



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
LETECKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AEROSPACE ENGINEERING

SOUČASNÉ UAS A MOŽNOSTI JEJICH APLIKACE DO KOMERČNÍHO PROSTORU V EVROPĚ

CONTEMPORARY UAS AND THE POSSIBILITIES OF THEIR APPLICATION TO EUROPEAN
COMMERCIAL SPACE

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. FILIP MATEJKO

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. SLAVOMÍR VOSECKÝ, CSc.

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Letecký ústav

Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Filip Matejko

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Letecký provoz (3708T011)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Současné UAS a možnosti jejich aplikace do komerčního prostoru v Evropě

v anglickém jazyce:

Contemporary UAS and the possibilities of their application to European commercial space

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Stručný přehled moderních leteckých bezpilotních systémů (UAS).

Cíle a možnosti aplikace soudobých UAS do komerčních aktivit.

Požadavky na provoz UAS v řízeném vzdušném prostoru Evropy.

Technické možnosti a dosavadní limity realizace palubního vybavení CNS UAS pro lety v řízeném letovém provozu Evropy.

Cíle diplomové práce:

Provozní možnosti současných UAS.

Možnosti využití UAS v komerční sféře.

Požadavky na vybavení komerčních UAS pro provoz v řízeném prostoru.

Technologie CNS umožňující UAS vstup do řízeného prostoru.

Seznam odborné literatury:

- 1) <http://www.caa.cz/navody/provoz-ostatnich-letadel-bez-pilota-na-palube>
- 2) <http://www.caa.cz/letadla-bez-pilota-na-palube/postupy-pro-vydani-povoleni-k-letani-letadla-bezpilota>
- 3) lu.fme.vutbr.cz/cuav/index_soubory/prispevky/Klement.ppt

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Slavomír Vosecký, CSc.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/2014.

V Brně, dne 15.11.2013

L.S.

doc. Ing. Jaroslav Juracka, Ph.D.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Dekan fakulty

Abstrakt

Práca obsahuje stručný prehľad niektorých moderných bezpilotných prostriedkov a neskôr aj ich možnosti aplikácie do riadeného vzdušného priestoru Európy. Pojednáva o aktuálnej legislatíve zaoberajúcej sa rozličnými oblasťami integrácie UAS a procesom aktualizácie a tvorby tejto legislatívy. Ďalšia časť práce sa zaoberá prieskumom možností využitia bezpilotných lietadiel v komerčnej sfére a ich vplyvom na súčasnú leteckú dopravu. Posledná časť je venovaná technickej stránke spojennej s integráciou UAS do riadených priestorov. Sú tu popísané aktuálne systémy CNS a ich možný vývoj v spojení s bezpilotnými prostriedkami a takisto je značná časť práce venovaná aj technológii S&A (Sense and Avoid). Počas celej práce je postupne vyhodnotená aktuálna situácia prevádzky UAS a sú navrhnuté nutné a odporúčané zmeny ktoré, sa budú musieť pre ich plnohodnotnú integráciu do riadených priestorov vykonať.

Kľúčové slová

Integrácia, aplikácia, bezpilotných, prostriedkov, UAS, UAV, do riadených, priestorov, legislatíva, technológia CNS

Abstract

The work contains a brief overview of some modern unmanned aerial systems and later their capabilities of integration into controlled airspace in Europe. It discusses the current legislation dealing with different areas of integration of UAS and the update and developing process of legislation. Another section deals with the exploration of the possibilities of using unmanned aircraft in the commercial sector and their impact on the existing air transportation. The last section is devoted to the technical aspects associated with the integration of UAS into controlled areas. It describes the current systems of the CNS and their possible development in conjunction with UAVs and also a significant part of the work is devoted to the technology of the S&A (Sense and Avoid). During the entire work is gradually evaluate the current situation of the operation of UAS and are designed and recommended necessary changes that will need to be perform to their successful integration into the controlled airspace.

Key words

Integration, application, unmanned, vehicles, system, UAS, UAV, controlled, airspace, legislation, technology CNS

Bibliografická citácia

MATEJKO, F. *Současné UAS a možnosti jejich aplikace do komerčního prostoru v Evropě*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 94 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Slavomír Vosecký, CSc..

Čestné prehlásenie

Prehlasujem, že som diplomovú prácu na tému Současné UAS a možnosti jejich aplikace do komerčního prostoru v Evropě vypracoval samostatne, pod vedením doc. Ing. Slavomíra Voseckého, CSc., s použitím literatúry uvedenej v zozname použitej literatúry.

V Brně dňa

.....

(podpis autora)

OBSAH

Úvod.....	1
1. Súčasný stav UAS	2
1.1 Definície a rozdelenie UAS	2
1.2 Prehľad moderných UAS	5
1.2.1 Silent Falcon	7
1.2.2 X-47B	8
1.2.3 Bat	9
1.2.4 RQ-4 Global Hawk	10
1.3 Súčasný možnosti a využívanie UAS.....	11
1.3.1 Porovnanie využívania UAS a tradičných metód.....	12
1.4 Aktuálna legislatíva a požiadavky na UAS	14
2. Požiadavky na UAS pre prevádzku v riadenom vzdušnom priestore Európy.....	27
2.1 Certifikácia UAS.....	28
2.2 Prevádzka UAS v riadených priestoroch	30
2.2.1 ATM	31
2.2.2 Letiská	33
2.2.3 Bezpečnosť a zabezpečenie	33
3. Technológie UAS a CNS.....	37
3.1 Aktuálne technológie a ich možnosti.....	37
3.2 C – Komunikácia (Communication)	37
3.2.1 Spojenie RPA a RPS na priamu rádiovú viditeľnosť.....	39
3.2.2 Spojenie RPA a RPS na nepriamu rádiovú viditeľnosť pomocou satelitov.....	40
3.2.3 Komunikačné architektúry	41
3.2.4 Dátové spoje a ich zabezpečenie	43
3.2.5 Frekvenčné spektrum pre UAS.....	46
3.3 N – Navigácia (Navigation)	48
3.3.1 RNAV priestorová navigácia	48
3.4 S – Prehľad (Surveillance).....	51
3.4.1 Primárny radar	51
3.4.2 Sekundárny radar SSR	52
3.4.3 ADS-B.....	53
3.5 Sens & Avoid (S&A / SAA)	58
3.5.1 Spolupracujúce S&A.....	61
3.5.2 Nespolupracujúce S&A.....	64
Záver	71

Zoznam skratiek	73
Zoznam obrázkov.....	76
Zoznam tabuliek	77
Zoznam použitej literatúry	78
Zoznam Príloh.....	81
A Príloha – špecifikácie VUT 700 Specto	81
B Príloha – Proces vydávania povolenia pre lety UAS v ČR	82
C Príloha – Zoznam UAS registrovaných v ČR.....	83
D Príloha – Zoznam parametrov najznámejších UAS	86

ÚVOD

Letectvo ako najrýchlejšie sa rozvíjajúci druh dopravy v posledných desaťročiach urobilo obrovské pokroky, pričom jedným z nich bolo aj vynájdenie bezpilotných lietajúcich zariadení (UAS – Unmanned Aerial / Aircraft System). Prvé zmienky o bezpilotných lietadlách siahajú pomerne ďaleko do histórie, približne do roku 1903. Avšak prvé UAS v takej podobe, ako ich poznáme dnes sa začali prakticky využívať až od deväťdesiatych rokov pre vojenské účely. Ich využitie bolo samozrejme obmedzené len na určité priestory a základne, pričom sa používali najmä na monitorovanie hraníc a pre zaistenie bezpečnosti objektov, prípadne ako cvičné ciele pre testy zbraní. Neskôr postupom času potenciál týchto zariadení začal prudko expandovať a UAS našli širokú škálu uplatnení v rôznych oblastiach. Dnes už poznáme desiatky úloh ktoré sú UAS schopné vykonávať veľmi efektívne ako napríklad letecké fotografovanie, prieskum oblastí a rastlinstva, prenos signálov a vysielanie, monitorovanie lesných požiarov, hraníc, stavu životného prostredia, ochrana určitých oblastí, letové testy a výskum, natáčanie filmových scén, dokonca experimentálne doručovanie zásielok a podobne. Existuje množstvo rôznych druhov UAS čo sa týka ich rozmerov, hmotnosti rozsahu operačných výšok, rýchlostí princípu letu a iných rozdielov. Veľmi zaujímavé je najmä ich potencionálne komerčné využitie, pričom umožňujú v niektorých prípadoch výrazné zvýšenie efektivity a zníženie nákladov pri dodržaní vysokej úrovni bezpečnosti. Aby však potenciál UAS mohol byť naplno využitý je nevyhnutné vyriešiť veľmi rozsiahlu problematiku týkajúcu sa legislatívy a technických možností samotných UAS a vybavenia CNS.

Primárnym cieľom tejto práce je aplikácia bezpilotných zariadení do riadeného, komerčného vzdušného priestoru Európy čo je aktuálne aj téma, ktorou sa intenzívne už roky zaoberajú svetové organizácie ako EASA či FAA, pretože potreba riešiť tento problém sa stala časom nevyhnutnou. Počet UAS prudko stúpa a zároveň s ním neustále vznikajú aj nové možnosti ich využitia spolu s rozvojom vedy a techniky. Postupom času sa ukázalo, že na rozdiel od pilotovaných lietadiel, pre bezpilotné lietadlá nebola vytvorená vhodná legislatíva. Najväčšou prekážkou pri využívaní UAS je momentálne práve táto zastaraná legislatíva, ktorá nepočíta s ich prevádzkou v riadenom vzdušnom priestore a preto treba túto oblasť čo najskôr vyplniť. Z tohto dôvodu je nevyhnutné riešiť problémy spojené so samotnou prevádzkou, vybavením, údržbou a obsluhou UAS, s ich aplikáciou do spomínaného civilného letového priestoru a to všetko za predpokladu, že tým v žiadnom prípade nedôjde k nijakému zníženiu bezpečnosti a plynulosti súčasnej letovej prevádzky. Vyriešením týchto problémov by sa UAS dostali do pozornosti najmä kvôli ich obrovskému potenciálu znížiť náklady a zvýšiť efektívnosť takmer vo všetkých oblastiach leteckých činností.

Súčasný stav legislatívy pre UAS a ich aplikácia do riadených priestorov je na dobrej ceste, pretože už existujú plány a časový harmonogram. Obrovskú snahu prejavuje najmä FAA ale EASA je jej v päťach. Aplikácia legislatívy pre UAS by mala prebiehať v troch hlavných fázach a to v rokoch 2007, 2013 a 2020, pričom v roku 2020 by mala byť hotová ucelená legislatíva riešiaci všetky súčasné nedostatky spojené s prevádzkou UAS a to aj v riadených priestoroch, čím by sa malo umožniť ich relatívne neobmedzené prevádzkovanie. Koncepcie pre bezpilotné prostriedky a pre možnú blízku budúcnosť ich využitia majú už všetky významné letecké spoločnosti, ako Boeing, EADS a podobne. Tieto spoločnosti nevylučujú ani to že, v budúcnosti budú dopravné lietadlá s cestujúcimi riadené automaticky bez posádky na palube. Bepilotné prostriedky budú onedlho pravdepodobne tvoriť podstatnú časť letectva, preto je nevyhnutné zaoberať sa čo najskôr problémami spojenými s ich prevádzkou a riešiť ich.

1. SÚČASNÝ STAV UAS

1.1 Definície a rozdelenie UAS

Pre bezpilotné lietadlá sa najčastejšie využívajú nasledujúce skratky ale i niektoré iné tu neuvedené:

UAS – Unmanned Aerial/Aircraft System,

UAV – Unmanned Aerial Vehicle,

RPAS – Remotely Piloted Aircraft Systems,

V tejto práci sa bude používať skratku UAS, ktorá patrí medzi tie najrozšírenejšie a je v podstate synonymom pre ostatné. Vyjadruje bezpilotné lietadlo ako celok (systém) spolu so všetkým vybavením nutným pre jeho prevádzku.

UA – (Unmanned Aircraft) bezpilotné lietadlo určené k prevádzke bez pilota na palube.

- Autonómne lietadlo (Autonomous Aircraft) – bezpilotné lietadlo, ktoré je riadené bez pomoci pilota či operátora plne samostatne
- Diaľkovo riadené lietadlo (Remotely Piloted Aircraft) – bezpilotné lietadlo, ktoré pilot môže riadiť diaľkovo, ale môže obsahovať aj systém automatického riadenia letu

UAS – niekedy nazývané aj ako DRON, je systém bezpilotného lietadla schopného lietať pomocou riadiacej stanice a pilota na zemi, alebo samostatne pomocou počítača, ktorý sa skladá z jednotlivých prvkov pozostávajúcich zo samotného lietadla a všetkých ostatných zariadení ako sú riadiace stanice, dátové spojenia, komunikačné a navigačné zariadenia, štartovacie a pristávacie zariadenie (stojan) a ostatné vybavenie potrebné pre bezpečnú prevádzku. Nielen lietajúca časť systému, ale všetky jeho prvky podliehajú certifikácii. UAS sa rozumejú všetky bezpilotné lietadlá okrem modelov lietadiel nepresahujúcich maximálnu vzletovú hmotnosť 20 Kg. (Davis, 2008)

RPS – (Remotely Pilot Station) Stanica diaľkovo ovládajúceho pilota, ktorá umožňuje pilotovi diaľkovo riadiť lietadlo.

