nastávají při letech primárního charakteru.

Přistání v noci je samozřejmě pro zásahy HEMS komplikací. Existují případy, kdy přistávací plochu vrtulníku mohou připravit hasičské složky, například nasvícením fotbalového hřiště reflektory, ale hlavní princip využití LZS je právě v případech, kdy se jedná o těžké zranění s ohrožením života a LZS se volá pro urychlení zásahu, kdy LZS je právě ta složka integrovaného záchranného systému, která je na místě zásahu jako první. V takových případech je nutné využití přídavného reflektoru, kterým jsou vrtulníky LZS vybaveny a vyhledat místo přistání pomocí tohoto přídavného světla. Reflektor má ovšem pouze omezený záběr nasvícení. Vyhledávání místa přistání tímto způsobem je proto velmi nepřesné a z hlediska bezpečnosti provozu nebezpečné. Proto se lety na neosvětlené místo dle Ing. Eliáše vůbec neprovádějí.

### 2.1.2 Meteorologické podmínky

Nepříznivé meteorologické podmínky jsou pro primární zásahy LZS dalším omezením. Za dobré meteorologické podmínky se dají považovat VMC podmínky. Kromě těchto VMC podmínek jsou to podmínky, které určí sám pilot jako možné pro vzlet a pro provedení zásahu. Pilot vrtulníku se během zásahu LZS sice neřídí přímo srovnávací navigací, ale musí udržovat permanentní vizuální kontakt s terénem. Vzhledem k tomu, že při konečném přiblížení se vrtulník pohybuje velmi nízko nad terénem je pro pilota nezbytné udržovat kontakt s okolím. S klesající vzdáleností k místu přistání se vrtulník nepochybně přibližuje k výšce úrovně terénu. S tím je spojené větší nebezpečí kontaktu s některými prvky zástavby (stožáry napětí, antény domů, věže budov apod.) či vysokými terénními objekty jako jsou vysoké stromy nebo skalní útesy. [9]

Jedno z hlavních podmínek pro uskutečnění zásahu HEMS je délka letové dohlednosti. O těchto vzdálenostech informuje tabulka č. 4. Vzdálenost dohlednosti se liší podle počtu pilotů na palubě leteckého záchranného vrtulníku a výšce nejnižší význačné oblačné vrstvy. S klesajícími minimy WMC (Visual Meteorological Conditions), klesá i pravděpodobnost uskutečnění zásahu HEMS.

Z výše uvedených podmínek tedy vyplývá, že letecký záchranný vrtulník rozhodně nevzlétá v dešti, v bouři, v silném větru, kdy se dohlednost podstatně snižuje pod minima uvedené v tabulce. Pokud je na domovské stanici VMC na úrovni možné pro vzlet, pilot musí ověřit počasí i v lokalitě budoucího zásahu. Pokud v místě zásahu bude například zvýšené množství prachu, či sněhu ve vzduchu, z důvodu písečné nebo sněhové bouře, vrtulník také nevzlétá. [9]

### 2.1.3 Možnosti řešení

V kapitolách 2.2, 2.3 a 2.4 jsou navržena možná technická řešení, která v současné době plní funkci napříč různými vědními či technickými odvětvími, a která by při aplikaci v kombinaci s leteckou záchrannou službou mohla určitým způsobem pomoci rozšíření záchranných akcí i mimo podmínky létání VMC.

Popis jednotlivých systémů a základní seznámení s principy fungování těchto systémů je právě úlohou kapitoly č. 2. V kapitole č. 3 – Návrh řešení, je vytvořen průnik těmito systémy a zkonstruováno nevhodnější řešení. Kapitola č. 3 uvažuje použití tohoto systému pro službu

letecké záchranné služby, aplikaci na vrtulníky LZS a zhodnocuje možný přínos pro tuto složku integrovaného záchranného systému.

## **2.2 Letecké laserové skenování**

Prvním popisovaným systémem je letecké laserové skenování. Letadla nesoucí laserové skenovací jednotky slouží zejména ke geografickým účelům. Pomocí letadel na nichž je umístěno zařízení pro skenování povrchu lze vytvářet 3D modelace terénu, při které je možné modelovat terén i přes výraznou vegetační vrstvu (lesní porost). Tato kapitola č. 2.2 se bude zabývat využitím tohoto systému leteckou záchrannou službou za účelem modelace terénu pod vrtulníkem. Cílem je zhodnotit, zda tento systém lze k modelaci použít za IFR podmínek a bezpečně přistát na místě určení.

### **2.2.1 Historie vývoje systému**

Základní součástí celého zařízení je laser. Dříve než vzniklo zařízení na laserové skenování, musel proběhnout určitý vývoj zařízení, na kterém je tento systém postaven – laseru. Laser je akronymem anglického pojmenování zařízení, a to Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation. Doslovný český překlad znamená: světelný zesilovač pomocí stimulované emise záření. Co znamená stimulovaná emise v souvislosti s lasery je okrajově vysvětleno v následující kapitole. [11]

Prvním člověkem, kdo dokázal popsat a vysvětlit stimulovanou emisi záření byl Albert Einstein. Jeho teorie byla v podstatě základ pro vznik laserů. Před tím, než vznikl první laser, což bylo v roce 1960, vznikl jeho předchůdce – MASER. Opět z anglického akronymu Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation. Jednalo se o zařízení, které pomocí stimulované emise zesilovalo mikrovlnné záření. První maser byl zkonstruován v roce 1953 a měl určité nedostatky. Jeho nástupce, tedy laser, poprvé zkonstruoval Američan Theodore H. Maiman. Laser měl ten nedostatek, že kvůli krystalu rubínu mohl pracovat pouze v pulzním režimu. Zásadním objevem se stala konstrukce plynového CO<sub>2</sub> laseru. Zkonstruoval ho C. Kumar N. Patel v roce 1963. Dnes tento laser patří k nepoužívanějším a nejsilnějším. [11]

Samotný vznik laseru dal podnět pro rozvoj velkého množství zařízení napříč celým technickým odvětvím. Jedním ze zařízení, které vzniklo na bázi stimulovaného světelného paprsku a které je principiálně využíváno v systémech leteckého laserového skenování, jsou laserové dálkoměry. Laserové dálkoměry jsou zařízení, která vysílají světelný paprsek k cíli, od

kterého se odráží zpět a zařízením je detekován. Na základě znalosti rychlosti šíření paprsku prostředím a časovém intervalu od vyslání k přijetí paprsku lze vypočítat vzdálenost pozorovaného objektu.

Na tomto principu je založeno i laserové skenování, které je podrobněji vysvětleno v kapitole č. 2.2.2. Zařízení vysílá soustavu paprsku k objektům (povrchu) a měří vzdálenosti jednotlivých paprsků. Jelikož je reliéf členitý a paprsky se odráží od toho bodu, do kterého byl paprsek vyslán, lze tímto způsobem spočítat vzdálenost jednotlivých bodů v prostoru a tím dostat digitální pohled na členitost reliéfu. Samotný laser by ale letecké laserové skenování nemohl umožňovat. Při leteckém laserovém skenování je nejdůležitější poloha a čas snímače. Proto se letecké laserové skenování mohlo vyvinout až s příchodem GPS.

## **2.2.2 Popis systému**

Samotný systém pro letecké laserové skenování (ALS – Airborne Laser Scanner) není složitý a ani nepracuje na těžko vysvětlitelných principech. Jak již bylo nastíněno v odstavci .., systém se skládá ze zdroje laserového záření, které musí být následně detekováno detektorem. Součástí systému je i optická soustava, která zajišťuje koncentraci paprsku do velmi úzkého svazku a také mechanický článek systému, který se stará o vychylování paprsku v rozmezí určitých úhlů. Důležitou součástí jsou také velmi přesné hodiny. Všechny tyto části systému jsou součástí jednoho celku, který se nazývá LIDAR. Slovo lidar pochází z anglického akronymu – Laser Imaging Radar. Vysvětlení zkratky prozrazuje, že se tedy jedná o systém měření vzdálenosti pomocí laseru. Pro funkci leteckého laserového skenování je nezbytnou součástí systém GPS a také INS, nebo-li inerciální navigační systém.

### **2.2.2.1 Laserová jednotka**

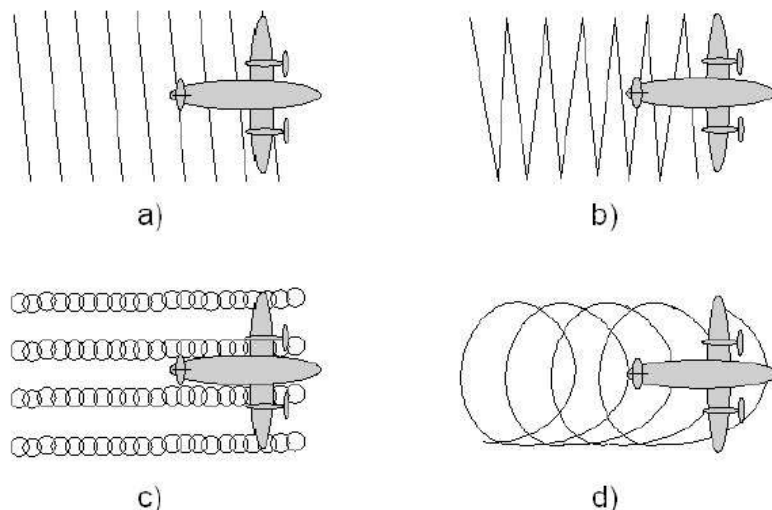
Laserová jednotka se skládá z vysílače a přijímače s totožnou optickou osou. Nejpoužívanější vlnová délka vysílaného záření se pohybuje v rozmezí 1100 – 1200 nm. Tento interval odpovídá vlnové délce infračerveného záření. To také znamená, že při skenování ve dne či v noci běžným okem paprsek vysílaný vysílačem nelze zahlédnout. Paprsek dopadá na zemský povrch s různorodými materiály objektů. Každý materiál trochu jinak pohlcuje infračervené záření vysílané vysílačem. To má za následek, že odražený paprsek detekovaný přijímačem má různé intenzity záření. Podle intenzit lze určit i jednotlivé povrchy, od kterých se paprsek odrazil. [12]

Dráha paprsku, který prochází atmosférou je atmosférou ovlivňován. Konkrétně atmosférickou refrakcí, která závisí na úhlu paprsku, se kterým opouští vysílač a také na aktuálních atmosférických podmínkách v daném místě. Díky stopě, kterou paprsky vytvářejí v určité šířce v závislosti na výšce letu, je možné pozorovat, jak se paprsky odrážejí od určitých vrstev objektů. Při skenování například lesních porostů se paprsky odrážejí jak od vrchní části porostu, tak od jednotlivých pater koruny stromu. V neposlední řadě se paprsek odrazí i od zemského povrchu. Aby tyto odrazy byly od sebe odlišitelné, musí být mezi nimi dostatečný časový interval a útlum signálu.

#### 2.2.2.2 Skener

Součástí skeneru je vychylovací jednotka, která se skládá z pohyblivé mechanické části a zrcadla. Jednotka se stará o to, aby byl paprsek vychýlen v příčném směru. Úhel, který je vychylovací jednotkou definován určuje tzv. zorné pole, které je v praxi zpravidla 20 – 30°. Tento úhel spolu s výškou letu potom určuje celkovou šířku stopy paprsků na zemi. Podélné vychylování paprsku je dáno pohybem letadla. [12]

Skenery, které se v leteckých skenovacích systémech využívají, se odlišují zejména svojí konstrukcí vychylovací jednotky. Skenery tedy můžeme rozdělit na skenery s rotačním zrcadlem, skenery s oscilujícím zrcadlem, skenery se svazkem optických vláken a eliptické skenery. Základní rozdíl mezi těmito skenery je stopa, která je díky rozdílné technologii vytvářena. Grafické znázornění stopy při použití různých skenerů je na obrázku č. 5.