Model lietadla – lietadlo, ktoré nie je schopné niesť človeka na palube, je používané pre súťaženie, športové alebo rekreačné účely, nie je vybavené žiadnym automatickým zariadením umožňujúcim let na určité zvolené miesto a ktoré v prípade voľného modelu nie je ovládané inak, než za účelom ukončenia letu, alebo v prípade diaľkovo riadeného modelu, ktoré je po celú dobu letu riadené cez vysielateľ priamo pilotom a je v jeho vizuálnom dohľade (VLOS), nie ďalej ako 500m. Spravidla neprekračuje hmotnosť 20Kg, maximálnu výšku letu 400 ft (122m) AGL a pohybuje sa len v priestore triedy G, (FAA požiadavky avšak platné aj v EÚ). Podrobnejšie požiadavky a obmedzenia na modely sú pre ČR definované v L2 dodatok X. [1]

UAS dnes ako už bolo spomenuté, existuje veľa druhov, ktoré sa od seba viac či menej odlišujú z rôzneho hľadiska. UAS môžu mať rozmery od niekoľkých centimetrov až po

veľkosť lietadla Boeing 747 a môžu lietať rýchlosťami až niekoľko machov, alebo dokážu visieť na mieste. Rovnako, ako v súčasnosti rozdeľujeme lietadlá na niekoľko skupín, napríklad: balóny, vzducholode, obojživelné, raketové, vrtulníky, výrniky, nadzvukové a podobne, predpokladá sa, že v budúcnosti každá kategória a druh pilotovaného lietadla bude mať svoju bezpilotnú verziu. Aj preto existuje viacero druhov rozdelení týchto lietadiel z rôznych hľadísk. Existuje civilné a vojenské rozdelenie týchto prostriedkov no my sa však budeme zaoberať ďalej zväčša len civilným sektorom. UAS je možné rozdeliť z mnohých hľadísk a to najmä podľa:

1. Hmotnosti
2. Doletu a vytrvalosti
3. Maximálneho dostupu
4. Podľa plošného zaťaženia
5. Podľa druhu pohonnej jednotky
6. Podľa povahy vykonávanej činnosti

UAS sa najčastejšie delia podľa ich funkcie do siedmich nasledujúcich kategórií:

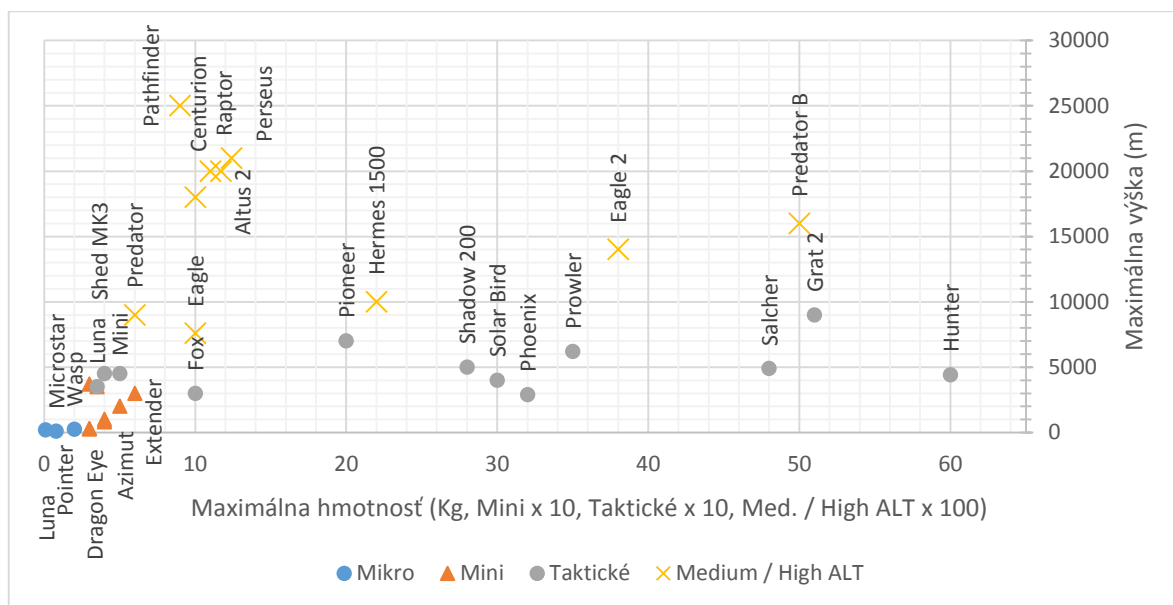
1. Lietajúce ciele, terče – slúžia pre simuláciu vzdušného boja ako nepriateľské lietadlo či raketa a pre testy zbraní a zbraňových systémov.
2. Prieskumné, pozorovacie – slúžia k pozorovaniu určitého územia a poskytujú informácie o ňom.
3. Bojové – slúžia pre vykonávanie veľmi riskantných vojenských misií, kde by bol v ohrození pilot pilotovaného lietadla.
4. Logistika, prepravné – slúžia pre logistické účely.
5. Vývoj a výskum – lietajúce laboratória slúžiace pre testy a vývoj nových technológií a to nielen pre UAS.
6. Civilné a komerčné – všetky ostatné UAS slúžiace pre civilné a komerčné účely ako aj pátranie a záchrana.
7. Ostatné – všetky ostatné a špeciálne UAS, ktoré nepatria do predchádzajúcich kategórií.

Iné delenie UAS ich kategorizuje podľa doletu, dostupu a rýchlostí letu:

1. Ručné dostup do 600m a dolet do 2 Km
2. Na krátke vzdialenosti dostup do 1500m a dolet do 10 Km
3. NATO type dostup do 3000m a dolet do 50 Km
4. Taktické dostup do 5500m a dolet do 160 Km
5. LALE (low altitude long endurance) dostup do 3000m a dolet do
6. MALE (medium altitude, long endurance) dostup do 9000m a dolet do 200 Km
7. HALE (high altitude, long endurance) dostup do 9100m + a dolet do 200+ Km
8. Hypersonyc dostup do 15200m a dolet do 200+ Km (Mach 1 až 5+)
9. Orbital nízka orbita zeme (Mach 25+)
10. CACGS - Computer Assisted Carrier Guidance System for UAVs

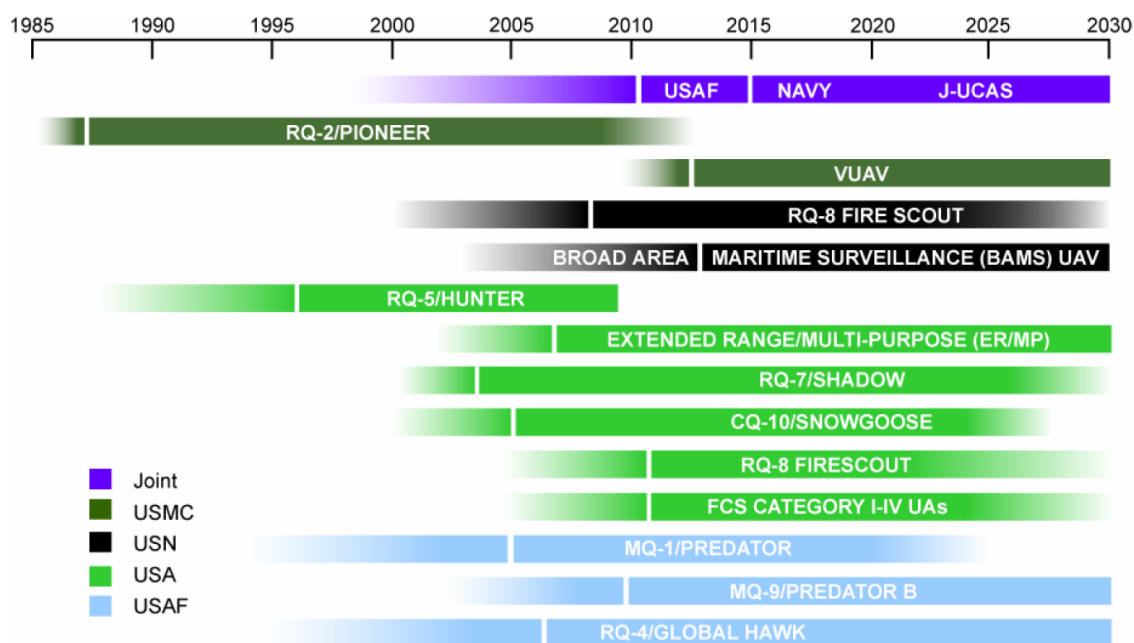
Štúdie ukázali, že existuje vyše 53 kategórií úloh, ktoré môžu UAS vykonávať. Na nasledujúcej strane je tabuľka s rozdelením UAS do niekoľkých najhlavnejších kategórií podľa možnosti ich využitia a účelu. [3]

	Kategória (skratka)	Max. vzletová hmotnosť (Kg)	Max. letová výška (m)	Vytrvalosť (Hodiny)	Data link Dosah (Km)	Príklady (ukážky)	
						Účel / Misia	Zariadenie UAS
Micro / Mini UAS	Micro (MAV)	0,1	250	1	< 10	Prehľadávanie, prieskum interiéru budov, trosiek, prieskum pre prepádové jednotky, NBC	Black Widow, Micro Star, Microbat, FanCopter, Mosquito, Hornet, LADF, WASP 1
	Mini	< 30	150 - 300	< 2	< 10	Natáčanie filmových scén, sledovanie znečistenia, dopravy, komunikačný prenos, fotografovanie, EW	Mikado, Aladin, Tracker, DragonEye, Raven, Pointer 2, Skorpio, RoboCopter, Carolo, SensorCopter
Taktické UAS	Close Range (CR)	25 - 150	3000	2 - 4	10 - 30	Vyhľadávanie mín, sledovanie oblastí, pátranie a záchrana, RSTA, EW	Rmax 2, SilverFox, Observer 1, Phantom, Copter 4, RoboCopter 300, Luna
	Short Range (SR)	200	3000	3 - 6	30 - 70	Prieskum oblastí, BDA, RSTA, EW	Sojka 3, Scorpio 6/30, FireBird, EyeVieW, Flyrt, Neptune, Fulmar, Pchela
	Medium Range (MR)	150 - 500	3000 - 5000	6 - 10	70 - 200	Prieskum, BDA, RSTA, EW, NBC	Hunter B, Mucke, AeroStar, Sniper, Falco, Armor X7, Smart UAV, UCAR, Eagle Eye+, Alice
	Long Range (LR)	-	5000	6 - 13	200 - 500	Prenos / predĺženie komunikácie a signálu, RSTA, BDA,	Hunter, Vigilante 502
	Multi role endurance (MRE)	500 - 1500	5000 - 8000	12 - 24	> 500	Prenos / predĺženie komunikácie a signálu, BDA, RSTA, EW, NBC	Aerosonde, Vulture 2 EXP, Shadow 600, Searcher 2, Hermes 700, Watchkeeper
	Low altitude deep penetration (LADP)	250 - 2500	3000	0,5 - 1	50 - 9000	Prieskum, pátranie	Nibbio, Carapas, CL 289
	Low altitude long endurance (LALE)	15 - 25	3000	< 24	> 500	-	Aerosonde MK3, Libellule, ScanEagle
	Medium altitude long endurance (MALE)	1000 - 1500	5000 - 8000	24 - 48	> 500	Predĺženie rádiového prenosu, prenos zbraní, BDA, RSTA, EW, NBC	Skyforce, Hermes 1500, Heron TP, MQ-1 Predator, Predator IT, DarkStar, E-Hunter, Dominator, Predator A/B, Eagle 1, Altair
Strategické UAS	High altitude long endurance (HALE)	2500 - 12500	15000 - 20000	24 - 48	> 2000	Predĺženie signálov, zaistenie bezpečnosti priestorov, BDA, RSTA, EW	Global Hawk, Raptor, Condor, Theseus, Helios, Predator B/C, Euro Hawk, SensorCraft, PathFinder plus,
Špeciálne UAS	Lethal (LET)	250	3000 - 4000	3 - 4	300	Proti radarové, protinámorné, protiletadlové, protiinfraštruktúrne, bojové	MALI, Harpy, Lark, Malura
	Decoys (DEC)	250	50 - 5000	< 4	0 - 500	Rušenie a zachytávanie nepriateľských signálov	Flyrt, Mald, Nulka, ITALD, Chukar
	Stratospheric (STRATO)	TBD	20000 - 30000	> 48	> 2000	-	Pegasus
	Exo - Stratospheric (EXO)	TBD	> 30 000	TBD	TBD	-	MarsFlyer, MAC-1
	Unmanned Easign (AV)	> 1000	12 000	2	1500	-	Corax, Sharc, Sky-X, Neuron, X-47A, X-47B, X-45A, X-46



1. Obr. Rozdelenie a prehľad UAS podľa max. výšky a hmotnosti [7]

1.2 Prehľad moderných UAS



2. Obr. Časová os prevádzkovania UAS v USA [7]

Graf zobrazuje časovú os prevádzkovania UAS v Spojených štátoch od roku 1985 až po plánovanú prevádzku do roku 2030. Graf bol zostrojený v DoD (Department of Defense) v roku 2005 pričom aktuálne je možné pozorovať menší predstih nástupu niektorých uvedených UAS ako napríklad v prípade lietadla X-47B UCAS, čo naznačuje aj veľký dopyt po bezpilotných lietadlách a ich pomerne rýchlu evolúciu. [7]

Letecký Ústav na Vysokom Učení Technickom v Brne má tiež pomerne dlhú históriu vo výrobe UAS. Prvýkrát sa tu začal vyvíjať bezpilotný prostriedok už v roku 1980 pod názvom projektu SOJKA. Moderná história bezpilotných prostriedkov potom začala až niekedy okolo roku 2001, kedy sa zrodil projekt UAVNET na ktorom spolupracovalo až 15 Európskych výskumných stredísk a univerzít. Neskôr okolo roku 2006 bolo výsledkom projektu (UAS) lietadlo VUT 001 Marabu. Ďalším vývojom bolo potom skonštruovaných ešte viacero UAS lietadiel. Najúspešnejším a zároveň najmodernejším z nich je VUT 700 Specto. Pôvodnou myšlienkou projektu bolo uľahčiť vývoj a rozvoj UAS v neseparovaných letových priestoroch. [2]

Krátky popis projektu miniUAS VUT 700 Specto:

Vývoj lietadla zahájený na Leteckom Ústave v roku 2006 pod vedením LÚ.

Projekt bol financovaný z grantov FSI 2006-2009 a CLKV.

Hlavné ciele projektu sú:

- Vývoj prístrojov a testovanie integrácií
- Meranie dynamických letových vlastností lietadla
- Testovanie bezpilotných technológií
- Vyvinutie UAS pre civilné využitie

Základné technické údaje lietadla (v prílohe A sú podrobnejšie údaje):

1. Tab. Technické údaje VUT 700 Specto

Rozpätie krídel:	4,2 m
Max vzletová hmotnosť:	20 Kg
Hmotnosť prázdneho lietadla:	12 Kg
Výkon motoru:	3,88 kW
Maximálna rýchlosť:	150 Km / h
Cestovná rýchlosť:	120 Km / h
Pádová rýchlosť:	55 Km / h
Konštrukcia:	Celokompozitová
Pohonná jednotka:	MMVS 45 ccm, 3,88 kW



3. Obr. UAS VUT 701 eSpecto [2]

1.2.1 Silent Falcon

Silent Falcon je elektrické (solárne), celokompozitové, modulárne, malé bezpilotné lietadlo kategórie MINI UAS navrhnuté pre (ISR) civilné, komerčné, verejné a bezpečnostné účely. Vďaka solárnym panelom a modernej kompozitovej konštrukcii v kombinácii s meniteľným systémom krídel patrí medzi jedno z lietadiel schopných lietať na dlhé misie, využiteľné ako v komerčnej sfére tak aj pre verejné, či vojenské úlohy.



4. Obr. Silent Falcon [4]

2. Tab. Technické údaje Silent Falcon

Falcon Vision, Silent Falcon sUAS Technická údaje	
Užitočné zaťaženie / Náklad	Falcon Vision - palubné spracovanie videa umožňuje: Spracovanie HD videa v horizontálnom rozsahu 360° kontinuálne a +150 až -90 stupňovom vo vertikálnom sklone, obsahuje palubný AHRS systém s vysoko výkonnou inerciálnou stabilizáciou, geo-pointing a geo-location senzory a duálnu HD EO, IR kameru.
Dolet	15 Km a s prídavnou pozemnou anténou až 50+ Km
Vytrvalosť letu	od 5 až do 12 hodín podľa konfigurácie krídel
Rýchlosť letu	32 až 112 Km/h
Operačná výška	od 60m AGL do max. 6100m MSL
Rozpätie krídel	SF-S - 2,7 m; SF-M - 4 m; SF-L - 5,1 m
Dĺžka	2 m
Hmotnosť	od 11 Kg do 11,5 Kg v závislosti na krídle
Auto pilot	MicroPilot MP 2128 g2
GSC (pozemná stanica)	Horizon Unified GSC - Ground control station
Komunikácia	Micohard Nano DDL 12 Mbps
Anténa	Aircraft Cobham Blade, Ground 15 dBi Omni Directional
Vzlet / Pristátie	Katapultový vzlet, padákové pristátie, alebo raketový vzlet a pristátie na podvozku
Zdroj energie	Elektrické (Li-Ion Batérie)/Solar (TFPV)
Transponder	Voliteľný Mode S a ADS-B
Výroba	Doručenie do 4 mesiacov od zadania objednávky

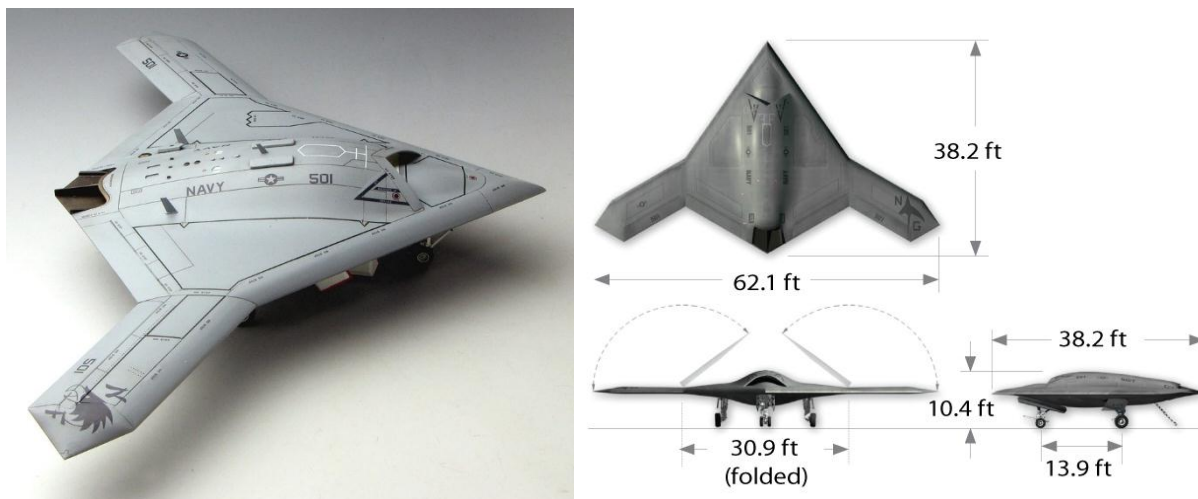
Hlavnými výhodami lietadla voči konkurencii sú najmä:

1. Dlhá vytrvalosť letu
2. Dlhý dolet
3. Photo-Voltaic Film (TFPV) na hornej strane krídel a dobíjanie LiPo batérii
4. Stabilizovaný vysoko výkonný HD Electro-Optical a infračervený senzor

5. Možnosť meniť konfiguráciu lietadla podľa potreby a dostupnosť rôznych druhov senzorov ako MWIR, hyperspectral image, LIDAR
6. Jednotný pozemný riadiaci systém
7. Veľmi tichý a efektívny pohonný systém, nedetekovateľný vo výške už 200 ft AGL
8. Ľahká kompaktná konštrukcia z kompozitov z uhlíkových vlákien
9. Dostupné sú 3 typy meniteľných krídel čo umožňuje prispôbienie sa povahe misii z hľadiska doletu a vytrvalosti lietadla
10. Autonómne plnenie úloh, od vzletu až po pristátie [4]

1.2.2 X-47B

Spoločnosť Northrop Grumman začala okolo roku 2007 vyvíjať bojové bezpilotné lietadlo ako samokrídlo veľkosti bežného stíhacieho lietadla, ktoré by bolo schopné bezpečne operovať, teda pristávať a vzlietať z lietadlovej lodi počas plavby na mori čo je jedno z najnáročnejších prostredí kde lietadlá pôsobia. Lietadlo prvý krát vzlietlo v roku 2011. Prvý vzlet z lietadlovej lodi bol však vykonaný až v roku 2013. Lietadlo je schopné plniť prieskumné a takticko-bojové misie, pričom unesie až 2041 Kg nákladu (rakety rôzneho druhu) a dokáže tankovať za letu. [5]



5. Obr. X-47B [5]

3.Tab. X-47B technické údaje

Northrop Grumman X-47B UCAS Technické údaje	
Náklad	2041 Kg (Zbrane v dvoch vnútorných priestoroch)
Dolet	3889,2 Km
Rýchlosť letu	Vysoká podzvuková (0,9+ Mach)
Operačná výška	do 12 192 m MSL
Rozpätie krídel	18,9 m
Výška	3,1 m
Dĺžka	11,64 m
Prázdna hmotnosť	6350 Kg
Hmotnosť (MGTOU)	19958 Kg
Pohonná jednotka	1x Pratt & Whitney F100-PW-220U
Cena	635,8 milióna US dolárov

1.2.3 Bat



6. Obr. Bat [5]

Bat spoločnosti Northrop Grumman je medium-altitude, multi-mission UAS, ktorý prvý krát vzlietol v roku 2006. Je to viacúčelové lietadlo schopné prispôbiť sa podľa potreby danej situácii, pričom je k dispozícii viacero variant krídel a senzorov. Lietadlo je možné využívať na prehľad o pozemnej, ale i vzdušnej situácii pomocou EO/IR senzorov (kamier), na prenos rádiových vln, elektronický boj EW, môže obsahovať SAR radar a podobne v závislosti od konfigurácii vybavenia. Nákladný priestor lietadla, ktorý unesie až 45Kg je netradične veľký pre túto kategóriu a to až 0,17 m², vďaka kompozitovej konštrukcii a koncepcii lietadla. Výhodou je tiež to, že spaľovací 15,8 koňový motor mu umožňuje prevádzku na klasický 95-100 oktánový benzín. Bat pre vzlet nepotrebuje žiadnu pristávaciu dráhu, používa pneumaticko-hydraulický vystreľovací systém dlhý len niečo málo cez 5m. Pre pristátie lietadla sa používa záchytná sieť. Je schopný letu BLOS (mimo dohľad) a je možné ho ovládať len pomocou jediného počítača (laptopu). [5]



7. Obr. BAT príslušenstvo [5]

4. Tab. Bat technické údaje

Nothrop Grumman BAT 12+2 Technické údaje	
Náklad	Viac než 45,7 Kg
Vytrvalosť letu	15 Hodín
Rýchlosť letu	Max. 167 Km/h
Operačná výška	Max. 5200 m MSL
Rozpätie krídel	4,3 m
Dĺžka	2 m
Hmotnosť (MGTOV)	113,5 Kg



8. Obr. Obsluha Bat UAS [5]

1.2.4 RQ-4 Global Hawk



9. Obr. Global Hawk [6]

Global Hawk je jedno z najvýznamnejších a zároveň aj najznámejších UAS lietadiel, pričom drží aj niektoré svetové rekordy v oblasti UAS. Projekt sa zrodil už v roku 1995 ako HALE UAS – High Altitude Long Endurance, prvý let bol vykonaný v roku 2008. Dnes je moderná verzia tohto lietadla známa ako RQ-4A Block 40. Od jeho počiatkov do dnes si prešlo mnohými zmenami a modifikáciami, pričom existuje aj množstvo verzií v závislosti od miesta kde má lietadlo pôsobiť a povahy misie ktorú má vykonávať. Nemecká verzia Global Hawk sa nazýva Euro Hawk RQ-4B a vznikla v spolupráci s Northrop Grumman a EADS (Cassidian) pre nemeckú armádu. Global Hawk disponuje výnimočnými ISR schopnosťami a umožňuje prenos HD obrazu a fotografií veľkých oblastí cez deň či v noci a za každého počasia k čomu mu pomáha aj 10 palcová optika, pomocou ktorej dokáže preskúmať za 24 hodín letu až vyše 100-tisíc kilometrov štvorcových. Drží rekord medzi UAS za najdlhšiu preletenú vzdialenosť (okolo 14 000 Km) a zároveň aj pre najdlhší let (34,3 Hodiny), dokonca je jedným z najťažších UAS.

5. Tab. Global Hawk, technické údaje

Global Hawk RQ-4A Block 40 Technické údaje	
Náklad	1360 Kg
Dolet	22,780 Km
Vytrvalosť letu	24 až 32 Hodín
Rýchlosť letu	max. 310 Kt TAS
Operačná výška	max. 18,3 Km
Rozpätie krídel	39,9 m
Výška	4,7 m
Dĺžka	14,5 m
Hmotnosť (MGTOU)	14,628 Kg
Motor	Prúdový
Vzlet / Pristátie	Samostatne len pomocou vlastného podvozku



10. Obr. Global Hawk [6]

Do vybavenia UAS patrí aj MCE (Mission Control Element) a LRE (Launch and Recovery Element) pre zaistenie jeho prevádzky. Pre Euro Hawk (EH) a Global Hawk (GH) vypracoval EUROCONTROL aj zvláštne letové postupy, umožňujúce ich prevádzku vo vzdušnom priestore Európy. [6]

Prehľad súčasných UAS registrovaných v Českej Republike je uvedený v prílohe C.

1.3 Súčasné možnosti a využívanie UAS

Po mnohé roky boli UAS využívané prevažne len pre vojenské účely v obmedzených vojenských zónach. Už v roku 2004 však vyvíjalo UAS viac než 30 krajín a vyrábali viac než 250 rôznych modelov týchto lietadiel. Dnes už väčšina vyspelých krajín prevádzkuje desiatky typov UAS rôzneho druhu a určenia, schopných lietať na dlhé vzdialenosti, vo veľkých výškach a pomerne vysokými rýchlosťami. Takmer všetky významnejšie malé i veľké spoločnosti vyrábajúce lietadlá sa zaoberajú aj vývojom a výrobou bezpilotných lietadiel. V roku 2000 dosiahol svetový obchod s UAS objednávky za viac ako jeden bilión EUR s ročným vzrastom o vyše 7% z čoho v tej dobe však 90% bolo pre vojenské účely. To bol dostatočný impulz najmä pre FAA a v tej dobe ešte JAA a EUROCONTROL na to, aby sa intenzívne začali zaoberať legislatívou okolo týchto zariadení na čo vyvíjali nátlak aj výrobcovia týchto lietadiel. V tomto období nastal výrazný skok vo výskyte UAS a stali sa populárnymi aj v civilnej oblasti. Začali sa pomaly riešiť problémy spojené s ich prevádzkou, začali vznikať prvé reálne koncepty riešiace ich prevádzku a certifikáciu. Nakoľko vo vojenskej sfére sú UAS veľmi rozšírené v civilnej oblasti je ich využívanie aj napriek veľkému potenciálu značne obmedzené najmä kvôli problémom s ich prevádzkou spôsobených nedostatočnou legislatívou, ktorá vôbec nerieši podstatné záležitosti týkajúce sa ich prevádzkovania v civilnom vzdušnom priestore a významne ich prevádzku obmedzuje. No aj napriek tomu záujem o UAS stále rastie a od roku 2007 do roku 2009 sa ich počet približne strojnásobil.

Pre uvedenie UAS na trh v civilnej oblasti boli stanovené tri kategórie:

Technology induced applications – Aplikácie vyvolané technológiou, využitie so zameraním na miestne aplikácie, najmä vizuálna kontrola krajiny a pozorovanie krajiny, UAS sa vyznačujú veľmi malým užitočným zaťažením a rozmermi, snaha o znižovanie hmotnosti samotného UAS a zníženie spotreby energie. Využitie najmä pre výskumné strediská, univerzity a malé podniky.

Platform induced applications – Aplikácie vyvolané platformou, najmä pre účely vládneho využitia a monitorovanie objektov, infraštruktúry ako sú potrubia, elektrické vedenie a podobne. Vládne a vedecké misie. Využitie najmä teda pre vládu, armádu a výskumné centrá.

Service induced application – Aplikácie vyvolané službami, použitie hlavne vo vysokých nadmorských výškach, geostacionárne, pre účely telekomunikácie a vysielať.

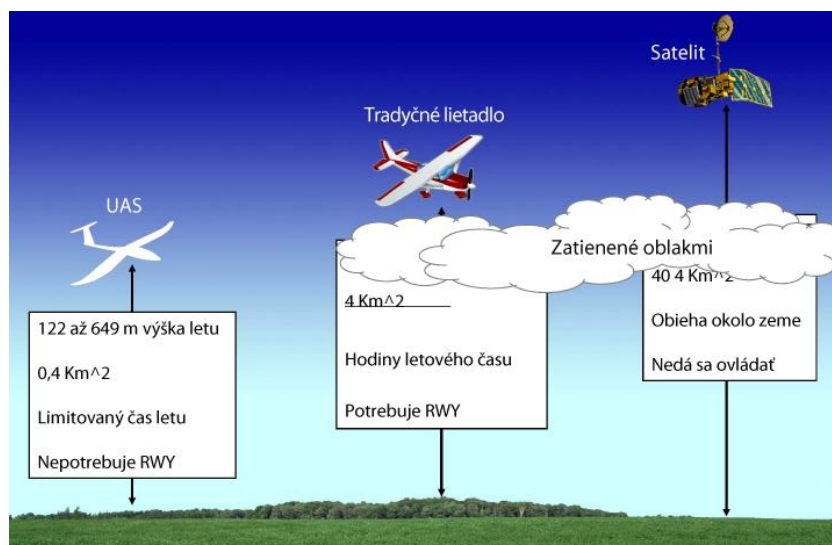
Medzi komerčné činnosti ktoré dnes UAS bežne vykonávajú patrí najmä: fotografovanie terénu, rôznych oblastí, nehnuteľností, katalógov, nakrúcanie filmových scén, leteckých záberov, monitorovanie hraníc a rôznych objektov, sledovanie cestnej premávky, kontroly infraštruktúry, elektrických vedení, potrubí, pátranie a záchrana, testovanie nových technológií, meteorologický výskum, detekcia znečistenia ovzdušia, monitorovanie povodia riek a národných parkov, migrácie zvery a mnoho iného. Eurocopter napríklad testuje bezpilotnú verziu vrtuľníka EC 145, ktorý by sa mal stať základom pre záchrannú pátraciu verziu helikoptéry, pričom mnoho pátracích misií v súčasnosti musí byť kvôli nepriaznivému počasiu zrušených, aby nebola ohrozená samotná posádka vrtuľníka. Spoločnosť Amazon zasa testuje projekt, kde je zákazníkom doručovaný tovar ktorý si objednávajú cez internet pomocou bezpilotných prostriedkov.