Obrázek 5: Stopy jednotlivých druhů skenerů [12]

V prvním případě zrcadlo rotuje neměnnou rychlostí (obr. č. 5 a). Poloha zrcadla je buď zjišťována úhlovým senzorem, nebo přímo otáčkami motoru. Výhodou této varianty je poměrně malá chyba při měření úhlu náklonu zrcadla, ale nevýhoda spočívá ve velkém časovém intervalu, kdy je paprsek odrážen mimo zorné pole.

Pilovité uspořádání bodů druhého typu zrcadla je znázorněno na obrázku č. 5 b a je dáno použitím oscilujícího zrcadla. Výhoda spočívá v tom, že paprsek je směřován vždy k povrchu, je tedy kontinuální. Mechanická část, která souží k vychylování zrcadla pod úhlem má vysoká torzní napětí, které je vytvářeno zpomalováním a zrychlováním otáčejícího se zrcadla na okrajích zorného pole.

Třetím typem skenerů jsou skenery se svazkem optických vláken (obr. č. 5 c). Hlavní výhodou je potlačení pohyblivých částí systémů, protože je zde použito pouze malé zrcadlo, které směřuje paprsek do svazku optických vláken. Nevýhodou je velmi malý úhel zorného pole a pevný počet bodů v příčném směru včetně úhlové vzdálenosti.

Eliptický skener využívá soustavu dvou zrcadel, které vychylují paprsek do elips (obr. č. 5 d). Výhodou je, že paprsek, který opisuje, projde daným místem dvakrát, takže pokud daný bod nestihl být změřen, může být změřen v druhém pokusu. To samozřejmě zvyšuje přesnost naměřených bodů. Nevýhodou je, že mechanismus, který zrcadlem otáčí je poměrně složitý a určení aktuálního pohybu zrcadla a úhlu náklonu je tím pádem také komplikovanější. [12]

### 2.2.2.3 Kontrolní jednotka

Kontrolní jednotka koordinuje spolupráci mezi skenerem a laserovou jednotkou. Obsahuje v sobě vnitřní hodiny, které se pravidelně pomocí PPS (puls per second) synchronizují s hodinami, které v sobě má GPS. Všechna data, která jsou naměřena, což je úhel a délka, jsou pak s těmito hodinami provázány.

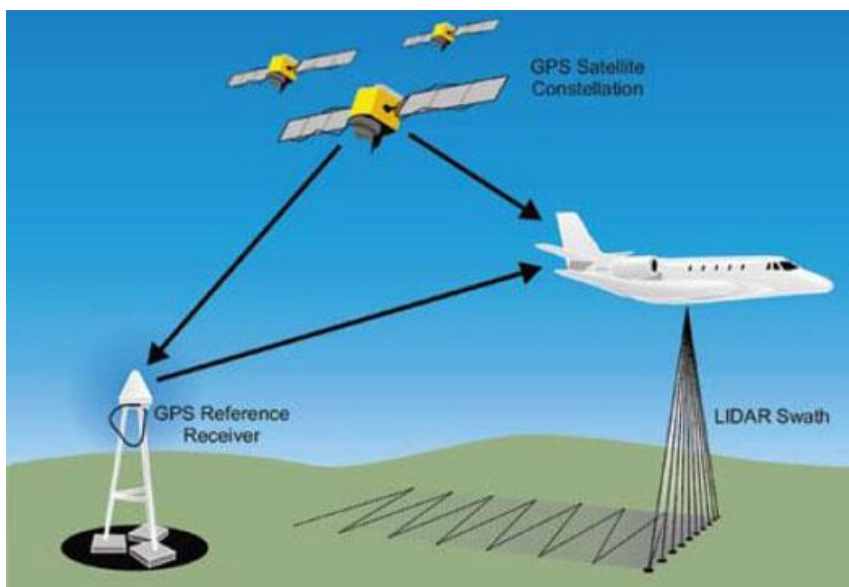
### 2.2.2.4 Navigační jednotka

Navigační jednotka je v podstatě soustava několika gyroskopů a akcelerometrů. Ty pracují na principu setrvačnosti a snaží se rotujících těles udržovat svoji osu rotace vzhledem k zemské ose. Tyto gyroskopy dokáží velmi přesně určovat náklony vzhledem k ose (tížnici). Akcelerometry slouží k měření zrychlení. Obě tato mechanická zařízení jsou používána v leteckých palubních přístrojích některých typů letounů. [13]

Měření polohy pomocí gyroskopů a akcelerometrů je velmi přesné, avšak projevují se zde mírné systematické chyby, které pohybem letadla postupně nabývají svých hodnot. Aby hodnoty těchto chyb nepřekročily povolené hranice je potřeba systém doplnit ještě o globální navigační systém – GPS.

### 2.2.2.5 GPS

Nejlepší a nejpřesnější metodou určování polohy pomocí GPS je soustava několika přijímačů s jednou referenční stanicí. Na letadle je umístěno několik stanic, zpravidla tři, které dokáží vypočítávat polohu letadla včetně úhlu náklonu různými směry. Aby tato soustava byla ještě přesnější, je systém obohacen o jeden referenční bod, vysílač GPS, který je na místě s předem stanovenými GPS souřadnicemi. Tímto způsobem je pak upřesňována poloha stanic na letadle. Na obrázku č. 6 je ukázáno, jak takové rozmístění GPS stanic funguje v praxi. Takovýmto způsobem byl například mezi lety 2001 a 2004 postaven most přes francouzské údolí a řeku Tarn u města Millau. Most byl na předem připravené pilíře postupně vysunován a vzhledem k velké vzdálenosti výsunu musela být během celého procesu zajištěna velmi přesná poloha vysouvaných částí. [12] [14]



Obrázek 6: Schéma rozmístění GPS stanic [12]

### 2.2.3 Využívání leteckého ALS v praxi

Letecké laserové skenování se do praxe v České republice začalo dostávat teprve před několika lety. Díky využívání leteckých skenovacích systémů založených na laserové technologii je možné provádět velmi podrobný sběr dat při vytváření digitálního 3D obrazu povrchů či objektů na které je laser mířen. Při vytváření modelu oblasti, která je pod laserem, můžeme model rozdělit na digitální model reliéfu (DMR) a digitální model terénu (DMT). Pokud je systém využíván například pro měření výšky lesního porostu, využívá se DMR, protože ten vyhodnocuje všechny odrazy paprsku. Pokud je systém využíván pro modelaci terénu, který je pod lesním porostem, využívá se DMT, protože při tomto způsobu modelace reliéfu je množství odrazů odfiltrováno a počítá se pouze s těmi posledními, které jsou nejbližší zemskému povrchu. [15]

Letecké laserové skenování se tedy dá využít pro mapování lesního porostu, ale také například pro mapování průběhu elektrického napětí, kde po určité úpravě dat lze získat jak pozice a výšku jednotlivých stožárů, tak i přesné vedení elektrického vedení. Mezi další využití, které se v praxi běžně provádí je 3D modelace měst, při které lze velmi přesně získat model celého města – jak zástavby, tak samotného terénu.

Laser je světelný paprsek, který proniká i vodou. Voda má jiné fyzikální vlastnosti než vzduch. V první řadě má větší hustotu, dále ve vodě platí jiná rychlost šíření světla, a na tom závislý index lomu. Proto pokud se provádí laserové skenování povrchu pod vodou je potřeba



použít jiné typy lidarů než u skenování ve vzduchu. Typickým příkladem využití skenování pod vodou je modelace reliéfu mořského dna při pobřeží, nebo modelování tvarů rybníků a přehrad. Protože s většími hloubkami dochází k útlumu odrazu laserového paprsku, není vhodné tento systém používat pro skenování mořského dna ve větších hloubkách.

#### **2.2.4 Možnosti implantace ALS v HEMS**

Na začátku kapitoly č. 2.1 byla popisovaná problematika zásahu letecký záchraných složek v noci. Tomuto problému by mohl do značné míry pomoci letecké laserové skenování, kterému byla věnována celá kapitola č. 2.2.

Z dostupných informací, které ve své publikaci zveřejňuje Ing. Dolanský, lze vyvodit závěr, že letecké laserové skenování je vhodným pomocníkem pro operace HEMS v noci. Skener, který nemá větší velikost než 1x1x1 m by mohl být umístěn ze spodu na trupu vrtulníku. V kapitole č. 2.2.2 jsou popisovány všechny nezbytné součásti systému. Nepostradatelnou součástí celého systému je referenční stanice GPS vysílače. Ta slouží pro přesné vyhodnocení polohy laserového zařízení. Toto zařízení by muselo být instalováno v daných okruzích např. na výškových budovách v závislosti na výkonu GPS vysílače. Zde nastává problém s pracností implementace a s tím spojenými finančními náklady.

Na palubě vrtulníku je nutná přítomnost vysoce výkonného počítače pro okamžité zpracování naměřených dat a vytváření modelu reliéfu. S tím je spojeny nutný výstup na LCD monitor, kde bude pilotovi zobrazován aktuální model reliéfu pod vrtulníkem.

Je nutné podotknout, že laser skenuje terén pod vrtulníkem, nikoli před ním. Z toho lze usoudit, že systém laserového skenování povrchu není možné použít pro modelaci reliéfu během cesty k zásahu. Kdyby byl laser natočen o úhel, aby zabíral plochu před vrtulníkem, nikoli bezprostředně pod ním, mohlo by to částečně celý proces vykreslení terénu urychlit.

Systém je tedy nejvíce použitelný pro vyhledávání daného místa přistání, kdy pilot zavěsí vrtulník do vzduchu, popřípadě letí nad danou oblastí menší rychlostí a „oskenuje“ si terén pod ním. V závislosti na vytvořeném modelu se může rozhodnout, zda na místě přistane či ne. Výhodou tohoto zařízení je možnost odhadnutí typů oskenovaných povrchů. Každý typ povrchu z důvodu jiné odrazivosti materiálu, kterým je tvořen, by byl vybarven na promítaném

LCD display jinou barvou. Pilot by tedy dopředu věděl, že louka, na kterou se chystá dosednout, je podmáčená<sup>1</sup>, a tedy pro přistání nevhodná.

Nevýhodou tohoto zařízení je nepoužitelnost za nevhodných meteorologických podmínek. Laserový paprsek je velmi citlivý na aktuální podmínky v atmosféře. Také z faktu, že záření, které je laserem vytvářeno, je velmi dobře pohlcováno vodou, je patrné, že použití laseru nebude vhodné za deště či sněžení. Pomocí filtračních metod dat lze sice tuto disfunkci značně opravit, ale díky možným chybám a nepřesnostem ve výsledném modelu se nedoporučuje laserový systém za těchto podmínek používat.

Zda tento systém lze nebo nelze použít a za jakých konkrétních podmínek, včetně detailního popisu zařízení, je předmětem kapitoly č. **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.** kde je navržen systém, který by mohl problémy zásahů HEMS řešit.

## 2.3 Termokamery

Termokamery jsou technická zařízení, která slouží k bezdotykovému měření teplot. Samotný vynález termokamery není pro lidstvo žádnou novinkou. Aby mohli být termokamery a noktovizory (více o noktovizorech v kapitole č. 2.4) vůbec vynalezeny, muselo lidstvo učinit několik zásadních fyzikálních objevů, na kterých se podíleli nejvýznamnější vědci v historii lidstva. V příloze A je popsána historie posloupnosti fyzikálních objevů.

### 2.3.1 Fyzikální princip bezdotykového měření teploty

Veškeré níže popisované fyzikální principy jsou všeobecně známé a lze je vyhledat napříč českou i mezinárodní literaturou. V následujících odstavcích nejsou uvedené přesné definice fyzikálních stavů a nejsou zde uvedené ani postupy a odvození vztahů, protože to není předmětem této práce.

#### 2.3.1.1 Teplota a teplo

Termokamery pracují za pomoci infračervené termografie. Ta má za hlavní cíl zkoumat rozložení teplotních polí na povrchu těles, což úzce souvisí s pojmy teplota a teplo.