Potencionálne využitie UAS je obrovské. V súčasnosti prebieha intenzívna propagácia týchto systémov a snaha využívať ich všade tam, kde je to možné a kde je možné ich prevádzkou ušetriť prostriedky, prípadne skvalitniť úlohy, ktoré boli doteraz vykonávané iným spôsobom. Najväčšie zastúpenie UAS okrem iného v civilnom sektore čo sa týka leteckých prác a komerčných činností je fotografovanie a monitorovanie terénu. Možnosti využívania UAS pre civilné účely sú ako už bolo viac krát spomenuté striktne obmedzené prísnou legislatívou, ktorá im umožňuje prevádzkovať len v určitých obmedzených oblastiach oddelených od ostatnej prevádzky s príslušným povolením. Napriek tomu stále nachádzajú svoje uplatnenie takmer vo všetkých oblastiach vedy a techniky. [7]

Ako príklad je tu uvedené moderné UAS, ktoré sa v súčasnosti veľmi úspešne využíva aj v reálnej prevádzke a jeho porovnanie s klasickými metódami.

1.3.1 Porovnanie využívania UAS a tradičných metód

V poľnohospodárstve, obzvlášť na obrovských rozsiahlych územiach je dôležité pravidelne sledovať počet a stav rastlín, index listovej plochy, typ pôdy, vlhkosť pôdy, fázu rastu, dusíkatosť pôdy, zdravie rastlín, výskyt biomasy (škodcov) a podobne. Čo je nesmierne dôležité pre zaistenie úrody a tým pádom aj zisku. Mnohé firmy takúto činnosť donedávna vykonávali hlavne pomocou satelitov alebo, prostredníctvom klasických, pilotovaných lietadiel. Tieto metódy so sebou prinášajú celú radu nedostatkov a nevýhod v porovnaní s UAS, ktoré sú navyše niekoľko krát lacnejšie.



11. Obr. UAS v poľnohospodárstve [8]

Jedným z mnohých UAS vytvorených pre monitorovanie poľnohospodárstva je aj Lancaster od firmy Precision Hawk. Je to moderné UAS lietadlo, ktoré má množstvo funkcií a voliteľných modulov. Je schopné autonómne operovať, zvoliť si optimálnu dráhu letu, vyhodnotiť stav počasia, prípadne sa vyhnúť nepriaznivému počasiu, nepretržite monitoruje svoj stav, ako nabitie batérie, životnosť, poškodenie a podobne, pričom stále dokáže v reálnom čase odosielať potrebné dáta do ovládacieho počítača. Je možné si zvoliť aj variantu s plavákmi, ktorá dokáže vzlietať a pristávať na vodu. Možno je tiež vybrať si z celej škály senzorov podľa potreby a povahy územia ktoré, chcete monitorovať. Na výber je napríklad stabilizovaná HD kamera + Fotoaparát, multispektrálny senzor, termálny, infračervený senzor, LIDAR (3D laser) pre

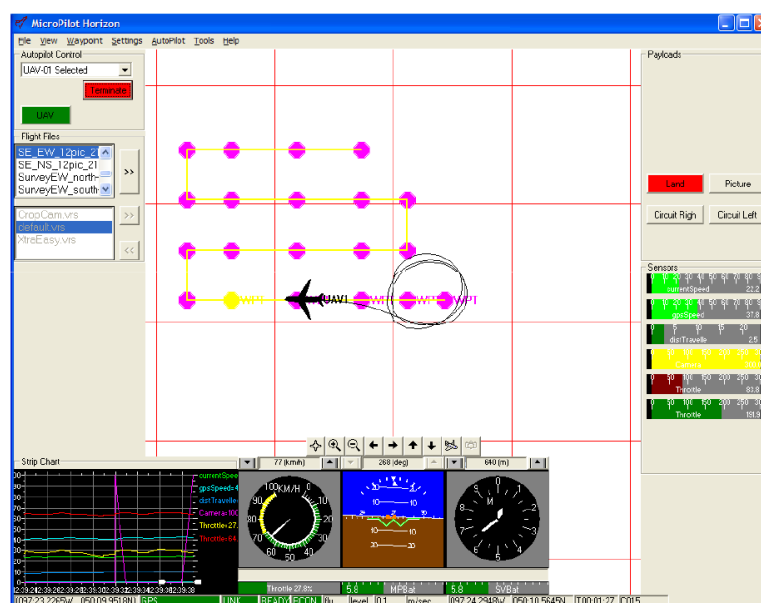
vytváranie 3D terénu a hyperspektrálny senzor. Dáta z lietadla sú automaticky odosielané na server, odkiaľ je možné kedykoľvek si ich pozrieť. Uplatnenie Lancastera nie je len v poľnohospodárstve, ale aj pri monitorovaní povodia riek, geologických výskumoch, pri živelných katastrofách a podobne. Hlavné výhody sú v tom, že oproti satelitnému snímkovaniu sú dáta vo vyššej kvalite, charakteristická je veľmi jednoduchá obsluha a ovládanie systému, môžete si samy zvoliť kedy a čo chcete monitorovať, neprekážajú vám oblaky, nie ste na nikom závislí a najmä využitie UAS je neporovnateľne lacnejšie a to aj v porovnaní s pilotovaným lietadlom. Včasné zistenie problémov v poľnohospodárstve často v konečnom dôsledku pomôže predísť rozsiahlemu poškodeniu a ušetrí obrovské financie. [8]

6. tab. Lancaster, technické údaje

Precision Hawk, Lancaster Technické údaje	
Náklad	1 Kg
Vytrvalosť letu	do 3 hodín
Rozpätie krídel	1,21 m
Dĺžka	2 m
Hmotnosť (MGTOW)	3 Kg



12. Obr. Lancaster [8]



13. Obr. Ovládaci softvér lietadla [8]

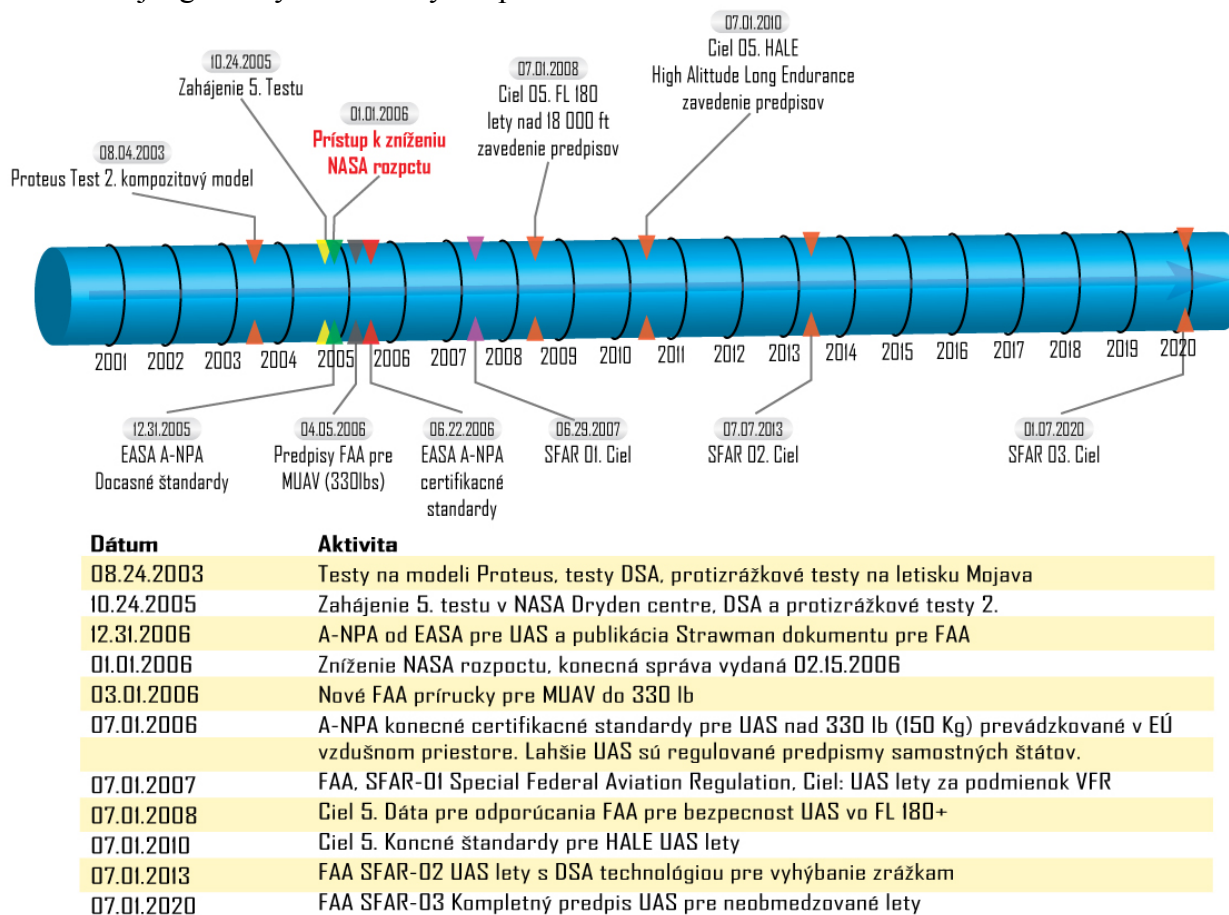
Súčasný okruh potencionálnych možností využívania moderných UAS je naozaj nesmierne široký a neustále sa zväčšuje bok po boku s vývojom technológií, ktorých vývoj v dnešnej dobe napreduje neuveriteľnou rýchlosťou. Vývoj UAS technológií je v posledných rokoch dokonca taký rýchly, že napreduje pred vývojom legislatívy. Moderné UAS ako napríklad, ich aj keď už trochu staršia vlajková loď, Global Hawk, majú možnosti a výkony, ktoré v mnohých smeroch predčia aj tradičné pilotované lietadlá. Dokážu byť prevádzkované za všetkých poveternostných podmienok, majú možnosť plne autonómneho letu bez zásahu operátora, pričom si dokážu aj samostatne naplánovať trať letu s ohľadom na rôzne vplyvy, ako napríklad počasie, dolet a podobne. Bezpečnosť je tu rovnako ako u pilotovaných lietadiel na prvom mieste a na UAS ktoré, sa chcú pohybovať v riadených priestoroch platia prísne požiadavky ktorými sa musia riadiť a ktoré im zaručujú vysokú hladinu bezpečnosti. Takéto požiadavky sa vzťahujú podobne ako u pilotovaných lietadiel na spoľahlivosť celého systému okolo UAS, na zabezpečovanie rozstupov medzi lietadlami a prekážkami, na minimálne vybavenie, ktorým musí UAS disponovať, na výcvik operátorov lietadiel, na riadiacich a podobne.

Z predchádzajúcich viet a strán vlastne vyplýva, že UAS sú takmer vo všetkých smeroch lepšie než pilotované lietadlá (efektivita, cena, bezpečnosť). V čom teda spočíva problém? Problém spočíva v tom, že UAS nemajú na palube pilota, ktorý by priamo a výhradne rozhodoval o vykonaní letu. O vykonaní samotného letu rozhoduje operátor zo vzdialenej riadiacej stanice no tu nastáva problém. Čo ak dôjde k strate kontroly nad lietadlom? Čo ak sa spojenie z nejakého dôvodu preruší? (LL – Lost link). Riešením je predsa schopnosť UAS vykonať (bezpečne dokončiť) let samostatne. Postupne sme narazili na otázku kto vlastne let v prípade straty spojenia vykoná? Je to dopredu naprogramovaný softvér, ktorý má dajme tomu 100% spoľahlivosť bezporuchovosti, avšak, aj keby mal naprogramované riešenia pre všetky známe situácie, vždy môže nastať kombinácia náhodných udalostí s ktorými si takýto softvér neporadí a tým vzniká riziko predpokladu, že dôjde k nehode UAS. V súčasnosti je už možné zaistiť spoľahlivosť spojenia UAS s riadiacou stanicou na veľmi vysokej úrovni, ktorá zodpovedá určitej požadovanej minimálnej spoľahlivosti a takisto je možné, aby si spomínaný softvér UAS dokázal poradiť vo väčšine prípadov, pričom je možné tiež dosiahnuť vysokú úroveň bezpečnosti. Riziko nehody však vždy hrozí rovnako ako je tomu u pilotovaných lietadiel, no je možné ho vhodnými technológiami a predpismi znížiť na minimum. Reálnym dôvodom prečo sa UAS teda dnes ešte nevyužívajú sú niektoré technické nedostatky ktoré treba ešte preskúmať a overiť a taktiež aj to aj už mnoho krát spomínaná zastaraná legislatíva.

1.4 Aktuálna legislatíva a požiadavky na UAS

Predpisy v oblasti UAS, ako je už známe sú zastaraná a nedostatočné pre požiadavky dnešnej doby. Dnes sa vyvíja tlak na to, aby UAS mohli byť prevádzkované súčasne s pilotovanými lietadlami bez špeciálnych obmedzení. Tento problém sa samozrejme už intenzívne rieši avšak zahŕňa celú radu komplikácií týkajúcich sa letovej prevádzky. Dá sa povedať že je potrebné vytvoriť, prípadne len upraviť takmer celú doterajšiu leteckú legislatívu, ktorá zahŕňa množstvo oblastí od certifikácie jednotlivých častí UAS až po rôzne núdzové postupy a odporúčania. Nie je to vôbec jednoduchá úloha, keď zväžíme že letecká legislatíva vznikala niekoľko desiatok rokov, aj keď samozrejme už existujú nejaké skúsenosti aj s prevádzkou UAS. Takúto potrebu tvorby legislatívy a aplikácie UAS do komerčného vzdušného priestoru si ako prvý uvedomili USA, teda FAA. FAA však samozrejme vytvára legislatívu, ktorá je kompatibilná aj s EÚ legislatívou a teda

spolupracuje s EASA a aj s ICAO. Jedným z cieľov je aj harmonizácia leteckej legislatívy ako USA, EÚ tak aj so zvyškom sveta. Pri tvorbe legislatívy pre UAS narážame na niekoľko špeciálnych problémov, ktoré sú špecifické len pre bezpilotné lietadlá. Medzi takéto problémy patria napríklad aj otázky okolo operátora UAS, kde sa výskumom v USA zistilo, že operátor riadiaci lietadlo zo vzdialenej stanice nepocítiťuje takú istú zodpovednosť ako reálny pilot v letiacom lietadle, čo môže mať určitý vplyv na bezpečnosť letu. Ďalší veľký otáznik visí nad možnosťami zneužitia UAS pre teroristické účely, na ktoré sa bohužiaľ javia, ako ideálny prostriedok. Ďalší problém je spojený s tým, že dnes dokážeme bez problémov vyrobiť UAS takých rozmerov a tvaru, že je pre bežný radar úplne neviditeľné bez odpovedača, v čom tiež spočíva určitá hrozba. Všetky tieto a mnohé iné podobné problémy je možné vyriešiť zavedením vhodnej legislatívy a technických opatrení.



14. Obr. Časová os integrácie UAS do neseparovaných priestorov [9]

Aktuálny stav prevádzkovania UAS v EÚ je nasledovný:

Eurocontrol spolu s JAA v roku 2004 vydal dokument s názvom UAV Task Force Final Report a neskôr v júly roku 2007 vydal aj dokument s názvom: Specifications for the Use of Military UAVs as Operational Air Traffic Outside Segregated Airspace. Dokument UAS Task Force Final Report neobsahuje však žiadne záväzné postupy a predpisy, ale tvorí len akýsi základ pre tvorbu ďalšej legislatívy v oblasti UAS. Na základe tohto dokumentu potom vznikol aj druhý vyššie uvedený dokument upravujúci prevádzku vojenských UAS, ktoré sú v súčasnosti veľmi rozšírené. Existuje už aj plán a koncept novej legislatívy, ktorá by mala umožniť oveľa efektívnejšie využívanie UAS a vyriešiť všetky súčasne nedostatky. Aktuálne na základe niektorých medzinárodných obežníkov, odporúčaní a iných dokumentov si jednotlivé štáty vytvárajú vlastné postupy pre prevádzku UAS. Vo väčšine sú si veľmi podobné a len málo sa odlišujú.

Niektoré dokumenty upravujúce UAS prevádzku sú nasledovné:

- ICAO Annexy a ich doplnky
- ICAO Doc. 4444: PANS-ATM (Procedures for Air Navigation)
- ICAO – SARP (Standard and Recommended Practices)
- JAA / Eurocontrol UAV TF Final Report 2008
- 14 CFR PART 1 / CS 25, CS 23 – integrácia UAS
- Zákon o civilnom letectve 49/1997 Sb. ČR / SK
- Rôzne ICAO obežníky ako napr.: Cir.: 328 AN/190
- Nariadenie EÚ Parlamentu a Rady (ES) č. 216/2008

Ostatné dokumenty riešiacie rôzne aspekty letovej spôsobilosti, softvéru a hardvéru sú uvedené v nasledujúcej tabuľke:

7. Tab. Prepisy pre UAS

Druh:	Predpis:	Publikoval:	Poznámka:
Letová spôsobilosť	STANAG 4671	NATO	-
	F2501	ASTM	-
	E.Y013-01	EASA	zahrnutý v PART 21 B z EC 1702/2003
Letecký softvér	DO 178B	RCTA	-
C3 / Datalinks	DO 260B	RCTA	ADS-B - 1090MHz Air Transport
	DO 282B	RCTA	ADS-B - 978MHz General Aviation
	DO 264(X?)	RCTA	Being drafted
	STANAG 4660	NATO	C2 links
	STANAG 7085	NATO	Imaging datalinks
General UAS	DO 304 / 320 / 264	RTCA	
	UAS SARPs	ICAO	Being drafted. Cir 328 AN/190 released in 2011
Sense & Avoid	F2411	ASTM	-
	DO 289	RCTA	-
	PFP(N*)D(08)0002	NATO	N* - NATO Naval Armaments Gr
	DO 264 (Y?)	RCTA	Being drafted
UAV Riadiace systémy	STANAG 4586	NATO	-
UAV Výcvik posádok	STANAG 4670	NATO	-
	ARP 5707	SAE	-
	F2635 / F2636	ASTM	-
	8219.1-3.6	DCMA	-
	CJCSI 3255.01	CJCS J7	BUQ I to IV

Z uvedených dokumentov má aktuálne takmer každý členský štát ICAO vytvorený svoj vlastný predpis upravujúci prevádzku UAS nad jeho územím. Cieľom blízkej budúcnosti je však už spomínaná harmonizácia predpisov v EÚ a vytvorenie vhodnej legislatívy pre neseparovanú prevádzku UAS v riadenom letovom priestore. Plánovaný predpis, ktorý by mal prísť do praxe v EÚ okolo roku 2018 až 2020 vyvíja skupina

Eurocae Working Group 73 a v USA je to skupina RTCA. Oba predpisy budú nakoniec akceptovateľné ako v EÚ tak i v USA vďaka ich harmonizácii a spolupráci.

Nakoľko UAS chcú byť súčasťou riadeného vzdušného priestoru, kde sa nachádzajú aj pilotované lietadlá musia plne rešpektovať pravidlá týkajúce sa riadených lietadiel plus niektoré zvláštne opatrenia, týkajúce sa UAS prevádzky. UAS prevádzka a klasická prevádzka musia spolu existovať súčasne bez akéhokoľvek zníženie bezpečnosti a plynulosti letovej prevádzky. Aby bola takáto spoločná prevádzka možná, je nevyhnutné ako prvé rozdeliť (kategorizovať) UAS lietadlá podobne, ako pilotované lietadlá do určitých tried podľa ich vybavenia a možností. Takéto delenie je uvedené v tabuľke na strane 10. Existujú však prípady, kedy je rozdelenie UAS pomerne komplikované. Takýmto prípadom je napríklad aj veľmi malé, ale zároveň veľmi výkonné lietadlo spoločnosti Boeing ScanEagle. Čo sa týka hmotnosti jednoznačne patrí do kategórie mini UAS, avšak jeho dostup je až 4600 m, jeho vytrvalosť je 15 hodín pričom tieto výkony sú lepšie, ako u niektorých taktických UAS. Takýchto prípadov sa vyskytuje čoraz viac a preto vznikajú určité problémy s rozdeľovaním UAS do kategórií. Toto počiatočné delenie je však aj napriek tomu dôležité pre nasledujúce kroky, kde podobne, ako u pilotovaných lietadiel, sú presne stanovené pre jednotlivé kategórie lietadiel požiadavky týkajúce sa kvalifikácie posádky, samotného vybavenia lietadla, certifikácie, prevádzky vo vzdušnom priestore a podobne. Napríklad ak chce nejaké UAS vstúpiť do priestoru triedy C, tak potrebuje predpísané minimálne vybavenie, ktoré je odlišné od toho s ktorým si vystačí v priestore triedy G, pričom sú kladené aj prísnejšie požiadavky na výcvik posádky a dodržiavanie určitých štandardov. Tento systém je podobný ako aktuálny systém u pilotovaných lietadiel. Ako sa postupne mení letový priestor s nasledujúcou generáciou NextGen a systémom Single European Sky (SESAR) budú následne vytvorené nové požiadavky na vstup do takéhoto priestoru, ako napríklad nutnosť vybavenia systémom ADS-B a podobne. Iným spôsobom rozdelenia UAS než v tabuľke na str. 10, môže byť ich delenie podľa stupňa automatizácie:

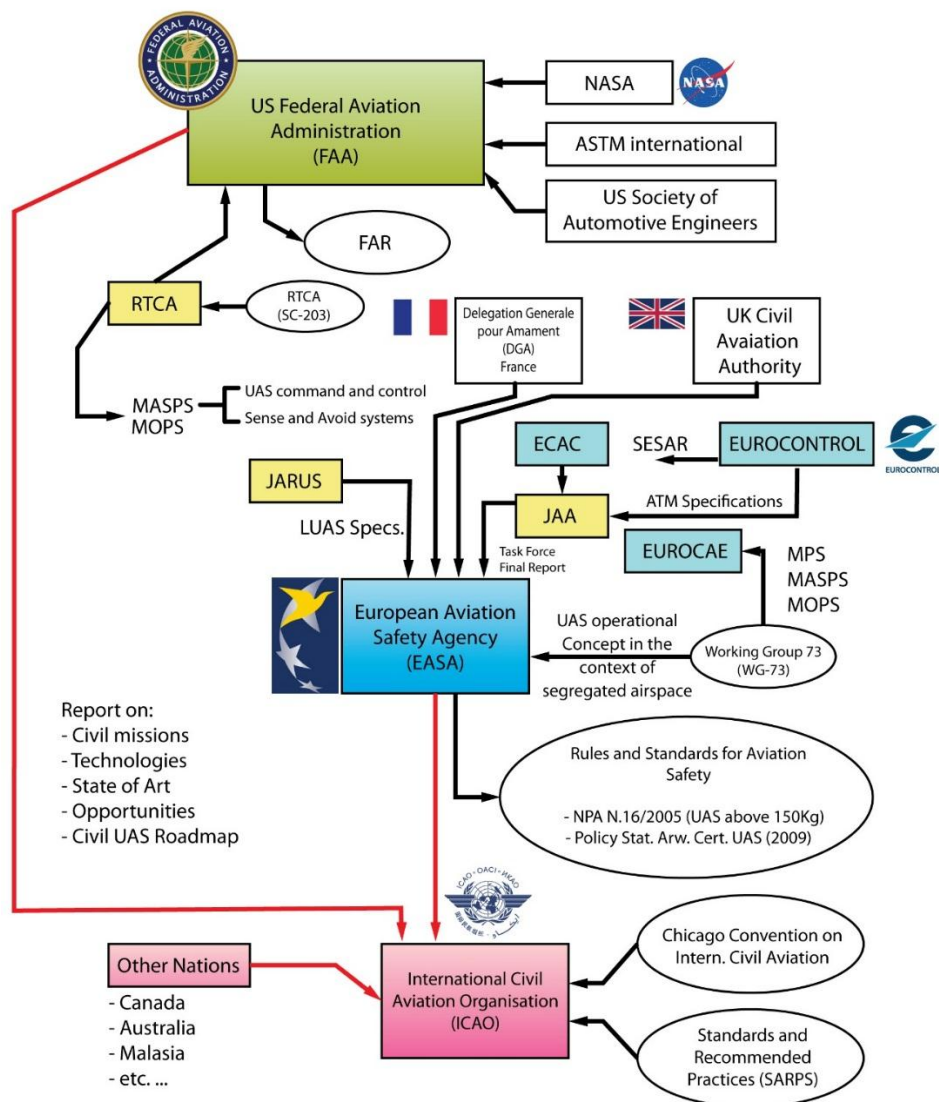
1. Manuálne ovládanie – pilot riadi lietadlo len vo svojom vizuálnom dohľade pomocou JoySticku alebo iného zariadenia a má len obmedzené možnosti auto pilota (napr. len držanie smeru letu, výšky letu, vísenie a podobne).
2. Poloautomatické ovládanie – pilot operátor riadi lietadlo pomocou počítača (klávesnica a myš), nie priamo, ale len zadáva príkazy, ktoré lietadlo následne vykonáva, napríklad UAS: MQ-1C Gray Eagle
3. Automatické ovládanie – pilot lietadlo neovláda vôbec, riadi sa výhradne automaticky pomocou vopred naprogramovaného programu a dokáže samo vyriešiť všetky predpokladané situácie, pilot však samozrejme môže vykonávať dozor nad priebehom letu, prípadne upravovať program letu, takéto lietadlá lietajú výhradne mimo vizuálny dohľad pilota a je ním napríklad RQ-4B Global Hawk. Aktuálna legislatíva však vyžaduje, aby pilot neustále monitoroval let lietadla a mohol kedykoľvek zasiahnuť, čo však let degraduje do kategórie poloautomatických UAS. **[9]**

Európske predpisy upravujú množstvo oblastí leteckej legislatívy okolo UAS a to najmä:

- ATM rozdelenie UAS činností
- Režimy operácií
- Pravidlá letu

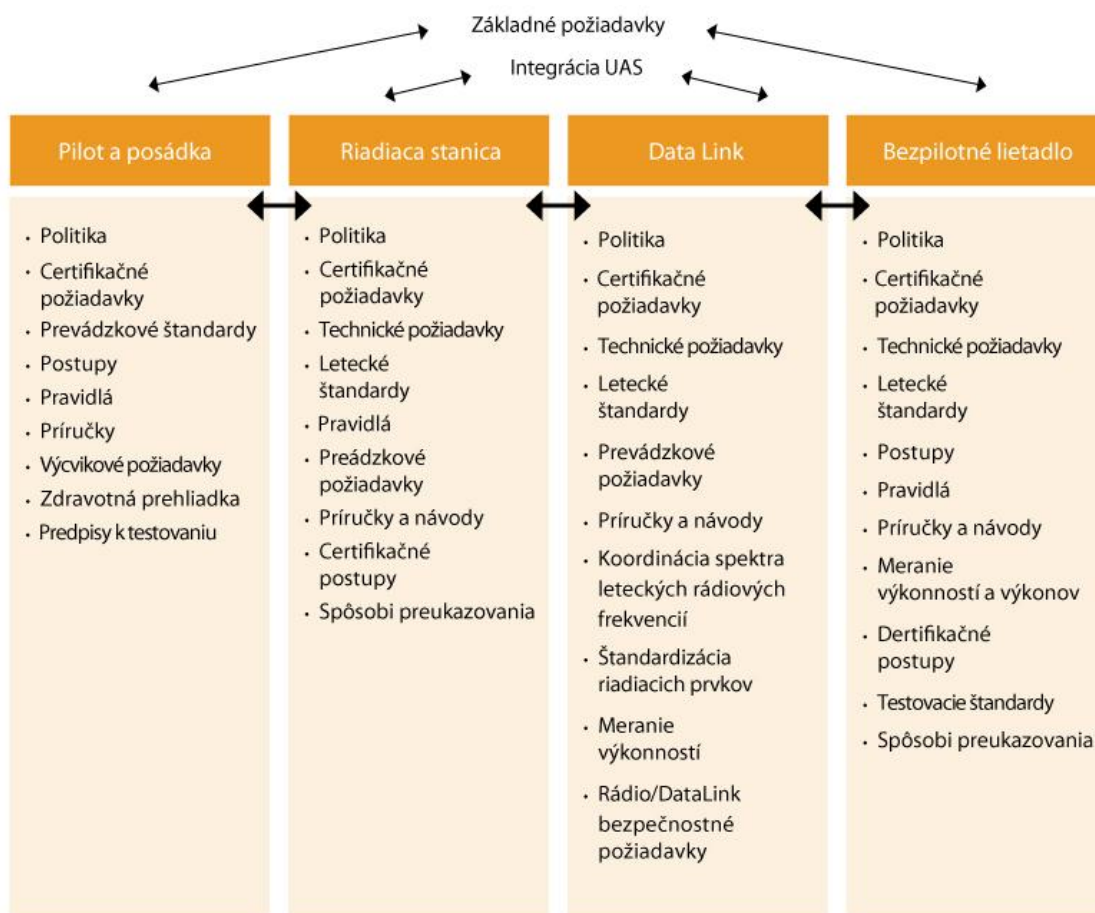
- Práva prednosti a predbiehania
- Rozstupy, separácia od ostatných účastníkov letovej prevádzky
- Technológiu „snímania a vyhnutia sa“ (Sense and avoid)
- Separačné minimá / minimá rozstupov
- Letiskové postupy, postupy na zemi, pri rolovaní
- Núdzové postupy
- Rozdelenie vzdušného priestoru
- Komunikácia s ATC
- Meteorológia
- Let cez a pozdĺž štátnych hraníc a hraníc vzdušných priestorov (FIR/UIR)
- OAT CNS požiadavky
- Minimálne požiadavky na vybavenie lietadiel a ATC