---

<sup>1</sup> Voda z fyzikálního hlediska velmi dobře pohlcuje infračervené záření, tudíž skener podle intenzity odraženého paprsku dokáže určit, že v dané oblasti se nachází zvýšené množství vody.

Teplota je definovaná jako míra tepelného stavu tělesa nebo látky. K výměně tepla dochází v případě, že v okolí jedné látky se nachází druhá s odlišnou teplotou. Velikost teploty vyjadřují stupnice. V praxi mezi nejpoužívanější stupnice patří Kelvinova, Celsiova, Rankinova a Fahrenheitova. Po zkoumání termografie je právě hlavním stavebním kamenem znalost Kelvinovi stupnice, která určuje termodynamickou teplotu. Základním bodem Kelvinovy stupnice je znalost trojného stavu vody, která je určena na 273,15 K. Toto je stav, kdy voda dosahuje tří možných skupenství najednou, tedy ledu, vody a nasycené páry. Dalším důležitým bodem je stav látky při 0 K. Toto je stav nazývaný absolutní nula, kdy dochází k zastavení tepelných pohybů částic v látkách, a je to i zároveň bod, kdy látky nejsou schopni emitovat infračervené záření, o kterém je zmínka v následující kapitole. [16]

Teplo je vlastně vnitřní energie látky (za podmínek izolovanosti soustavy). Ta je dána součtem kinetické energie pohybujících se částic uvnitř látky a potenciální energie částic, která vychází z jejich polohy a vzájemného působení. Podle kinetické teorie látek potom vychází, že velikost vnitřní energie je rovna velikosti termodynamické teplotě.

Přenos tepla může být způsobem třemi způsoby. Tepelná výměna vedením (kondukcí) nebo prouděním (konvekcí) a poslední možností, která se uplatňuje v termokamerách je záření (radiací). Při této formě přenosu tepla dochází k vyzařování elektromagnetického záření. Tento druh přenosu tepla je možný i ve vakuu. Radiaci lze výrazněji pozorovat při vysokých teplotách. [16]

### 2.3.1.2 Elektromagnetické záření

Jak bylo již v kapitole Historie fyzikálních objevů zmíněno, tak na elektromagnetické záření lze nahlížet jak z pohledu vlnové charakteristiky, tak pomocí Planckovy kvantové teorie. Z Planckovy teorie vychází, že k přenosu tepelné energie dochází diskrétně a že celková energie je násobkem energie kvant, jejichž velikost je dána frekvencí (vlnovou délkou) elektromagnetického záření. Tyto vlnové délky elektromagnetického záření se podle podobných vlastností dělí na skupiny neboli pásma. Infračervená termografie pracuje v pásmu infračerveného záření, protože toto záření vyzařují v závislosti na své teplotě prakticky všechna tělesa, s výjimkou těles s absolutní nulovou teplotou. Pásmo infračerveného záření lze nalézt v rozsahu vlnových délek 0,75  $\mu\text{m}$  – 1 mm. [16] [17]

Termografické systémy nepracují s celou oblastí infračerveného záření, ale pouze s určitou částí vlnových délek, které můžeme rozdělit do tří skupin.

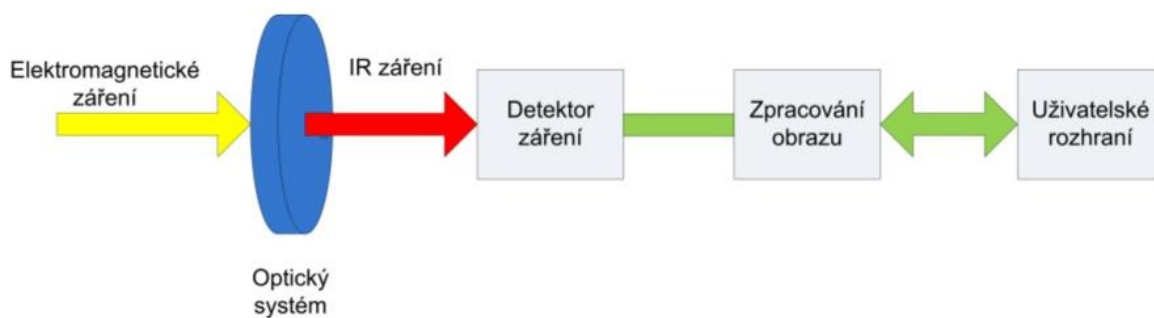
- Blízké infračervené záření – NIR (0,9 – 2,5)  $\mu\text{m}$ ,
- Krátkovlnné infračervené záření – SW (2,5 – 5)  $\mu\text{m}$ ,
- Dlouhovlnné infračervené záření – LW (7 – 14)  $\mu\text{m}$ .

To v jakém daný termografický systém pracuje pásmu, je dáno především teplotou. Systémy, které se zabývají měřením nižších teplot a mapují rozložení teplotních polí chladnějších těles, využívají spíše oblast dlouhovlnných oblastí vlnových délek infračerveného záření (LW) a systémy pro mapování vyšších teplotních závislostí zase krátkovlnné infračervené záření (SW). [16] [17]

### **2.3.2 Konstrukce kamery**

Pro kvalitní zhodnocení funkce termokamery je nutné znát fyzikální zákony, na kterých je princip kamer postaven, a je také nutné znát konstrukci samotných kamer. Proto je v následujícím odstavci popsány jednotlivé nejdůležitější prvky termokamery spolu s jejich funkcemi v celém systému.

Konstrukce kamery je velmi podobná konstrukci například digitálního fotoaparátu nebo samotné kamery. Termokamera má stejně jako fotoaparát nebo digitální kamery objektiv, kterým do termokamery vstupují dopadající infračervené záření. To je následně přenášeno na detektor, kde probíhá měření intenzity tohoto záření. Výsledek měření je pak několika dalšími prvky kamery digitalizován a uživateli je přes další čočku zobrazován obraz. Výsledný obraz se nazývá termogram. Stejně jako digitální fotografie pořízená digitální kamerou, tak i obraz pořízený termokamerou se skládá z pixelů. Rozlišení pro termokamery je například 320x240 pixelů. Rozlišení udává, kolik bodů lze v ose X (první číslo) zobrazit na obrazovce a kolik řádků v ose Y. Toto rozlišení odpovídá poměru stran, který je roven 4:3, což je standardní poměr například starých CRT monitorů či televizí. Podle potřeby zvětšovat a detailovat výsledný obraz mají kamery i vyšší rozlišení než jen 320x240 pixelů. Jednotlivé body jsou pak zbarveny dle aktuální teploty, což vzhledem k počtu bodů na velikost zobrazovací jednotky kamery vytváří souvislý barevný obraz. [16] [17]



Obrázek 7: Blokové schéma konstrukce termokamery [18]

Převážná většina kamer má optiku vyrobenou z germánia. Slovo optika představuje vstupní spojnou čočku, jejíž fyzikální optické vlastnosti jsou ale stejné jako u skleněné čočky digitálního fotoaparátu. Čočka je vyráběna z germánia z filtračních důvodů. Čočka zastává funkci filtru, protože čočka z germánia do kamery propouští jen část elektromagnetického záření, se kterým pracuje. Kvůli odrazům záření od čočky je na čočce nanesena antireflexní vrsta, která zvyšuje propustnost čočky až o 90%. [17]

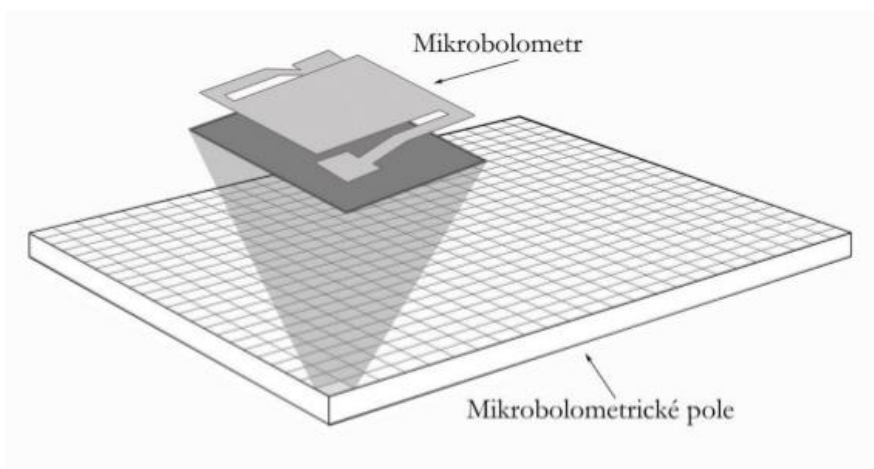
### 2.3.2.1 Detektor záření

Detektor infračerveného záření převádí infračervené záření, jež projde soustavou na elektrický signál, se kterým pak pracují další elektronické prvky systému a převádějí elektrický signál na termografický obraz, jaký může uživatel pozorovat.

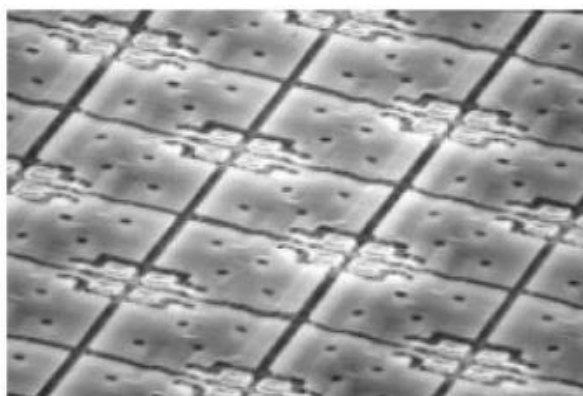
Detektory lze rozlišit do dvou skupin – tepelné a fotonové detektory. Základními rozdílnými vlastnostmi jsou citlivost, ale také pořizovací cena. V drtivé většině termokamer jsou používány právě tepelné detektory, které jsou cenově přijatelnější. Fotonové detektory jsou pro svoji citlivost využívány k výzkumným účelům. Odlišná je také váha termokamery s fotonovým a tepelným detektorem. Fotonový detektor totiž vyžaduje chlazení, což podstatně zvyšuje váhu celého zařízení.

Tepelné detektory jsou založeny na principu variability elektrických vlastností na základě intenzity dopadajícího záření. Většina detektorů obsahuje tzv. mikrobolometrické pole. Mikrobolometrické pole se skládá z několika malých bolometrických článků v řadě. Schéma mikrobolometru je znázorněno na obrázku č. 8. Na obrázku č. 9 je pak detailní fotografie mikrobolometrického článku. Při dopadajícím záření mění pole svůj elektrický odpor v závislosti na intenzitě dopadajícího infračerveného záření. Proměnné hodnoty získané

mikrobolemetrickým polem jsou převedeny na elektrický signál, se kterým systém dále pracuje.



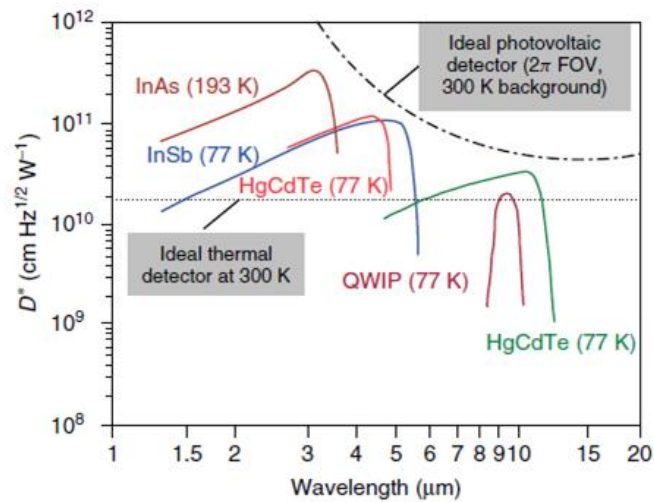
Obrázek 8: Schéma mikrobolometrického článku [18]



Obrázek 9: Detailní fotografie mikrobolometrického článku [18]

V odstavci výše bylo zmíněno, že fotonové detektory se vyznačují vysokou citlivostí. S vysokou citlivostí je i spojena vyšší rozlišení obrazu a detailnější vykreslení. Je nutné ale zmínit, že fotonové detektory se liší slabou spektrální citlivostí. Termínem spektrální citlivost je míněna schopnost detekce záření v určitých vlnových délkách. Fotonové detektory jsou tedy v tomto ohledu slabší, to znamená, že dokáží detekovat záření v úzkém pásmu vlnových délek – jsou tedy úzkopásmové. Zatímco tepelné (širokopásmové) detektory dokáží pracovat s větším rozsahem vlnových délek. Tato vlastnost je u fotonových detektorů také dána materiály, ze kterých jsou zhotoveny. Na obrázku č. 10 je názorně vidět spektrální citlivost

jednotlivých fotonových typů (například InSb, InAs, QWIP), zatímco vodorovná čára určuje spektrální citlivost tepelného detektoru. [17]



Obrázek 10: Spektrální citlivost termokamery [17]

### 2.3.2.2 Prezentace obrazu

Obraz, který je prezentován uživateli, musí být určitým způsobem zpracován. Každá moderní termokamera má v sobě zabudovaný mikroprocesor, který určitými algoritmy upravuje výstupní obraz. Spolu s dalšími obvody v kameře vylepšují tyto prvky například autokalibraci či korekci obrazu. Výstupem kvalitní termokamery by měl být jasný a ostrý obraz. Na obrázku níže (č. 11) je znázorněno, jaký obraz by uživatel dostal při pozorování algoritmy neupravený obraz a obraz upravený. [16] [17]



Obrázek 11: Porovnání obrazů termokamery [17]

### 2.3.3 Praktické využití

Termografické znázornění obrazu bylo vyvíjeno pro vojenské účely. Dá se tedy předpokládat, že nejdokonalejší systémy pro zobrazování teplotního rozložení polí, budou neustále zdokonalovány ve vojenských laboratořích.

Tento systém v podstatě umožňuje díky infračervenému záření pohlížet na objekty, tak jak je pro lidské oko nepředstavitelné. Pohlížet na objekty v barevné škále, která určuje jejich teplotu. Tato možnost v sobě skrývá velký potenciál, který dosahuje maximálních hodnot v řadě vědeckých, ale i nevědeckých oborech. Velmi velkou oblibu si termokamery získaly ve stavitelství. Pomocí termokamer lze nahlížet na místnosti nebo celé domy a odhalovat teplotní úniky. Při nahlížení například na bytovou stavbu postavenou v polovině minulého století lze předpokládat jisté stavební nedostatky. Jednou z nich je právě i řešení zateplení. Statik při prohlídnutí takového domu termokamerou uvidí modré zdi, které značí menší teplotu – což je vzhledem k materiálu a tloušťce zdi normální ale uvidí také například, že ve spojení zdi a střechy je oblast červené barvy. To značení určitý únik tepla právě těmito místy. Na podobném principu lze také odhalovat podmáčené části domů, které pouhým okem nejsou rozeznatelné. [16]

### **2.3.4 Využití termokamer pro LZS**

Termokamery vzhledem k principu, na kterém pracují, a který je popsán v kapitole č. 2.3.1, by mohli umožnit provádění leteckých záchranných prací za IFR podmínek. Je zde jako v předchozím případě několik výhod a nevýhod spojených s implementací tohoto zařízení.

První výhodou termokamer je právě její rozsah fungování. Tím, že termokamera pracuje s infračerveným zářením, které je vyzařováno všemi tělesy, které mají teplotu větší než absolutní nula<sup>2</sup>, což je laboratorní teplota na kterou v praxi nelze narazit, nevznikají při používání termokamer situace, kdy by systém nemohl být použit. Toto vyzařování také není závislé na okolním světle, takže nedochází k situacím, kdy je čočka kamery přesevětlená nebo naopak intenzita okolního světla má nedostačující charakter jako v případě noktovizoru pracující na bázi zesilování zbytkového světla fotonásobiči.

Termokamery používané pro letecké účely nejsou novinkou. Používají se hlavně v noci a za špatných meteorologických podmínek. Společnost FLIR, která je monopolem systémem ve výrobě těchto kamer se zabývá vývojem právě kamer i pro použití ve vzduchu či na moři. Tyto kamery mají specifický charakter a na první pohled se od těch ručních termokamer, které se používají převážně k laboratorním účelům nebo k odhalování úniku tepla staveb, liší obrazem,

---

<sup>2</sup> Třetího termodynamický zákon neboli Nernstův teorém definuje hodnotu absolutní nuly jako čistě teoretický jev, který nelze navodit. Lze se však této hodnotě přiblížit v tisícinách Kelvina (2003 naměřeno 0, 000 000 000 45K)



který je uživateli zprostředkováván. Obraz těchto kamer je v odstínech šedé barvy, což pomáhá k lepšímu grafickému vykreslení terénu. Jednotlivé odstíny odliší jednotlivé předměty nebo skupiny předmětů, což pilotovi dá přesný obraz krajiny, kterou kamera snímá.

Princip zobrazování pomocí infračerveného záření, které objekty vyzařují, v sobě skrývá i druhou výhodu. Teplota lidského těla a těl ostatních teplokrevných živočichů je v drtivé většině případů vyšší než teplota okolních těles (půda, kameny, stromy atd.). Z toho důvodu se tyto tělesa jeví na termogramu nejzářivější barvou. Toto pravidlo se uplatní obzvláště v noci, kdy jsou všechny povrchy chladnější, v dešti, a samozřejmě největší kontrast bude viděn v zimním období. Tato nepřímá funkce termokamery dává velkou výhodu, pokud vrtulník neletí na konkrétní místo, ale na určitou oblast, kde je potřeba zraněného nejprve vyhledat. V praxi se tento systém používá na policejním vrtulníku v Praze, kde slouží k vyhledávání pohřešovaných osob.

Kamera pro snímání infrazáření dosahuje vzhledem ke své konstrukci větších rozměrů než trubice nočního vidění. Proto je v současné době nemožné tyto systémy aplikovat přímo na helmu pilota. To staví tento systém do mírné nevýhody, protože kamera opět bude zabírat pouze určitý zorný úhel.

S tím je spojena další věc, kterou je nutné tomuto systému vytknout. Výsledný obraz snímáný termokamerou je zapotřebí promítat na přídavném LCD display. To může v některých případech, kdy viditelnost skrze hledí kokpitu nebude nulová vytvořit zbytečnou desorientaci způsobenou měnící se koncentrací pohledu pilota na display a ven z kabiny.

## **2.4 Noční vidění**

Druhou skupinou přístrojů, které umožňují rozeznávání objektů za tmy jsou noktovizory, neboli NVD z anglického Night Vision Devices. První typy těchto přístrojů byly stvořeny pro armádu Spojených států amerických a využívány v dobách druhé světové války a války v Korejském zálivu.

Noktovizory pracují na jiném principu než výše popisované termokamery. Jejich hlavním rozeznávacím znamením od termokamer je, že pracují na principu zesilování vnějších zbytkových zdrojů světla, kterým může být například svit měsíce nebo hvězd. Proto za

naprosté tmy například uvnitř jeskyň či temných sklepů není příliš praktické noktovizory používat. Zařízení může být obohaceno o přídavný zdroj infračerveného záření, které pak nahrazuje zdroj vnějšího světla.

## 2.4.1 Princip systému

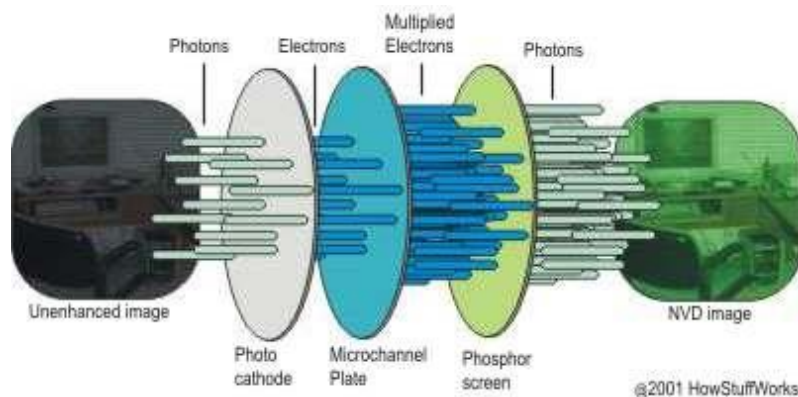
### 2.4.1.1 Obecný princip

Zesilovač jasu obrazu se skládá z konvekční (spojné) čočky, neboli objektivu, který zachycuje okolní světlo a světlo blízké infračervenému záření. Čočkou zesílené a nahromaděné světlo je postupováno trubicí obrazového zesilovače k dalším částem tohoto zařízení. Ve většině přístrojů je zdrojem napětí pro obrazový zesilovač akumulátor nebo dvě AA baterie. Napětí na výstupu zesilovací trubice je velmi vysoké, přibližně 5 000 voltů. Součástí trubice obrazového zesilovače je fotokatoda. Ta je použita na převedení fotonů světla na elektrony. [19]

Původní počet atomů je znásoben pomocí mikrokanálové destičky (MCP – MicroChannel Plate). Mikrokanálová destička je malý skleněný disk, který je pokryt několika miliony mikroskopických děr – mikrokanálků. MCP je umístěna ve vakuu a na obou stranách disku jsou umístěny kovové elektrody. Každý kanálek je asi 45x delší než širší a funguje jako elektronový multiplikátor. Když elektrony z fotokatody zasáhnou první elektrodu mikrokanálové destičky, jsou již zmiňovaným napětím 5 000 V urychlovány do skleněných kanálků směrem k druhé elektrodě. Elektrony, které procházejí kanálky, excitují atomy na stěně kanálku a způsobují uvolnění elektronů z atomů na stěně kanálku. Tyto elektrony se pohybují kanálkem a excitují další atomy a postupně vytvářejí kaskádovitý emisní proces, při kterém se z původního množství dostupných elektronů stane tisícinásobně větší množství. Velmi podstatná je při celém procesu orientace kanálků. Ty jsou v destičce vybudovány pod mírným úhlem 5-8 stupňů, což má pozitivní vliv na tvorbu elektronových kolizí a na proud elektronů směrem k výstupní straně trubice. [19]

Na výstupní straně trubice se elektrony střetávají s obrazovkou potaženou fosforem. Protože elektrony zůstávají ve stejném zarovnání jako původní fotony, které vstoupily do objektivu trubice, může vzniknout přesný obraz objektů, které ve tmě pozorujeme. Energie elektronů dopadajících na obrazovku umožňuje přechod luminoforů na obrazovce do excitovaného stavu a uvolnění fotonů. Tyto luminofory vytvoří zelený obraz, který pak může

být skrze čočku pozorován, zvětšován popřípadě ostřen. Zařízení se dá také připojit na monitor a celou projekci zeleného obrazu pozorovat skrze obrazovku či LCD display. Obrázek č. 12 znázorňuje funkci násobení fotonů a převod na obraz. [19]



Obrázek 12: Schéma složení nočního vidění [19]

## 2.4.2 Využitelnost

Systém nočního vidění založený na principu zesilování zbytkového světla lze rozdělit do 3 kategorií. Dalekohledy jsou monokulární. Jeden kus zařízení je používán jedním okem. Zatímco brýle na noční vidění jsou binokulární, kde jeden kus zařízení rozkládá obraz do dvou pozorovacích čoček. Brýle nočního vidění jsou většinou nošeny na helmě nebo pomocí speciálního postroje a jejich použití je velmi praktické při dlouhotrvajícím pohybu nočním prostředím. Jestliže je potřeba nočního vidění na místech, které jsou trvale pozorovány (budovy, dvory) nebo jsou umístěny na jednom místě, například na vrtulníku, používají se kamery. Kamery potom zobrazují obraz na obrazovkách nebo na monitorech v kokpitu.