Na obrázku nižšie je znázornená celosvetová sieť tvorby leteckej legislatívy, kde vidieť, ktoré organizácie a štáty sa podieľajú na tejto tvorbe a takisto je znázornené ich prepojenie. [10]



15. Obr. Tvorba legislatívy ohľadom UAS [10]

Nasledujúci obrázok znázorňuje všetky predpisy, príručky, návody, štandardy, odporúčania, postupy a inú legislatívu, potrebnú pre prevádzku UAS. [14]



16. Obr. Produkty pre reguláciu prevádzky UAS [14]

Pre objasnenie nasledujúcich postupov je dobré pripomenúť si že, letový priestor sa vertikálne rozdeľuje na 7 tried:

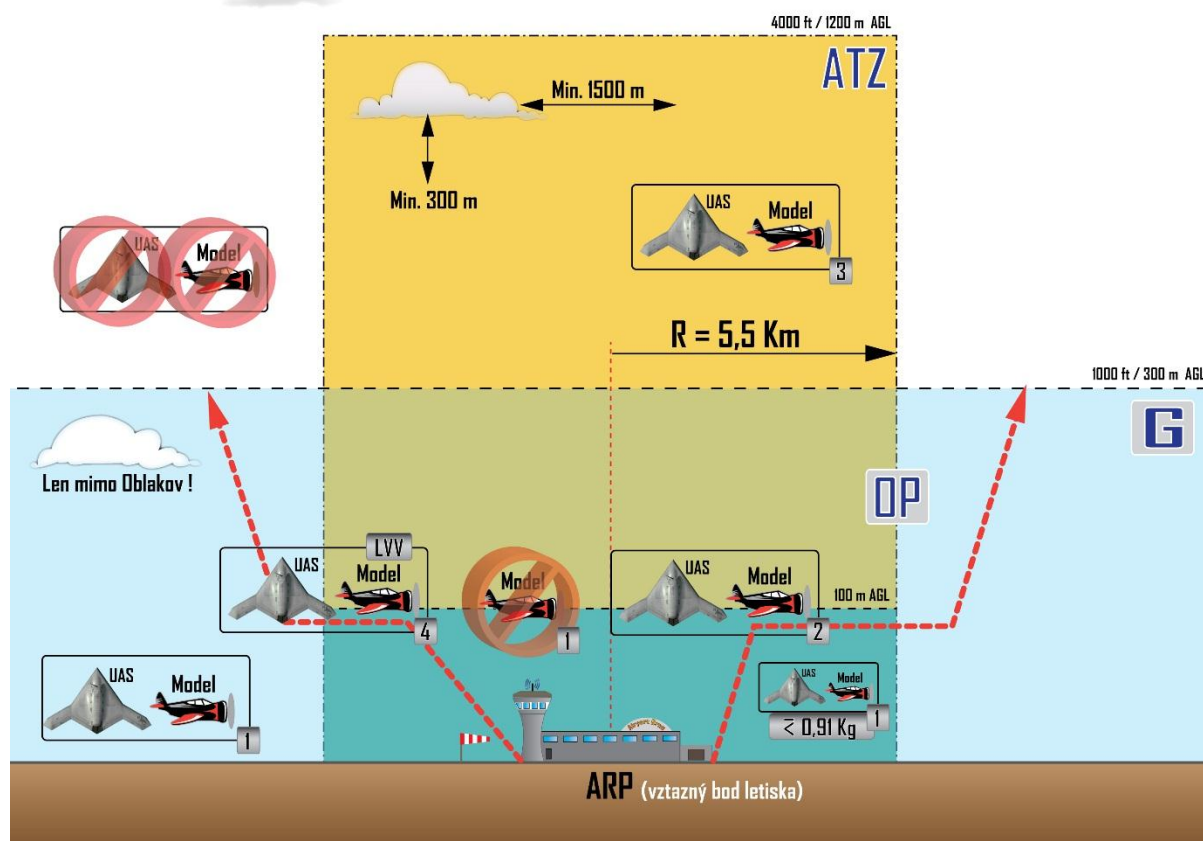
Kontrolovaný vzdušný priestor	Trieda vzdušného priestoru:					Rozstupy IFR od všetkých ostatných lietadiel od ATC	Lietadlá potrebujú povolenie na vstup od ATC
	A	IFR iba	všetky lietadlá	stála obojsmerne	Áno		
	B	IFR	všetky lietadlá	stála obojsmerne	Áno		
		VFR	všetky lietadlá	stála obojsmerne	Áno		
	C	IFR	IFR od IFR IFR od VFR	stála obojsmerne	Áno		
		VFR	VFR od IFR	stála obojsmerne	Áno		
	D	IFR	IFR od IFR	stála obojsmerne	Áno		
		VFR	nie	stála obojsmerne	Áno		
	E	IFR	IFR od IFR	stála obojsmerne	Áno		
		VFR	nie	nepožaduje sa	Nie		
	F	IFR	IFR od IFR na vyžiadanie	stála obojsmerne	Nie		
		VFR	nie	nepožaduje sa	Nie		
	G	IFR	nie	stála obojsmerne	Nie		
		VFR	nie	nepožaduje sa	Nie		

17. Obr. Vertikálne rozdelenie vzdušného priestoru [1]

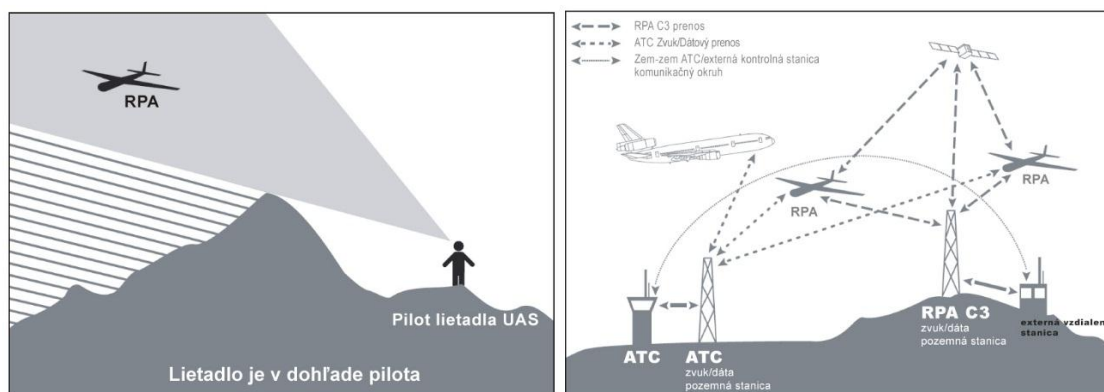
Prevádzka UAS v neriadenom vzdušnom priestore triedy E, F, G je v podstate jednoduchá. Je treba sa riadiť pravidlom “vidieť a vyhnúť sa” a je treba dodržiavať postupy pre prevádzku UAS uvedené v L2 prílohe X, kde sú stanovené určité

Číslo 4. zobrazuje vykonávanie LVV (leteckého verejného vystúpenia) lietadlami UAS, alebo modelmi čo sa smie vykonávať len so súhlasom Úradu pre Civilné Letectvo ÚCL. Neočíslované umiestnenie lietadiel ukazuje, že je zakázaná ich prevádzka v priestore triedy E vo výške nad 300 m AGL.

E



18. Obr. Prevádzka UAS v priestoroch ATZ a triedy G a E [1]



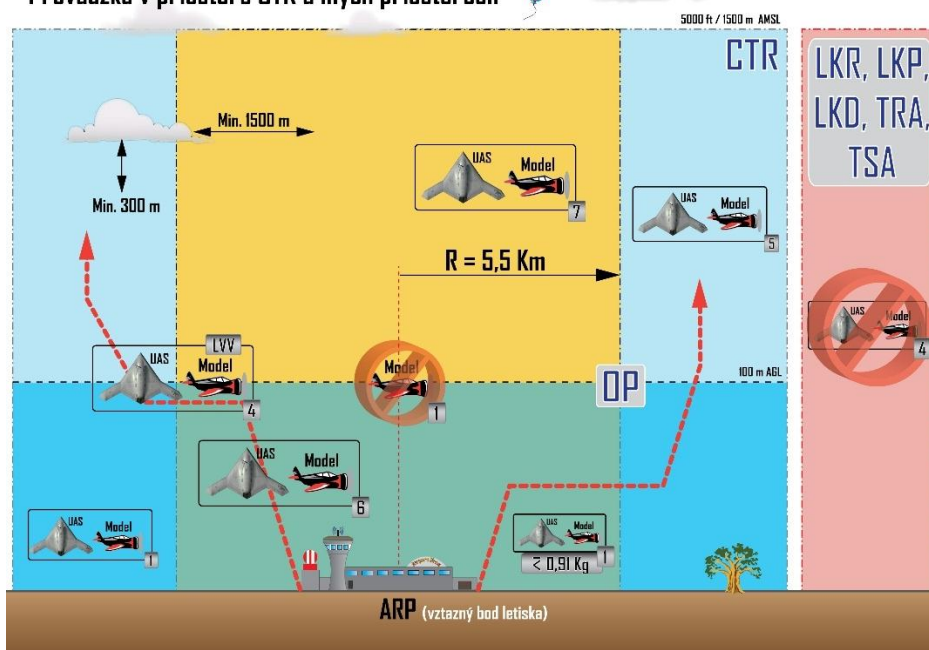
19. Obr. UAS naľavo vo vizuálnom dohľade pilota a vpravo mimo dohľad [11]

Prevádzka v riadenom priestore, teda triedy A, B, C, D, je o niečo zložitejšia. Okrem dodržiavania pravidiel lietania UAS môže byť nutné, aby UAS boli vybavené SSR odpovedačom a iným minimálnym vybavením pre let v takomto priestore. Je takisto nevyhnutné počas celej doby letu udržiavať obojsmerné spojenie s ATC (komunikáciu). Rozstupy od ostatnej prevádzky zabezpečuje ATC, ako pri pilotovaných letoch.

Číslo 5. označuje prevádzku UAS v riadenom priestore CTR, kedy je nevyhnutné mať povolenie od príslušného stanoviska RLP (riadenia letovej prevádzky) a navyše môže byť nutné aj kontinuálne obojsmerné spojenie a vybavenie odpovedačom sekundárneho radaru SSR. Číslo 6. označuje prevádzku v riadenom priestore letiska do výšky 100m AGL, kedy je potrebné mať povolenie od ÚCL, alebo v prípade leteckých prác aj koordináciu s RLP a prevádzkovateľom letiska. RLP môže navyše požadovať dodržiavanie obojstranného spojenia a vybavenie odpovedačom SSR.

Číslo 7. označuje prevádzku v riadenom priestore letiska vo výškach nad 100m AGL, kedy je potrebné mať povolenie od ÚCL, alebo v prípade leteckých prác aj koordináciu s RLP a prevádzkovateľom letiska rovnako ako v predchádzajúcom prípade. RLP môže navyše požadovať dodržiavanie obojstranného spojenia a vybavenie odpovedačom SSR. Navyše je treba mať letové povolenie od RLP. V nasledujúcich priestoroch je prevádzka UAS úplne zakázaná: LKR (Obmedzený priestor), LKP (Zakázaný priestor), LKD (Nebezpečný priestor), TSA / TRA (Dočasne vyhradený /vymedzený priestor). [1] [11]

Prevádzka v priestore CTR a iných priestoroch



20. Obr. Prevádzka UAS v priestore CTR a iných [1]

Nasledujúca tabuľka uvádza niektoré požiadavky na UAS a činnosti, ktoré smú za akých podmienok vykonávať podľa hmotnostnej kategórie do ktorej patria:

8. Tab. Delenie UAS podľa L2 dodatku X

Maximálna vzletová hmotnosť	≤ 0,91 kg		> 0,91 kg a < 7 kg		7 – 20 kg		> 20 kg		Bezpilotné lietadlo prevádzkované mimo dohľad pilota
Účel použitia, požiadavky	Rekreačno - športové	Zarábajúce experimentálne, výskumné	Rekreačno - športové	Zarábajúce experimentálne, výskumné	Rekreačno - športové	Zarábajúce experimentálne, výskumné	Rekreačno - športové	Zarábajúce experimentálne, výskumné	
Evidencia lietadiel	nie	ano	nie	ano	nie	ano	ano	ano	ano
Evidencia pilota	nie	ano	nie	ano	nie	ano	ano	ano	ano
Praktický a teoretický test pilota	nie	ano	nie	ano	nie	ano	ano	ano	ano
Povolenie k lietaniu	nie	ano	nie	ano	nie	ano	ano	ano	ano
Povolenie k vykonávaniu LP a LČPVP	nedá sa	ano	nedá sa	ano	nedá sa	ano	nedá sa	ano	nedá sa
Označovanie UA: ID štítok / ID štítok + poznávacia značka	nie / nie	ano / ano	ano / nie	ano / ano	ano / ne	ano / ano	ano / nie	ano / ano	ano / ano
Minimálne vo vzdialenosti (m) vzlet, pristátie / osoby, stavby / obydlený priestor	bezpečná	bezpečná	bezpečná	bezpečná	bezpečná ale minimálne: 50/100/150	bezpečná ale minimálne: 50/100/151	bezpečná ale minimálne: 50/100/152	bezpečná ale minimálne: 50/100/153	bezpečná ale minimálne: 50/100/154
Poistenie: bežná prevádzka / LVV (Mil. EUR)	nie / 0,1	podľa nariadenia č.: 785 / 2004	nie / 0,25	podľa nariadenia č.: 785 / 2004	nie / 1,2	podľa nariadenia č.: 785 / 2004	podľa nariadenia č.: 785 / 2005	podľa nariadenia č.: 785 / 2006	podľa nariadenia č.: 785 / 2007
Dozor	nie	nie	nie	nie	nie	nie	ano	ano	nie
FailSafe systém	nie	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano
Prevádzková príručka UAS	nie	ano	nie	ano	nie	ano	nie	ano	nie
Hlásenie udalostí	nie	ano	nie	ano	nie	ano	ano	ano	ano

Z tabuľky sú zrejmé niektoré špecifické požiadavky kladené na prevádzku UAS a takisto môžeme vidieť, ktoré UAS smú vykonávať letecké práce (LP) a letecké činnosti pre vlastnú potrebu (LČPVP), prípadne letecké verejné vystúpenia (LVV) a podobne.