Novější technologie, které pomohly ke vzniku nových generací<sup>3</sup> těchto zařízení, pomohly i k dostupnosti zařízení pro civilní obyvatelstvo. Díky levnější výrobě a novým materiálům než před padesáti lety jsou dnes noktovizory první a druhé generace využívány v mnoha jiných lidských činnostech. Hojně jsou využívány myslivci, kde ovšem platí speciální právní předpisy, které vychází z §45 Zákona o myslivosti, pro použití noktovizorů při lovu. Starší generace noktovizorů, díky jejich dostupnosti a použitelnosti, jsou využívány i jako skryté kamery pro snímání v noci, dalekohledy s noktovizory používají detektivové při dohledu osob

<sup>3</sup> Pojem generace je popsán a vysvětlen v příloze B – Generace noktovizorů, zařízení pro zesilování zbytkového světla. V příloze je také popsána historie, jak noktovizory vznikaly a jak vznikaly i jejich generace, které se rozdělují do 4 tříd.

nebo mohou noktovizory sloužit jako pomůcka bezpečnostních služeb pro kontrolu objektů v noci.

### **2.4.3 Možnosti použití NVD v HEMS**

Noktovizory jsou zařízení, které zesilují zbytkové světlo a nejsou vhodné k použití do temných míst bez přístupu zbytkového světla. V případě použití těchto zařízení v letecké záchranné službě tento fakt nijak neomezuje, protože vrtulník se v místech jako jsou lesy nebo místa bez přístupů světla, bude jen těžko pohybovat.

V případě HEMS je předpoklad použití brýlových noktovizorů. To znamená, že zařízení je pevně umístěno na helmě s otočným kloubem, kdy v případě potřeby pilot pouze otočí zařízení a natočí si tak okuláry, ve kterých je zesvětlený obraz pozorován, před oči. Tento systém má velikou výhodu. Ta největší výhoda spočívá v manipulaci. Jelikož je systém napájen bateriemi, které jsou součástí zařízení je v podstatě celé zařízení umístěno pouze na hlavě pilota či kopilota. Výhodou tedy je, že zařízení není potřeba žádnými kabely spojit s ostatními technickými prvky v kokpitu. Velmi výhodná je, obzvláště pro pilota, který musí mít neustálý vizuální kontakt s okolním terénem, absence další obrazovky, kde by byl zobrazen obraz vystupující z noktovizoru. Pilotovi je tedy zobrazován přesně ten obraz, který natočením hlavy může aktuálně pozorovat.

Druhou možností použití noktovizorů v leteckých záchranných vrtulnících je pomocí kamer pro noční vidění. Výhodou této varianty by byla možná instalace silnějších přístrojů (které jsou větší a těžší), které by nesl samotný vrtulník. Nevýhodou je nutnost instalace další obrazovky. To je pro pilota velmi nepraktické, protože při manipulaci s vrtulníkem, obzvláště v malých rychlostech, musí mít přehled kolem vrtulníku a nemůže se soustředit pouze na jeden zorný úhel, který je dán natočením noktovizoru. Noktovizor instalovaný na otočném zařízení, by získal obohacení v podobě proměnného zorného úhlu, ale ovládání dalšího systému by bylo v některých případech nezvládnutelné.

Systém nočního vidění na této bázi není schopný vidět skrze mlhu či kouř. To by mohlo poměrně ztížit manipulaci s vrtulníkem v případě zásahů s únikem kouře nebo vodní páry. V případě zhoršených meteorologických podmínek, kdy je zásah prováděn v silné mlze je tento systém také nepoužitelný. Světlo se na mikrokapičkách vody odráží a je v mlze rozkládáno.

V případech kdy je zásah prováděn v dešti, je systém poměrně dobře použitelný, protože zařízení je umístěno na helmě pilota uvnitř kokpitu. Voda se z důvodu proudění vzduchu pod vrtulí na čelní sklo pilota nedostane, takže kapky vody nijak nerozmazávají nebo nastiňují obraz.

### 3 Návrh možností

Následující kapitola zhodnocuje systémy, které byly popsány v kapitole č. 2. V této kapitole lze získat ucelený pohled na hodnocení jednotlivých systémů. Systémy jsou zde porovnány a na základě kritérií, které vycházejí z funkcí těchto systémů, seřazeny dle nabytého hodnocení.

#### 3.1 Kritéria

Prvním krokem ke správnému zhodnocení aplikace systémů je vytvoření určitých kritérií, podle kterých budou jednotlivé systémy porovnávány. V této práci jsou hodnoceny celkem tři systémy, které by mohly umožnit rozšíření zásahů letecké záchranné služby i mimo VMC. Hodnocení jednoho daného kritéria je vytvořeno udělením známky 1 – 3, kde známka hodnoty 1 odpovídá nejlepšímu možnému výsledku hodnocení a známka 3 nejhoršímu. Pokud jsou u dvou systémů k danému kritériu uděleny stejné známky, představuje hodnocení na stejné úrovni. Konečný výsledek je dán součtem těchto známek, kdy nejlepší systém je takový systém, který ze všech kritérií získá známku nejnižší.

Určení kritérií ve své podstatě vychází z jednotlivých funkcí systému. Součástí hodnocení dle kritérií je i posouzení jaké daný systém má výhody a nevýhody. Níže uvedený seznam uvádí, která kritéria v následujících kapitolách budeme hodnotit.

Kritéria na základě funkcí systémů:

- Odezva systému (zpoždění mezi snímáním obrazu a zobrazením uživateli)
- Náročnost instalace (tento pojem hodnotí, kolik prvků systém obsahuje a jaká je náročnost na přípravu těchto prvků)
- Obsluha systému (jakým způsobem je ovládání systému prováděno, a jak je náročné)
- Kvalita obrazu (jak kvalitní obraz dokáže systém nabídnout v porovnání s ostatními systémy a prvky, které mají na kvalitu vliv)
- Cena (přibližná pořizovací cena včetně instalace)
- Údržba (kroky, které jsou potřeba udržovat pro správnou funkci systému)

## 3.2 Hodnocení

Hodnocení systémů má zásadní vliv pro objektivnější rozhodování jaký systém z třech výše popisovaných, je v tomto případě vhodnější využít. Kompletní hodnocení, dle jasně daných kritérií doplňuje tabulka, která přehledně uvádí získané body v určitém kritériu.

### 3.2.1 Letecké laserové skenování – hodnocení

Systémy laserového skenování mohou vytvářet velmi přesný prostorový model reliéfu. Lidar RIEGEL VP-1 je jeden z nejnovějších typů skenerů na trhu. Tento laserový skener je zkonstruován přímo pro použití na vrtulnících. Právě tento typ Lidaru je hodnocen v několika odstavcích níže a informace zde zveřejněné jsou převzaty z informačních a technických příruček výrobce k danému typu.

Odezva těchto systémů je větší než u termokamer nebo nočního vidění. Je to z důvodu, že tento systém se skládá z hardwarové a softwarové části. Hardware, který se skládá z částí, které jsou popsány v kapitole 2.2.2, sbírá a zaznamenává data, která zpracovává procesní jednotka (počítač). Pro prohlížení je zapotřebí další software, kterým lze již zpracovaná data prohlížet na LCD obrazovce ve 3D. S tím samozřejmě odezva systému souvisí, protože systém prochází přes několik procesů v softwarových částech, tudíž okamžité zobrazení v čase je s určitou odchylkou.

Výrobce uvádí, že instalace není složitá. Všechny skenovací prvky jsou uzavřeny v boxu zařízení, které je připojeno pouze třemi kabely – napájení, LAN, kabel GPS antény, což umožňuje velmi snadné sejmутí skeneru v případě letu VFR. Pokud by toto zařízení bylo využíváno přímo posádkou vrtulníku, musel by součástí výbavy kokpitu být také výkonný počítač, který by se staral o zpracování dat a tvorbu modelu reliéfu. Vzhledem k nutnosti instalace dalších hardwarových součástí na palubě vrtulníku je náročnost na instalaci nejvyšší.

Obsluha systému je ze všech tří systémů nejsložitější. Pilot či kopilot pouze zapíná/vypíná laserový skenovací systém a následně zpracování dat je díky softwaru automatické. Nutný je ovšem zásah uživatele v případě, že vytvořený model reliéfu bude chtít prohlížet z několika různých úhlů, přičemž taková situace při vyhledávání relevantního místa přistání nastane.

Je nutné zmínit, že laserové letecké skenování vytváří jiný typ obrazu než termokamery nebo noktovizory. V případě lidarů vzniká ze sesbíraných dat výškopisný model reliéfu, zatímco

termokamery či noktovizory určitým způsobem upravují obraz, který snímají. Proto není vhodné toto kritérium kvality obrazu srovnávat s ostatními systémy. Avšak dá se konstatovat, že kvalita obrazu závisí na kvalitě sběru dat, která je závislá na rychlosti letu a aktuálních podmínkách atmosféry.

Laserový systém pro skenování povrchu dosahuje včetně všech komponent ceny několika desítek milionů korun. Tento údaj představuje nejvyšší pořizovací náklady ze všech tří posuzovaných systémů. V neposlední řadě je nutno zmínit, že údržba na systém není nijak vysoká, avšak systém je nutné pravidelně kalibrovat výrobcem. I přes poměrně snadnou údržbu je systém v porovnání s termokamerami či noktovizory na údržbu nejnáročnější. Pro přesný sběr dat musí být součástí systému i vnější zdroj GPS signálu o známé poloze.

### **3.2.2 Termokamery – hodnocení**

Druhým hodnoceným systémem je termokamera. Termokamera v porovnání s leteckými lasery pracuje na naprosto odlišné technologii. Sbírá záření v infračervené oblasti emitované tělesy na základě jejich teploty. Jednodušší termokamery, tzv. ruční, mají čočku na sběr záření a v okamžitém čase poskytují obraz. Ten je ze sběrných prvků elektronicky převáděn a digitalizován, ale prodleva mezi nasnímáním a zobrazením je pro lidské oko u lepších termokamer v podstatě nepoznatelná. Obzvláště pro termokamery určené pro letecký průmysl, kde jakákoliv odezva systému je co nejvíce minimalizována, nelze poznat jakékoliv zpoždění obrazu. V případě levných ručních systémů, příručních termokamer, lze zpoždění pozorovat.

Implementace zařízení do vrtulníku letecké záchranné služby je podstatně jednodušší, než instalace leteckého skenovacího zařízení. Je to hlavně z důvodu, že termokamera nepotřebuje žádné další podpůrné zařízení pro kvalitní funkci systému, jako jsou inerciální navigační prvky, výkonné počítače či vnější kontroly v podobě referenční GPS stanice. Systém se skládá pouze z kamery, která je umístěna vně vrtulníku, datového a napájecího vedení a konečného výstupu obrazu formou LCD monitoru.

Velkou výhodou je obsluha tohoto zařízení. Vzhledem k tomu, že termokamera může pracovat za jakýchkoliv podmínek, a není náchylná např. na přesvětlení čočky, je možné mít během celého zásahu kameru v pohotovostním režimu a provoz je tak plně automatický. Pilotovi je prostřednictvím monitoru zprostředkováván obraz připravený termokamerou a



žádné další zásahy nejsou v případě obsluhy tohoto zařízení potřeba. Tento systém má s porovnávanými systémy nejnižší potřebu ovládání během letu.

Obraz, který termokamera zprostředkovává je digitální. Proto závisí z velké části na kvalitě samotné kamery a na technologii, kterou disponuje. Nicméně tento systém je znevýhodněn právě principem, na kterém pracuje. Systém vykreslí určité odstíny šedé barvy, v závislosti na teplotě jednotlivých objektů. Ze studia videí pořízených právě termokamerou lze konstatovat, že při určitých stavech, zejména ve stavu kdy dva rozdílné objekty budou mít podobnou intenzitu vyzařování, může docházet k jakémusi zkreslení obrazu. Jestliže termokamera určí teplotu stromového porostu a převede tento objekt do rastrového obrazu určitého odstínu šedé a následně určí stejnou nebo velmi podobnou teplotu pásu keřů před stromovým porostem, bude u těchto dvou objektů docházet ke splývání barevných odstínů a k nedostatečně kvalitnímu rozeznání obrysů jednotlivých objektů.

Na druhou stranu termokamery excelují v zobrazování skrze mlhu nebo vodní páru. Noktovizory totiž vodní páru vnímají jako neprůhlednou bariéru z důvodu, že ve vodní páře se světlo odráží a rozprostře se v celém oblaku. Noktovizor poté toto zbytkové světlo zesílí a vodní pára je v takovém případě neprůhledná.

### **3.2.3 Noční vidění – hodnocení**

Posledním hodnoceným zařízením je noční vidění pracující na principu zesilování zbytkového světla v atmosféře – noktovizory. U noktovizorů stejně jako u termokamer, lze pozorovat obraz, který nemá pro lidské oko rozeznatelné zpoždění. Při porovnávání obrazu nelze zaznamenat rozdíl při použití termokamery nebo noktovizoru.

Jak je uvedeno v odstavcích kapitoly č. 2.4.1, které se zabývají popisem noktovizoru, systém nočního vidění je umístěn v brýlích, které jsou umístěny na helmě pilota. Tím se zařízení jeví, vzhledem k náročnosti implementace, jako nejjednodušší. Brýle lze jednoduše připnout na helmu a v případě potřeby se pouze sklopí před oči pilota. S touto funkcí velmi úzce souvisí i velikost zorného pole pilota. V případě obou předchozích systémů, leteckého laserové skenování a termokamer, vzniká pevným umístěním na vrtulníku omezený úhel zorného pole systému. U laserů závisí na délce stopy paprsku letová výška a úhel, který je schopný mechanismus v zařízení vytvořit, a u termokamery záleží na čočce, která v ní je obsažena. U noktovizorů, kde v objektivu je taktéž čočka, je také určitý úhel zorného pole, ten

je ovšem proměnný, protože zorný úhel zařízení, které je připevněno k hlavě, je závislé na poloze hlavy pilota. Systém však není tak plně automatizován, jako v případě termokamery, protože pilot musí toto zařízení zapnout, zaostřit nebo v případě pohledu do přesvětlené oblasti vyklopit od očí nebo vypnout.

Velmi velkou výhodou je právě umístění zařízení na helmě pilota. Obě dvě posuzovaná zařízení výše musí mít přídatnou obrazovou jednotku. Bez implementace dalšího LCD displeje do palubní desky vrtulníku není možné obraz pozorovat.

Jak už bylo výše zmíněno, kvalita obrazu se mírně liší od termokamer a zásadním rozdílem od laserového skenování. Během laserového skenování dochází k modelaci výškopisného reliéfu<sup>4</sup>, nelze tedy kvalitativně srovnat obraz vytvořený leteckým skenerem s termokamerou nebo noktovizorem. Zkráceně řečeno, rozdíl mezi termokamerami a noktovizory nastává ve vykreslení některých detailů povrchu. Rozlišení detailů některých objektů může být vzhledem k použité technologii v nočním vidění lepší. Naopak zařízení pro noční vidění postrádají detekci lidských těl z důvodu vyšší teploty proti okolí.

Noktovizor je zařízení, které je z hlediska cenové relace nejdostupnější. To je dáno technologií, na které systém pracuje, na složitosti zpracování. Lze konstatovat, že noktovizory jsou nejjednodušším zařízením ze všech porovnávaných. Cena noktovizorů čtvrté generace určené pro civilní obyvatelstvo se pohybuje od 200 000 Kč.

Zařízení je složeno z fotokatod citlivé na světlo. Poslední generace noktovizorů je proti poškozování těchto fotokatod z důvodu přesvětlení, ochráněna, nicméně k nevratnému poškození v menší míře, dochází stále. Proto tyto zařízení mají vyšší nároky na údržbu systému než termokamery, protože je nutné fotokatody po určitém čase měnit, ale díky jednoduchosti celé technologie jsou nároky menší než u leteckých laserových skenerů.

---

<sup>4</sup> Výškopisný reliéf nelze porovnat s obrazem, který je vytvářen termokamerou a nočním viděním z důvodu zásadních odlišností charakteristiky vytvořeného obrazu.

### 3.2.4 Celkové hodnocení

Tabulka 5: Výsledek hodnocení systémů

Kritérium/Systém	Letecké laserové skenování	Termokamery	Noční vidění (noktovizor)
Odezva systému	3	1	1
Náročnost instalace	3	2	1
Obsluha systému	3	1	2
Kvalita obrazu	2	1	2
Cena	3	2	1
Údržba	3	1	2
<b>Souhrn</b>	<b>17</b>	<b>8</b>	<b>9</b>

### 3.3 Návrh systému

Ze všech dostupných informací, které se staly zdrojem pro hodnocení systému leteckého laserového skenování, termokamery a noktovizoru, byly dle předem přesně daných kritérií uděleny body. Výsledek vyhodnocení znázorňuje tabulka č. 5. Výše bodů, které byly jednotlivým systémům uděleny je odůvodněna v kapitolách č. 3.2.

Z uvedeného hodnocení získala nejméně bodů termokamera. Následující odstavce se věnují konkrétnímu typu kamery, která by mohla být implementována na vrtulníky letecké záchranné služby.

Existuje celá řada výrobců termokamer určených pro instalaci na letadlo nebo vrtulník. Jedna z největších firem zabývajících se konstrukcí termokamer ať pro účely osobní, vojenské, námořní či stavební je společnost FLIR. Důležitým vstupem pro tuto práci bylo interview s pilotem leteckého záchranného vrtulníku, Ing. Vratislavem Eliášem, který slouží na stanici LZS Hradec Králové. Dle jeho informací se v České republice snažil zahraniční výrobce Astronics MAX-VIZ prosadit instalaci termokamer na vrtulníky letecké záchranné služby. Proto jsou v následujících odstavcích porovnány dvě kamery, jedna od firmy FLIR a druhá od firmy MAX-VIZ.

Cílem této práce nebylo porovnávat ceny jednotlivých zařízení. Taková cena ani určit nelze, protože se odvíjí od konkrétní dodávky daného dodavatele. Ceny produktů tohoto typu výrobci na svých webových stránkách neuvádějí. Proto se v následujících odstavcích na cenu zařízení nehledí, i když v reálných podmínkách by to byl jeden z hlavních faktorů výběru typu kamery a výrobce. Nelze očekávat, že při případné implementaci termokamer na vrtulníky LZS bude vybíráno pouze z vyšších řad typů termokamer, ale zároveň nelze ani předpokládat že se výběr zaměří na nejnižší typy zařízení z nabídky uvedených firem. Proto jsou v této práci vybrány termokamery, které se svými konstrukčními a technickými vlastnostmi pohybují na středu portfolia obou firem.

Dle podmínky, že charakteristika daného typu termokamery se musí pohybovat na středu portfolia výrobků firmy FLIR a MAX-VIZ, byly vybrány tyto dva typy. Od firmy FLIR byla vybrána termokamera Ultra8500 a od firmy Astronics termokamera MAX-VIZ 1400. Termokamera od firmy FLIR je uváděna spíše jako zařízení pro využití na vojenských vrtulnících. Proto v porovnání s termokamerou od firmy Astronics, je technologicky o něco dále. Kamera je přichycena otočným kloubem, díky němuž je možné termokamerou otáčet 360° každým směrem. Výstup z kamery je ve vysokém rozlišení a také zoom, kterým lze sledovaný obraz ještě přiblížit vykazuje vyšší hodnoty. Termokamera od firmy Astronics je na vrtulníky nebo letadla umístěna staticky, bez možnosti natočení úhlu zorného pole. Výstup na obrazovku není ve vysokém rozlišení a sledovaný obraz není možné přibližovat takovým zoomem jako u výrobce značky FLIR. Jeden ze zásadních rozdílů (i když to výrobci neuvádějí ve svých produktových brožurách) je cena. Termokamera od společnosti FLIR vzhledem ke své technologické vyspělosti je řádově dražší než termokamera od společnosti Astronics.

Výše uvedené typy termokamer mají pouze příkladný charakter.

## 4 Automatické vytváření přibližovací procedury

Využití termokamer, tak jak je navrženo v této práci, by mohlo významným způsobem zvýšit počet zásahů letecké záchranné služby jako jedné ze složek integrovaného záchranného systému. Kapitola č. 3 se zabývala popisem a posouzením zařízení, díky němuž by bylo možné vyhledat vhodné místo pro přistání i za podmínek IMC. O uskutečnění zásahu leteckou záchrannou službou v poslední fázi rozhoduje pilot vrtulníku, jež je zároveň kapitánem. Pokud kapitán vrtulníku bude mít k dispozici systém, s nímž dokáže bezpečně vyhodnotit přistávací podmínky, zvýší se bezpečnost přistání v neznámém terénu. Výstup z instalované termokamery by měl pro pilota vrtulníku být dostatečným podkladem pro kvalitní rozhodnutí a výběru místa dosedu.

Stěžejní část celé operace HEMS za IMC podmínek není pouze vyhledání daného místa přistání, ale je nutné zajistit bezpečný průběh celého letu ze stanice LZS, až do místa kde bude následné místo přistání vyhledáváno. To znamená, že je nutné navrhnout systém, kterým bude vrtulník bezpečně přibližován na místo zásahu. Přesně pro tyto účely slouží systém GNSS (Global Navigation Satellite System). Letecké navigace s leteckými mapami se již běžně v některých strojích používají a umožňují přesnější orientaci v neznámé oblasti. Letecké mapy jsou pravidelně aktualizovány. Záleží ovšem na vydavateli těchto map, s jakou periodou aktualizace probíhají. Pro potřeby automatizovaného systému musí být zdrojovými daty mapy, které jsou aktualizované ve velmi krátkém časovém intervalu. A to se zaměřením pozornosti na výškový profil map. Při běžném všeobecném leteckém provozu (General Aviation) pro VFR i IFR jsou důležité aktualizace map hlavně v místech letišť a okolí letišť, kde probíhá přiblížení na přistání a postupné sestupování z daných letových hladin. Letecký záchranný vrtulník ovšem přistává mimo letiště a v jakékoliv oblasti České republiky. Proto ve zdrojových leteckých mapách musí být zajištěna pravidelná aktualizace výškových bodů v České republice. Stavby stožárů, komínů, výškových budov musí být neprodleně zaznamenány v těchto mapách. V leteckých mapách je zahrnuto vedení vysokého a velmi vysokého napětí. I tato informace musí podléhat pravidelné aktualizaci.

Jestliže GNSS systém bude mít kvalitní data a informace o výškových překážkách po celém území České republiky, bude moci s naprostou přesností připravit leteckou trasu k zásahu. Celá trasa se bude skládat z několika částí. Postupy celého letu by odpovídaly

postupům PinS. Tyto postupy byly vyvinuty ve Francii a po úspěšném otestování byly zavedeny i v jiných evropských zemích. PinS approach (Point-in-Space přiblížení) je nepřesné přístrojové přiblížení na bod v prostoru, založené na využití základního GNSS, určené pouze pro vrtulníky. Na vztažný bod PinS je vrtulník veden tak, aby po překonání bodu MAPt (Missed Approach Point – bod nezdařeného přiblížení) se na konečný bod přibližoval pouze vizuálně. Do tohoto bodu je trasa vrtulníku vybrána tak, aby se pohyboval v takové výšce, kde se zamezí jakýkoliv kontakt s výškovými překážkami. Od bodu PinS (MAPt) se vrtulník řídí vizuálním přiblížením, kde meteorologické podmínky musí být takové, aby bylo možné na určitou vzdálenost rozpoznat překážky a vyhnout se jim. Od tohoto místa se tedy vrtulník pohybuje do cílového bodu pouze vizuálně. Ke zvýšení bezpečnosti a zároveň i zvýšení dohlednosti slouží pilotovi na palubě vrtulníku termokamera. Termokamera svými vlastnostmi, které jsou popsány v kapitole č. 3, vytvoří přehledný obraz i na místech, které jsou pro pilota např. z důvodu oblačnosti nedohledné.