Zaistenie rozstupov a vyhýbanie sa zrážkam by malo byť zabezpečené nasledujúcim spôsobom:

1. **ATC** – zaisťuje rozstupy medzi lietadlami v riadenom priestore (separation provision)
2. **Kapitán lietadla** - (operátor lietadla UAS) dodržiava rozstupy a vyhýba sa zrážkam (separation provision and collision avoidance)
3. **Automatická** - (autonómna činnosť) vyhnutie sa zrážke automaticky aj bez zásahu pilota operátora (collision avoidance)

Čo sa týka dávania prednosti iným lietadlám, pred lietadlami UAS majú prednosť všetky ostatné pilotované lietadlá, inak systém ostáva rovnaký, ako u pilotovaných lietadiel. U UAS prevádzky takisto platí vyhýbanie sa doprava.

Niektoré aktuálne zásadné pravidlá lietania UAS v EÚ, ktoré vychádzajú z predpisu: Specifications for the Use of Military UAVs as Operational Air Traffic Outside Segregated Airspace (EUROCONTROL 2007):

1. Rozdelenie činností UAS

Pre potreby ATM budú UAS kategorizované podľa pravidiel letu (VFR a IFR), rovnako ako je tomu u prevádzky OAT.

2. Prevádzkové režimy

Pri bežnom spôsobe prevádzky UAS by mal mať pilot UAS v dohľade a počas celej doby by mal mať možnosť zasahovať do riadenia letu. V prípade úplnej straty kontroly spojenia medzi pilotom a UAS by mal záložný režim prevádzky umožniť UAS vrátiť sa k autonómnemu letu a bezpečne let dokončiť, alebo v ňom pokračovať. Tento záložný režim by mal zabezpečiť bezpečnosť ostatných užívateľov vzdušného priestoru. Záložný systém by mal byť schopný bezpečne zaistiť rozstupy a vyhnutie sa kolízii.

3. Pravidlá letu

UAS musí vyhovovať požiadavkám pravidiel letu v súlade s VFR alebo IFR ak prichádza do styku s ostatnými lietadlami. U letov VFR by mal pilot UAV posúdiť meteorologické podmienky letu rovnako, ako u pilotovaných lietadiel.

4. Právo vyhýbania sa a prednosti

UAS musí dať prednosť všetkým ostatným pilotovaným používateľom vzdušného priestoru, v súlade so všeobecnými pravidlami pre vyhýbanie.

5. Separácia od ostatných používateľov vzdušného priestoru

Pre IFR lety UAS v riadenom vzdušnom priestore by hlavným prostriedkom k dosiahnutiu rozstupov od ostatných užívateľov malo byť dodržanie pokynov ATC, mali by však byť dodatočne prijaté opatrenia na predchádzanie stretov s narušiteľom.

6. Separácia od ostatných používateľov vzdušného priestoru, priority

Pre VFR lety UAS by mal pilot UAS plne využívať dostupné informácie o prehľade vzdušnej situácie. Okrem toho by mali byť k dispozícii technológie pomáhajúce pilotovi, ktoré mu umožnia udržať VMC a pomôžu odhaliť a vyhnúť sa konfliktnej prevádzke. Automatický systém by mal poskytovať predchádzanie zrážkam aj v prípade zlyhania, zaistenia separácie, alebo straty kontroly lietadla.

7. Snímanie a vyhýbanie sa, Sense and avoid - S&A

S&A systém by mal umožniť pilotovi UAS zabezpečenie separácie, rozstupov a vyhnutie sa zrážkam v rovnakom rozsahu ako pilotovi riadeného lietadla. Zároveň by mal umožniť vykonanie úhybného manévru pre vyhnutie sa zrážke, ak predchádzajúca separácia zlyhá z akéhokoľvek dôvodu. S&A systém by mal dosahovať minimálne rovnakú úroveň bezpečnosti, ako u pilotovaných lietadiel.

8. Snímanie a vyhýbanie sa, Sense and avoid - S&A, výstrahy

UAS S&A systém by mal v dostatočnom predstihu oznámiť pilotovi UAS, že lietadlo pretína trajektóriu letu v stanovenej minimálnej vzdialenosti.

9. Snímanie a vyhýbanie sa, Sense and avoid - S&A, nezávislosť systémov

Systémy zabezpečujúce separácie a vyhnutie sa zrážkam S&A by mali pracovať nezávisle na sebe. Pri aktivácii by sa nemali navzájom ovplyvňovať.

10. Separačné minimá / minimálne vzdialenosti vyhýbania

V riadenom vzdušnom priestore, kde separáciu zabezpečuje ATC, by mala byť minimálna vzdialenosť medzi lietadlami definovaná podľa IFR. V ostatných prípadoch by mali byť separačné rozstupy rovnaké, ako pre posádku lietadla OAT v zodpovedajúcej triede vzdušného priestoru.

11. Minimálne rozstupy

V prípade, že je pilot UAS zodpovedný za separáciu, mal by udržiavať minimálnu vzdialenosť 0.5 NM vodorovne alebo 500 stôp zvisle medzi jeho UAS a ďalšími užívateľmi vzdušného priestoru, bez ohľadu na to, ako bola zistená konfliktná prevádzka (s výnimkou letiskovej prevádzky).

12. Antikolýzny systém

Ak je antikolýzny systém UAS spustený autonómne, mal by dosiahnuť vzdialenosti pre vyhnutie podobné tým, ktoré sú dosiahnuté u systému ACAS. Systém by mal byť kompatibilný s ACAS / TCAS.

13. Prevádzka na letiskách

Pri letiskových operáciách by mal byť UAS pilot v kontakte so službou riadenia prevádzky v rovnakom rozsahu, ako u pilotovaných lietadiel.

14. Pohyb UAS na zemi

Na zemi by UAS mali byť sledované pozemnými monitorovacími zariadeniami (radary a pod.) a pilot by mal byť v kontakte so službou riadenia pohybu na zemi.

15. Pohyb po letisku a zodpovednosť

Pre vzlet, pristátie a rolovanie po letisku by mal pilot UAS mať zodpovednosť za dodržanie separácie a predchádzania zrážkam, mal by dodržiavať pokyny letiskovej služby riadenia.

16. Ak nie je možné zaistiť bezpečné separácie UAS

Ak nie je zaistená bezpečná separácia od ostatných účastníkov letovej prevádzky v blízkosti letiska, mali by byť počas vzletu alebo pristátia UAS upozornení a odklonení.

17. Núdzové postupy

Núdzové postupy pre UAS by mali byť minimálne také, ako tie pre pilotované lietadlá. Ak to nie je možné, mali by byť navrhované pre zabezpečenie bezpečnosti ďalších účastníkov letovej prevádzky a osôb na zemi. Tieto postupy by mali byť koordinované s ATC.

18. Zálohovanie systému

UAS by mali byť naprogramované na záložný plán letu pre prípad, že pilot nie je schopný riadiť UAS (strata kontroly UAS).

19. Detekcia a indikácie straty spojenia s UAS

UAS by mali byť schopné indikovať pilotovi stratu dátového spojenia (LL – Lost Link).

20. Informovanosť ATC a indikácia

Ak UAS nie sú pod priamou kontrolou pilota, je potrebné kontaktovať ATC s podrobnosťami záložného plánu letu, na ktorý sú UAS naprogramované, navyše by UAS mali tento stav automaticky indikovať pre ATC.

21. Riadenie vzdušného priestoru

Tam, kde UAS nie sú schopné splňať technické alebo funkčné požiadavky pre OAT prevádzku, mali by byť vyčlenené do dočasne rezervovaného priestoru, pre zaistenie bezpečnej separácie od ostatných používateľov vzdušného priestoru.

22. Komunikácia s ATC

Ak je to požadované letovými službami, pilot UAS musí udržiavať obojstranné RTF spojenie s ATC a používať štandardnú frazeológiu. Slovo "bezpilotné" (Unmanned) by malo byť pripojené na začiatok každého vysielania s ATC.

23. Poskytovanie letových služieb lietadlám UAS

Letové služby poskytované UAS by sa mali poskytovať v rovnakom rozsahu, ako pilotovaným lietadlám.

24. Podávanie letového plánu

Ak je potrebné podať letový plán na prevádzku UAS, mal by sa riadiť rovnakými pravidlami ako majú tradičné lietadlá. Letový plán UAS by mal obsahovať jasné označenie, že sa jedná o let UAS a mal by detailne popisovať všetky náležitosti, požiadavky a podrobnosti trati letu.

25. Monitorovanie UAS

Ak je to požadované službou ATC, UAS by mali byť nepretržite monitorované pilotom pre dodržanie daného letového plánu.

26. Výkonnostné letové charakteristiky UAS a ich znalosť

Pilot UAS by mal mať detailnú znalosť výkonnostných charakteristík UAS. ATC by mal byť oboznámený s týmito charakteristikami UAS. Výkonnostné charakteristiky sú polomer zákrut, rýchlosť letu a rýchlosti stúpania i klesania.

27. Meteorológia

Minimá poveternostných podmienok pre lety UAS by mali byť stanovené na základe vybavenia každého typu UAS, kvalifikácie pilota UAS a pravidiel letu v danej triede vzdušného priestoru. Kvalifikácie a schopnosti pilota UAS by mali zodpovedať danej triede vzdušného priestoru a pravidlám letu.

28. Lety cez štátne hranice a pozdĺž štátnych hraníc a hraníc horných vzdušných priestorov FIR/UIR

UAS by mali byť viazané rovnakými medzinárodnými dohovormi ako posádky pilotovaných lietadiel. Lety bezpilotných prostriedkov do iných FIR/UIR, alebo do zvrhovaných vzdušných priestorov iných štátov by mali byť vopred oznámené príslušným orgánom vzdušného priestoru. ATC odovzdávanie lietadiel UAS medzi susednými sektormi by malo byť v súlade s pravidlami pre pilotované lietadlá. Pre povolenie preletu UAS cez hranice štátu bude potrebná predchádzajúca koordinácia a uzatvorenie dodatočných dohôd medzi jednotlivými štátmi. Oznámenie by sa mohlo uskutočňovať pomocou podania letového plánu.

29. OAT CNS Požiadavky

UAS lietadlá by mali splňať rovnaké požiadavky na vybavenie pre let, čo sa týka navigácie a komunikácie, ako je požadované pre pilotované lietadlá. Rovnako ako u pilotovaných lietadiel môžu byť aj pre UAS udeľované v určitých prípadoch výnimky.

30. Strata spojenia

Pilot UAS by mal byť vybavený náhradným spôsobom komunikácie s ATC, pre prípad straty normálneho spojenia (napr. telefónom).

31. Plnenie pokynov od ATC

Pilot UAS by mal byť schopný plniť príkazy ATC pre zaistenie rozstupu od ostatných lietadiel rovnako, ako pilot pilotovaného lietadla. [12]

EUROCONTROL vydal v roku 2010 aj špeciálny dokument s názvom: Eurocontrol Air Traffic Management Guidelines For Global Hawk in European Airspace. Dôvodom pre jeho vydanie bolo zjednodušiť prevádzku veľmi rozšíreného UAS nazývaného Global Hawk alebo aj Euro Hawk. Tento dokument upravuje najmä minimálne rozstupy a letové postupy pre prevádzku tohto lietadla. Kvôli nedoriešeným problémom s automatickým systémom vyhýbania sa zrážkam, ktorý by bol schopný bezpečne sa v prípade potreby zrážke vyhnúť, a kvôli legislatíve musí toto lietadlo lietať vo vymedzených priestoroch, ktoré v tomto prípade sú zväčša ohraničené minimálnou výškou letu a to až FL 510, kde ostatné lietadlá už nelietajú. Pre lety cez oceán sa využívajú špeciálne postupy. Takéto postupy sú pomerne nepraktické a veľmi obmedzujúce čo svedčí o nedokonalosti riešenia prevádzky UAS.

Ako už bolo v tejto práci veľa krát spomenuté, legislatíva riešiac prevádzku UAS sa dnes javí ako nedostatočná preto je potrebné ju prispôbiť novým podmienkam, ktoré už zahŕňajú prevádzku UAS spolu s pilotovanou prevádzkou. Aktuálny stav je taký, ako to už bolo popísané vyššie, čiže v podstate neexistuje žiaden ucelený dokument, ktorý by podrobne definoval prevádzku UAS v riadených letových priestoroch. Existujú len rôzne obežníky a množstvo odporúčaní na základe ktorých si jednotlivé štáty vytvárajú vlastné prepisy pre prevádzku UAS, alebo sa udeľujú rôzne výnimky a vykonávajú rôzne špeciálne postupy. Tento stav však bude už len dočasný nakoľko sa plánuje legislatíva riešiac skoro všetky súčasné problémy spojené s prevádzkou UAS zaviesť v blízkej budúcnosti do praxe. (Reuber, 2012)

Predpisy riešiac prevádzku UAS v ČR je možné nájsť na stránkach Úradu pre civilné letectvo. V prílohe B tejto práce je uvedený aj postup pre registráciu bezpilotných lietadiel.