Celý let je rozdělen do tří fází:

- PinS departure – vrtulník je veden z heliportu nebo bodu v terénu do bodu v prostoru, určité letové výšky
- Flat light – samotný let v bezpečné letové hladině, úsečka do druhé bodu PinS
- PinS approach – do tohoto bodu vrtulník sestoupí z letové hladiny a od tohoto bodu se do místa zásahu nebo na heliport řídí vizuálním přiblížením

GNSS systém automaticky připraví trasu složenou z výše uvedených fází. Po přípravě na vzlet pilot vrtulníku nastoupá do bezpečné výšky dané bodem PinS. Poté se drží směru, který mu připraví GNSS zařízení, až do druhé bodu PinS. Odtud sestupuje již vizuálním přiblížením, které mu z velké části usnadňuje termokamera instalovaná na vrtulníku. Po těsném přiblížení k určenému bodu dispečinkem, pilot vybere odpovídající místo přistání, které v nepříznivých meteorologických podmínkách bude vybráno za pomoci termokamery.

Po ukončení záchranných prací na zemi, vybere pilot místo, kam pacienta transportují. Tato místa budou již přesně nadefinovaná v paměti GNSS systému. Systém tedy provede stejný úkon jako v případě letu na dispečinkem dané souřadnice. Opět se celá navigace letu bude skládat ze tří fází jako v předešlém případě, PinS vzlet, ustálený let a PinS přiblížení.

V neposlední řadě budou probíhat stejné postupy také při návratu na domovskou stanici z nemocnice, nebo místa předání pacienta.

V České republice jsou GNSS navigací vybaveny vrtulníky ve službách Policie ČR a několik vrtulníků LZS. Obrazová navigace slouží pro bezpečnější létání v nočních hodinách. Záchraná služba Policie ČR je schopna díky těmto navigacím, nočnímu vidění na helmách pilotů a dalších zařízení pátrat po osobách 24h denně za jakéhokoliv počasí.

Navigace typu PinS spadá do kategorie nepřesného přístrojového přiblížení. Takové přiblížení je v rámci nemocničních heliportů dostačující. V situacích, kdy vrtulník nevzlétá a nepřistává na heliport ale na bod v terénu, je nutné nepřesné přístrojové přiblížení PinS upřesnit. Protože PinS přiblížení pracuje na službě GNSS je vhodné jako upřesňující systém použít podpurný systém GNSS, SBAS. V Evropě je služba SBAS zastoupená systémem EGNOS. Tento systém se skládá ze tří geostacionárních družic a ze 40 pozemních monitorovacích pracovišť, které v reálném čase vyhodnocují správnost informací poskytované systémem GNSS. Mezi chyby, které EGNOS opravuje, jsou například chyby atomových hodin, odchylky signálu z důvodu stavu ionosféry, korekce signálu z důvodu odrazů paprsku atd.. Díky službě EGNOS lze provádět přiblížení s výškovým vedením, kdy cílem je, aby se tato přesnost vyrovnala systému přiblížení ILS Cat. 1. [20]

Podmínkou je určitá automatická celého systému. To také znamená, že GNSS zařízení musí generovat trasu automaticky bez zásadního zásahu pilota vrtulníku. Jakékoliv vyhledávání a zapisování souřadnic do zařízení by jen prodlužovalo dobu přípravy, která je nezbytná pro vzlet vrtulníku. Využitím GNSS tímto způsobem by sice byl umožněn let na místo zásahu i za IMC podmínek, ale je nutné podotknout, že pilot vrtulníku musí mít výcvik pro lety IFR a pro lety za ztížených meteorologických podmínek. V případě výpadku globálního navigačního systému je nutné ovládat vrtulník pomocí standartních analogových či digitálních přístrojů.

Otázkou zůstává, jakým způsobem by byla zjišťována přesná lokalizace GNSS souřadnic místa zásahu. Pro co nejvíce automatizovaný systém jsou přesné GNSS souřadnice podmínkou. Má-li se automaticky vygenerovat trasa, zařízení musí znát body, na které má trasu připravit. V reálných případech existuje pouze zlomek případů, kdy dispečink IZS předá přesné souřadnice přímo pilotovi. V případech, jako úraz v horách, nehoda mezi bodem „A“ a bodem

„B“ na silnici třídy XY, nebo v jiných případech, kde nelze určit přesnou polohu zásahu, nejsou polohové souřadnice dostupné a tedy ani přesná poloha místa zásahu. V takových případech nelze automatickou generování trasy plnohodnotně využít. Tento problém by se dal využít určením rádia místa zásahu. Pokud na tísňové lince člověk oznámí z nějakého důvodu stav nouze, měl by být většinou schopný minimálně určit danou oblast, ve které se nachází. Dispečer call-centra by poté určil přibližný rádius, kde ve středu rádia nebo v nejuvíce pravděpodobném místě zásahu by stanovil polohové souřadnice, které by byly poté zaslány na pager jednotkám LZS a poté předány do GNSS zařízení. To by se už postaralo o vytvoření přibližovací trasy.

Kombinace GNSS zařízení, které by pro posádku leteckého záchranného vrtulníku připravilo trasu přiblížení na přesný bod v zástavbě, či na přibližný bod v oblasti o daném radiu a termokamery, která by byla integrována do systémů samotného vrtulníku, a která by pilotovi umožnila relevantně určit místo dosedu, by navýšila celkový počet zásahů. Ze statistik Policie České republiky vychází, že vyšší počet úmrtí chodců se v důsledku dopravní nehody na pozemních komunikacích, stane v noci. Těmto případům by také pomohl systém, který se stal předmětem této práce.



## 5 Shrnutí

Bakalářská práce se zabývala problematikou zásahů letecké záchranné služby. Z toho důvodu byla první kapitola věnována právě letecké záchranné službě. V práci je popsána historie této záchranné složky, a také detailní nahlédnutí na provoz. K upřesnění těchto informací jsem několikrát navštívil na základně letecké záchranné služby v Hradci Králové jednoho z pilotů leteckých záchranných vrtulníků Ing. Vratislava Eliáše. Konzultace s ním byla pro tuto práci značným přínosem. S provozem letecké záchranné služby jsou spojené nařízení, kterých se musí společnost, jež ji provozuje, řídit, proto byl na závěr úvodní kapitoly věnován prostor i této problematice.

V kapitole č. 2 jsou popsány zařízení, které by řešili vyhledávání vhodných míst pro přistání v „neznámém terénu“. Pro tuto práci byly vybrány termokamery, noktovizory a letecké laserové skenování a staly se předmětem mého hodnocení. Správné pochopení jejich principu a fungování bylo pro hodnocení těchto zařízení nejdůležitější. Proto je celá druhá kapitola věnována popisu těchto systémů.

V následující části mé práce bylo zpracováno hodnocení výše uvedených systémů. Toto hodnocení proběhlo na základě oznámkování předem danými kritérii a toto oznámkování bylo shrnuto v tabulce. Výsledkem hodnocení bylo, že nejvíce vyhovujícím systémem dle kritérií, se staly termokamery. Kapitola č. 3 se dále zabývala návrhem implementace termokamery do leteckého záchranného vrtulníku.

Poslední částí mé práce bylo navržení automatického vytváření přibližovací procedury. Použitím GNSS navigace s nepřesným přístrojovým přiblížením na známé místo v prostoru se stalo vhodným řešením pro zajištění bezpečnosti letu za špatných meteorologických podmínek. O automatickosti návrhu letové trasy se tento systém také dokáže postarat a podmínky pro tuto funkci byly popsány v poslední kapitole.

## Závěr

Od doby, kdy lidstvo uzdravovali léčitelé pomocí bylinných výtažků, se zdravotnická pomoc podstatně změnila. V dnešní době jsou lékaři schopni zachránit člověka i z velmi těžkých poranění. Zároveň lidé hledali způsoby, jak co nejrychleji pomoci člověku ve zdravotní tísni. Propojení zdravotnické pomoci a letecké dopravy, která je velmi rychle se rozvíjejícím odvětvím dopravy, pomohlo lékařům dostat se včas ke zraněnému člověku, a tím zachránit nespočet lidských životů. Vrtulníková letecká záchranná služba má určité provozní omezení, které vycházejí zejména z bezpečnosti záchranných operací.

Původní záměrem mé práce bylo navržení systému pro vyhledávání vhodných míst pro přistání v „neznámém terénu“. Cíl práce byl úspěšně splněn a kompletní návrh popsán čtenáři co možná nejvíce srozumitelně a přehledně.

Věřím, že s vývojem navigačních systémů v letecké dopravě se bude zlepšovat i provozuschopnost letecké záchranné služby po celém světě včetně České republiky. Rád bych na tuto práci navázal svoji diplomovou prací, rozebral detailněji návrhy, které v této práci uvádím a přispěl tak ke zvýšení uskutečněných leteckých záchranných prací.

## Seznam literatury

- [1] „Historie a současnost letecké záchranné služby,“ 9 Červenec 2010. [Online]. Available: <http://zdravi.e15.cz/clanek/sestra/historie-a-soucasnost-letecke-zachranne-sluzby-453256>.
- [2] „Historie a současnost Letecké záchranné služby v České republice,“ 6 Červen 2007. [Online]. Available: <http://www.pozary.cz/clanek/7576-historie-a-soucasnost-letecke-zachranne-sluzby-v-ceske-republice/>.
- [3] M. Adámek, Jak funguje letecká záchranka, Brno: Computer Press, a.s., 2010.
- [4] „Historie LZS v ČR a SR,“ 2009. [Online]. Available: <http://www.hems.wz.cz/historie.htm>. [Přístup získán 25 Červen 2015].
- [5] A. Truhlář, „Letecká záchranná služba,“ 2014. [Online]. Available: [http://www.urgmed.cz/ostatni/2014\\_PS\\_PCR/04%20-%20truhl%C3%A1%C5%99.pdf](http://www.urgmed.cz/ostatni/2014_PS_PCR/04%20-%20truhl%C3%A1%C5%99.pdf). [Přístup získán Červen 2015].
- [6] O. Franěk, „Zachrannasluzba.cz,“ 2015. [Online]. Available: [www.zachrannasluzba.cz](http://www.zachrannasluzba.cz). [Přístup získán 2015 březen 7].
- [7] M. Vanzura, „Airliners.net,“ 12 Červen 2011. [Online]. Available: <http://www.airliners.net/photo/Alfa-Helicopter/Eurocopter-EC-135T-2+/1935103/L/>. [Přístup získán 2015 Květen 5].
- [8] „Delta Air Systém a.s.,“ 2015. [Online]. Available: [www.dsa.cz](http://www.dsa.cz). [Přístup získán Červen 2015].
- [9] V. Eliáš, Interviewee, *Vyhledávání vhodných míst pro přistání*. [Interview]. 5 Květen 2015.
- [10] EU, Nařízení komise (EU) č. 965/2012, 2012.
- [11] I. Pelant, „Laser slaví padesátiny. Osamělý hráč, který porazil velké týmy,“ *Vesmír*, č. 12, pp. 284-285, 2010.

- [12] T. Dolanský, Lidary a letecké laserové skenování, Ústí nad Labem: Univerzita J. E. Purkyně, 2004.
- [13] T. Dolanský, „Laserové skenování - technologie a možnosti aplikace,“ Katedra mapování a kartografie, ČVUT v Praze, Praha, 2000.
- [14] *Richard Hammond's Engineering Connections*. [Film]. United Kingdom: National Geographic Channel, 2009.
- [15] K. Jusková, „Metoda Laserové skenování,“ Land Management La-Ma, 3 Červenec 2011. [Online]. Available: <http://www.la-ma.cz/?p=88>.
- [16] J. Kuklová, Metody zviditelnění proudění na obtékaném tělese, Praha: ČVUT v Praze, 2010.
- [17] „Termokamera.cz,“ [Online]. Available: <http://www.termokamera.cz/princip-a-funkce/konstrukce-termokamery/>. [Přístup získán 2015].
- [18] J. Sova, „Základy práce s termokamerou,“ Centrum termografie, Praha, 2015.
- [19] J. Tyson, „How night vision works,“ How stuff works, [Online]. Available: <http://electronics.howstuffworks.com/gadgets/high-tech-gadgets/nightvision4.htm>. [Přístup získán 2015].
- [20] „EGNOS - Evropská „podpůrná“ geostacionární navigační služba,“ Český kosmický portál, 2015. [Online]. Available: <http://www.czechspaceportal.cz/3-sekce/gnss-systemy/egnos/>. [Přístup získán 2015 Srpen 8].
- [21] Komenda a Baláž, „Noktovizory a jejich generace,“ 2010. [Online]. Available: <http://www.rucevzhuru.cz/index.php/technika/208-noktovizory-a-jejich-generace.html>. [Přístup získán 2015].
- [22] V. Pekarská, „Multimediální učebnice konvenčních zobrazovacích systémů-IR,“ ČVUT - Fakulta biomedicínského inženýrství, Praha, 2015.

- [23] K. Pavelka, „Letecké laserové skenování v ČR a možnosti využití dat,“ ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Praha, 2011.
- [24] LandAir Surveying Company, [Online]. Available: <http://www.landairsurveying.com/3d-laser-scanning/laser-scanning-faq/>. [Přístup získán 2015].
- [25] D. Alan, B. Haley Wixon a D. Tagerden, *Systems Analysis and Design with UML 4th Edition*, Wiley, 2015.
- [26] ICAO, *Air Operation - ICAO Doc 8168*, Montreal: Internation Civil Aviation Organization, 2006.
- [27] ÚCL, *Letecký předpis - Heliporty - L14H*, Praha: Ministerstvo dopravy České republiky, 2013.
- [28] V. Soukup a J. Rusek, „Vybavení heliportu FN Motol pro IFR/VFR noční provoz,“ Praha, 2010.
- [29] *Gagan user group interaction program with helicopter operators*, New Delhi: Airport India, 2014.

## Seznam obrázků

Obrázek 1: Mi-1 Kryštof Praha Ruzyně [1] .....	12
Obrázek 2: Mapa pokrytí LZS v ČR [3] .....	13
Obrázek 3: Kryštof 18 Liberec.....	14
Obrázek 4: Kryštof 09 Olomouc.....	14
Obrázek 5: Stopy jednotlivých druhů skenerů .....	28
Obrázek 6: Schéma rozmístění GPS stanic .....	30
Obrázek 7: Blokové schéma konstrukce termokamery.....	35
Obrázek 8: Schéma mikrobolometrického článku .....	36
Obrázek 9: Detailní fotografie mikrobolometrického článku.....	36
Obrázek 10: Spektrální citlivost termokamery .....	37
Obrázek 11: Porovnání obrazů termokamery .....	37
Obrázek 12: Schéma složení nočního vidění .....	41

## Seznam tabulek

Tabulka 1: Provoz LZS v ČR .....	15
Tabulka 2: Porovnání LZS podle průměrného počtu obyvatel na 1 LZS (mil.) .....	16
Tabulka 3: Triagle .....	18
Tabulka 4: Provozní minima pro lety HEMS .....	22
Tabulka 5: Výsledek hodnocení systémů .....	49

## **Seznam příloh**

Příloha A: Historie fyzikálních zákonů a jejich popis týkajících se termokamer.....	63
Příloha B: Generace noktovizorů, zařízení pro zesilování zbytkového světla.....	65



## **Příloha A – Historie fyzikálních zákonů a jejich popis týkajících se termokamer**

První moderní termokamery byly sice konstruovány až v druhé polovině 20. století, ale vědecké objevy, které museli předcházet, probíhaly už od poloviny 17. století. První impuls ke vzniku celého vědního oboru dal Isaac Newton roku 1670, který si všiml, že bílé světlo lze rozložit do barevného spektra. O tři roky později popsal Christian Huygens vlnovou charakteristiku světla. Dokázal tak, že světlo se šíří prostředím jako vlna. O další století později, přesně roku 1800 přidal William Herschel k barevnému spektru světelného záření i záření infračervené, okem neviditelné. Dalšími významnými objeviteli byli Gustav Robert Kirchhoff spolu s Robertem Bunsenem, kteří sestavili Kirchhoff-Bunsenovu zákon. Ten definuje obecnou teorii emise a radiace – schopnost látky emitovat záření je stejně velká jako ho absorbovat. Kirchhoff také definoval absolutně černé těleso, což je takové těleso, které pohltí všechno záření, které na něho dopadá. Aproximovat černé těleso lze pomocí dutiny s úzkým vstupním otvorem, ve které se světelný paprsek odráží tak dlouho, dokud se kompletně nepohlčí.

Soustavy rovnic, které matematicky popisují elektromagnetické pole, se nazývají podle svého objevitele Maxwellovy. Maxwell také zjistil, že světlo je rovněž elektromagnetické vlnění. A také předpověděl celý rozsah elektromagnetického spektra (přezdívaného Maxwellova duha) od radiových vln až po gama záření. Základem termometrii se stal pokus Josepha Stefana, který o pět let později tedy roku 1884 popsal Ludwig Boltzmann. Vznikl Stefan-Boltzmannův zákon, který se stal základem pro radiační termometrii. Zákon ve své podstatě určuje vztah mezi množstvím energie vyzařované černým tělesem a jeho teplotou. Tento zákon zároveň potvrzuje fakt, že schopnost vyzařovat mají všechna tělesa, která nemají nulovou termodynamickou teplotu, což je 0 K (více o termodynamické teplotě je uvedeno v kapitole 2.2.2.1 Teplota a teplo). Při tomto stavu nejsou tělesa schopna emitovat záření.

Wilhelm Wien se posunul o krok dále, když dokázal popsat jaký je vztah mezi termodynamickou teplotou a vlnovou délkou absolutně černého tělesa, při nichž spektrální hustota vyzařovaného záření dosahuje maxima. Takzvaný Wienův posouvací zákon. Později se ukázalo, že jeho vztah není platný pro celé spektrum elektromagnetické záření, ale pouze pro takové záření, které se nachází v oblasti krátkých vlnových délek.

Albert Einstein řekl: „Planck dal jeden z nejsilnějších impulsů pro rozvoj vědy vůbec“. Byl to právě Max Planck, který dokázal správně určit zákon vyzařování absolutně černého tělesa – Planckův vyzařovací zákon. Stanovil novou univerzální konstantu po sobě pojmenovanou, Planckovu konstantu. Jeho úvaha, že světlo není vyzařováno ve spojitém tvaru ale i ve tvaru diskrétním. Přišel tedy s hypotézou, že se světlo šíří po malých částech – kvantech a že světlo má dvě fyzikální charakteristiky. Vlnovou charakteristiku a kvantovou, které se vzájemně ovlivňují. Toto byl opravdu velmi silný impuls pro vznik nového odvětví v teoretické fyzice, a sice ke vzniku kvantové fyziky.

Po Planckově zákonu, díky kterému můžeme určit teplotu objektu na základě vlnové délky záření, kterou vyzařuje, již nebránilo nic ke vzniku prvních radiálních teploměrů.

Největší posun právě v konstruování teploměrů či infračervených detektorů přinesla právě druhá světová válka, kde vývoj těchto technologií měl samozřejmě sloužit pro vojenské účely. Další velký posun v celém oboru termografie přinesl vznik společnosti Flir Systems, který sjednotil americké i evropské výrobce infračervených systémů. Díky opravdu velkému přínosu této společnosti jsou v dnešní době termovizní kamery (termokamery) známi také pod slovem flir.

## **Příloha B – Generace noktovizorů, zařízení pro zesilování zbytkového světla**

Přístroje pro noční vidění pracující se zbytkovým světlem v okolí, které následně zesilují a promítají přes luminiscenční obrazovku, se vyvíjí již od druhé světové války. Tyto přístroje rozdělujeme do tzv. generací. Pojem generace představuje obohacení principu zařízení o technologii, která jí posouvá o úroveň výše.

### **Generace 0**

Generace těchto noktovizorů je právě původním řešením, které bylo navrženo a zkonstruováno pro armádu Spojených států amerických za dob druhé světové války. Pro fotokatody této generace je typické složení ze směsi AgOCs. Kvůli malé citlivosti fotokatody bylo nutné tento systém obohacovat o reflektor infračerveného záření, který byl k systému připojen. Reflektor vysílal paprsek, který byl pro lidské oko neviditelný (svoji podstatou velmi blízký infračervenému světlu). Paprsek byl namířen směrem ke vzdáleným objektům ve tmě, od kterých se odrážel, a odražené paprsky byly zachycovány v čočce nočního vidění. Tím měli vojáci poměrně dobrou představu o podobě pozorovaných objektů. [19] [21]

Tato generace měla dva velké nedostatky. Z důvodu urychlování elektronu v elektrostatickém poli vznikaly na výsledném obrazu velké distorze (zkreslení). Také fakt, že tyto přístroje byly vytvořeny pro vojenské účely a neobešly se bez aktivního zdroje infračerveného záření, vedlo k tomu, že nepřátelé, kteří měli své vlastní technologie nočního vidění, mohli zdroj paprsku infračerveného světla lokalizovat. [19] [21]

### **Generace 1**

Nová generace přístrojů pro noční vidění byla obohacena o citlivější fotokatodu. To vedlo ke vzniku pasivních zařízení pro noční vidění - noktovizorů. Citlivější fotokatody umožnily absenci přídavných zdrojů infračerveného záření, nicméně jejich výkon nedosahoval takových výsledků, aby byly noktovizory první generace spolehlivé i v případě zatažené oblohy a bez zdroje světla měsíčního odrazu. Protože i tato generace používala k urychlení elektronů elektrostatické pole, vykazovaly i tyto přístroje velké zkreslení obrazu. Zesilování jasu obrazu mohlo být také realizováno zapojováním dvou nebo tří zesilovačů obrazu za sebou. To bylo ovšem na úkor velikosti a váhy zařízení. [19] [21]

## **Generace 2**

Další generace se liší od předchozích opět citlivější fotokatodou a zesílení jasu se provádí mikrokanálovým zesilovačem. Mikrokanálová destička zvyšuje počet elektronů, které dopadají na fosforečnou obrazovku. Díky této nové technologii dochází k menšímu zkreslení obrazu než v předchozích generacích. Použití modernějších technologií posouvá využitelnosti přístroje směrem k horším světelným podmínkám. [19] [21]

## **Generace 3**

Noktovizory třetí generace využívají fotokatodu z jiného materiálu – arsenidu a galia. Mikro-kanálová destička je v této generaci vylepšena o vrstvu iontové bariéry, která potlačuje šum. Konečný obraz je pak výrazně čistší od předchozích generací. Distorze obrazu je v případě tohoto typu zařízení minimální. Noktovizory lze použít při nízkých i vysokých úrovních osvětlení. [19] [21]

## **Generace 4**

Od roku 2005 vzniká další generace noktovizorů – s označením čtvrtá. Rozdíl oproti třetí generaci noktovizorů jsou nové typy fotokatod, které mají vyšší citlivost, lepší rozlišovací schopnost a výrazně potlačují šumy. U této generace lze také najít uzavřený systém napájení, který v případě přesvěcení fotokatody umožňuje její napájení okamžitě vypnout nebo zapnout. Tento systém výrazně brání „oslepení“ uživatele, které může vzniknout z důvodu blízkého silného zdroje světla. Bohužel i tak dochází v těchto případech k postupné degradaci fotokatody. [19] [21]