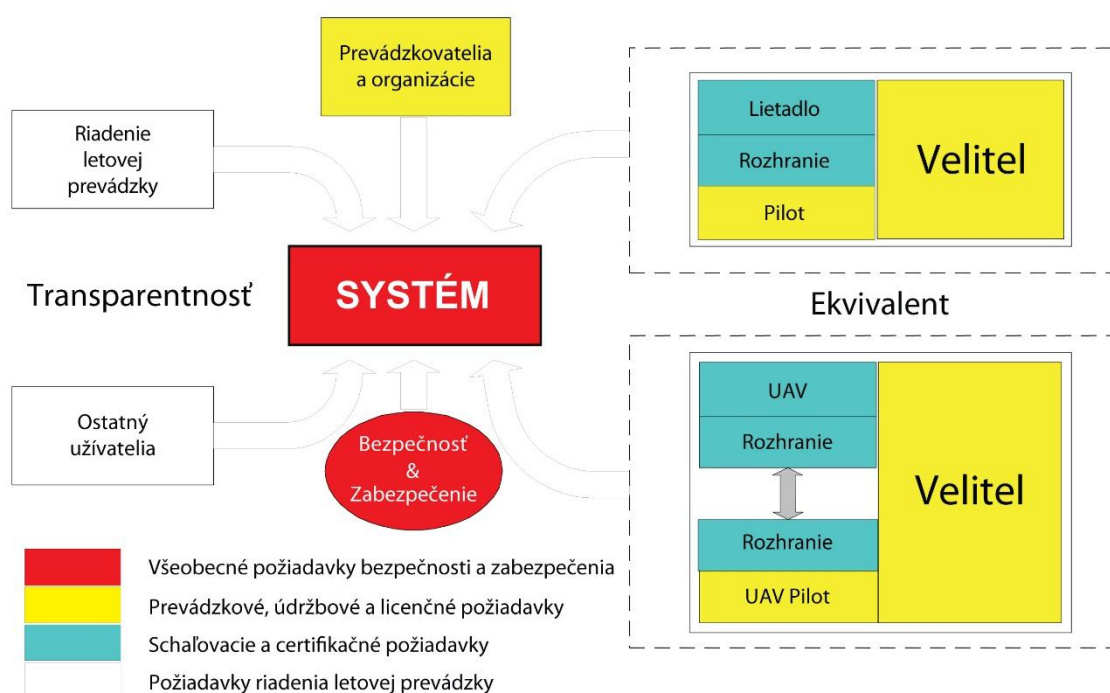
Tvorbe predpisov ohľadom UAS napomáha viac či menej aj každá organizácia, ktorá sa aktívne s týmto problémom zaoberá. Proces tejto tvorby je totiž transparentný a umožňuje po vydaní konceptov ktoré vydáva napríklad EASA a FAA aby sa jednotlivé organizácie k týmto návrhom vyjadrili. Ich názor potom môže ovplyvniť vývoj tejto konečnej záväznej podoby legislatívy.

2. POŽIADAVKY NA UAS PRE PREVÁDZKU V RIADENOM VZDUŠNOM PRIESTORE EURÓPY

V súčasnej dobe ešte neexistuje ucelená platná legislatíva a teda ani požiadavky, ktoré by definovali prevádzku UAS v riadenom vzdušnom priestore, okrem špeciálneho dokumentu, ktorý definuje postupy pre prevádzku GH, ktorý je ale pomerne prísny a značne obmedzujúci a okrem niektorých iných dokumentov ktoré patria však do oblasti len rôznych špeciálnych postupov a opatrení a ktoré vždy so sebou prinášajú množstvo obmedzení pre prevádzku UAS.

V nasledujúcej časti práce sú zhrnuté požiadavky na prevádzku UAS v riadenom vzdušnom priestore Európy, ktoré však vychádzajú len z rôznych koncepčných riešení a medzinárodných či národných dokumentov, ktoré zatiaľ nenadobudli svoju konečnú podobu a niektoré ani platnosť. Napriek tomu však väčšina týchto dokumentov tvorí základ pre vytvorenie jednotnej legislatívy, ktorá jedného dňa umožní prevádzku UAS v riadených priestoroch a to nielen Európy ale celého sveta, resp. všetkých členských krajín ICAO.

Požiadavky na prevádzku UAS vo veľkej miere nachádzajú svoj základ v požiadavkách pre prevádzku pilotovaných lietadiel. Potrebná je samozrejme ich úprava a prispôbenie špecifikáciám UAS lietadiel, čo nie je vždy jednoduché a mnohokrát to vyžaduje i náročné skúšky a testy, ktoré stoja nemalé finančné prostriedky. Proces tvorby legislatívy je zdĺhavý, a na niektoré veci sa veľa krát príde až počas samotnej prevádzky. Samotný proces tvorby legislatívy sa však musí riadiť určitými pravidlami, ktoré hovoria o spravodlivom a férovom vytváraní legislatívy, čo by malo zabrániť zvýhodňovaniu určitých druhov lietadiel nad inými (zvýhodňovanie pilotovaných lietadiel nad lietadlami UAS, aj napriek lepšiemu vybaveniu UAS lietadiel).



21. Obr. Systémový prístup k úprave požiadaviek pre UAS [7]

Predchádzajúci obrázok 21. vyjadruje úpravu požiadaviek na prevádzku UAS s tým, že požiadavky sú prevzaté a upravené z existujúcej legislatívy pre pilotované lietadlá. Súčasný systém sa príliš neprispôbuje prevádzke UAS, ale naopak táto prevádzka sa musí prispôbiť už existujúcemu systému pilotovaných lietadiel. [7]

2.1 Certifikácia UAS

Podobne ako pri pilotovaných lietadlách sa proces ich aplikácie do riadeného vzdušného priestoru začína pri certifikácii.

Pre tvorbu legislatívy je vždy potrebné najprv zadať určité kategórie UAS lietadiel a takisto aj určité triedy a priestory, v ktorých sa jednotlivé kategórie UAS budú môcť pohybovať. Takéto jednotné medzinárodné rozdelenie UAS zatiaľ však neexistuje. Na strane 4. je tabuľka s rozdelením UAS, ktoré by mohlo byť základom pre takéto rozdelenie, avšak doterajšia prax s prevádzkovaním UAS ukázala, že uvedené rozdelenie nie je tým najvhodnejším riešením a bude nevyhnutné ho prepracovať.

Problém tu nastáva paradoxne s rýchlim vývojom nových technológií, ktoré umožňujú veľmi malým UAS lietadlám dosahovať výkony tých najväčších a najťažších UAS lietadiel čo znemožňuje rozdeľovať tieto lietadlá podľa hmotnosti či veľkosti.

Z rozdelenia by malo byť zrejmé ktoré kategórie UAS smú byť prevádzkované v jednotlivých vzdušných priestoroch. Každá kategória by mala mať rovnako ako u pilotovaných lietadiel definované minimálne požiadavky a vybavenie.

Skratka UAS sa začala uprednostňovať pred skratkou UAV aj z toho dôvodu že bezpilotné lietadlo ktoré chce lietať v riadenom vzdušnom priestore musí byť certifikované ako celý systém, ktorý pozostáva počnúc samotným pilotom (operátorom) lietadla UAS, z riadiacej stanice, zo zariadenia pre vzlet a pristátie, z komunikačných prvkov (antény a podobne) a z ostatných systémov CNS.

Proces certifikácie je vždy veľmi náročný a to časovo i finančne. Okrem certifikácie obsluhy UAS (pilota a ostatných členov posádky diaľkovo ovládaného lietadla) a ostatných vecí ktoré nájdeme aj u tradičných pilotovaných lietadiel tu nám navyše pribúdajú ešte mnohé iné problémy ktoré treba vyriešiť. Tie sú spojené najmä s vyhýbaním sa zrážkam s prekážkami a s inými lietadlami a so spôsobom akým sa takéto vyhýbanie bude realizovať. Systém zabezpečujúci vyhýbanie u lietadiel UAS je S&A (Sense and Avoid). Tento systém je už medzi UAS pomerne rozšírený a využívajú ho lietadlá ako GH, EH, Predator či celá rada lietadiel X-47 a podobne. Jedná sa najmä o vojenské lietadlá ktoré sú v tomto smere o krok vopred pred civilnými. No využívanie tohto systému nám dnes už odhaľuje mnohé veci ktoré by bolo možné vylepšiť a na ktoré sa došlo až v reálnej prevádzke na spomínaných uvedených lietadlách. Systém S&A však ešte potrebuje mnohé štúdie a doladovanie aby sa mohli zadať konkrétne hodnoty týkajúce sa detekcie prekážok a vyhýbanie zrážkam. Je nutné konkrétne určiť pre požiadavky predpisov číselné minimálne hodnoty a metódy ich určovania. (Haddon, 2009)

Jednotlivé položky certifikácie pre preukázanie letovej spôsobilosti zvyčajne zahŕňajú:

- Bezpečnosť a súvisiace aspekty spojené s výkonom lietadiel a s ich charakteristikami.
- Návrh a výroba konštrukcie (vrátane vzletového a pristávacieho zariadenia) lietadla.

- Návrh, konštrukcia a výroba mechanických / hydraulických / pneumatických / elektrických a iných systémov.
- Návrh a výroba pohonných jednotiek a APU zariadení.
- Návrh a výroba elektronických systémov a zariadení (vrátane softvéru), na takej úrovni aby zabezpečili vykonávanie predpokladaných / očakávaných funkcií na vysokej úrovni bezpečnosti.
- Pokyny pre zachovanie letovej spôsobilosti.
- Flight Manual (Letová príručka), vrátane núdzových postupov a obmedzení.
- Bezpečnostné štúdie a posúdenie bezpečnosti (Safety) a zabezpečenia (Security) UAV komunikačných liniek, vrátane ich citlivosti na okolité prostredie a možné rušivé elementy (HIRF, blesky, rušenie, elektronické útoky, teroristi)
- Konštrukcia a výroba akéhokoľvek prvku riadiacej stanice (Control Station), ktorého poruchou by mohla byť ohrozená bezpečnosť kontroly nad lietadlom.
- Ľudský Faktor (Human Factor) a jeho aspekty v rámci riadiacej stanice ktoré by mohli mať vplyv na bezpečnosť prevádzky UAS.
- Návrh a výroba akéhokoľvek systému slúžiaceho pre ukončenie letu (padáky, predprogramované dokončenie letu a podobne).

Položky ktoré zvyčajne požiadavky letovej spôsobilosti nezahŕňajú:

- Zabezpečenie a bezpečnosť riadiacej stanice.
- Bezpečnosť spojenia riadenia letu (Data Link) pred úmyselným rušením a terorizmom.
- Segregácia lietadiel.
- Kompetencie výcviku UAV pilotov a prevádzkového personálu.
- Druhy prevádzky (definovanie limitov letovej obálky a ostatných limitov lietadla).
- Pridelovanie frekvenčného spektra.
- Šum a certifikácia emisií.
- Zariadenia pre vzlety a pristátia, ktoré nie sú dôležité pre bezpečnosť, a ktoré nie sú súčasťou základných certifikačných požiadavok.
- Prevádzka užitočného zaťaženia

Položky ktoré nie sú uvedené v certifikácii letovej spôsobilosti môžu byť predmetom iných foriem schválenia. (JAA/Eurocontrol, 2004)

Dnes je teda situácia certifikácie UAS taká, že jednotlivé štáty majú vlastné postupy, ktoré však ostatné štáty nemusia vždy akceptovať, preto sú tieto UAS aj z tohto hľadiska v značnej nevýhode. Navyše postupy pre certifikáciu nie sú dostatočne vyvinuté na to aby mohla byť umožnená neseparovaná prevádzka v riadených priestoroch bez špeciálneho povolenia od leteckého úradu.

Ak majú byť UAS prevádzkované v riadenom priestore s ostatnými lietadlami je nutné presne zadať kategórie UAS ktoré by takúto možnosť mali a zároveň aj veľmi konkrétne požiadavky ktoré by sa na takéto UAS vzťahovali. Najlepším riešením by bolo vydanie medzinárodných požiadaviek certifikácie ktoré by uznávali všetky členské štáty ICAO a ktoré by dostatočne riešili problémy spojené s prevádzkou UAS aj v riadených priestoroch. [7]

2.2 Prevádzka UAS v riadených priestoroch

Definícia riedenej oblasti podľa predpisu L-11:

Riadené oblasti, vrátane letových ciest a koncových riadených oblastí musia byť definované tak, aby obsiahli dostatočný vzdušný priestor pre dráhy tých letov IFR alebo ich častí, kde je požadované poskytovanie letových prevádzkových služieb, s prihliadnutím na vlastnosti zvyčajne používaných navigačných prostriedkov v danej oblasti.

Dnes prevádzka UAS v Európe v neseparovaných riadených priestoroch spolu s pilotovanou prevádzkou reálne nie je možná resp. nie je povolená. Je tomu tak z dôvodu že neexistuje platná legislatíva ktorá by presne zadefinovala požiadavky pre takúto prevádzku. Tvorba týchto požiadaviek je však extrémne náročná a to najmä z dôvodu vyladenia správnej úrovni bezpečnosti a technických ale i finančných možností dnešných UAS.

Prevádzka lietadiel v riadených priestoroch je v oblasti civilného letectva tým najzložitejším a najvýznamnejším procesom. Pre zaistenie bezpečnosti je nutné aby lietadlá ktoré sa pohybujú v takomto priestore striktne dodržiavali všetky predpisy a požiadavky na ne kladené.

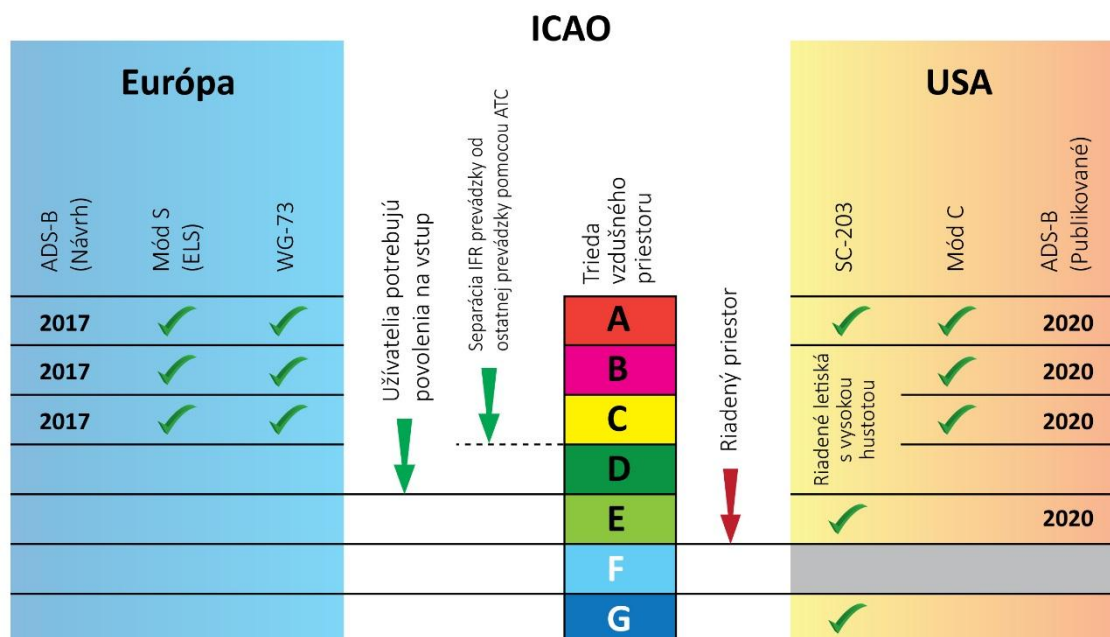
Najvýznamnejším problémom pri tvorbe predpisov na integráciu UAS do riadených priestorov bez nutnosti obmedzovania samotných UAS ale aj ostatných lietadiel je nedostatok času ale aj skúseností. Ako to už bolo spomenuté tvorba predpisov do tej podoby v ktorej ich poznáme dnes trvala desiatky rokov a šla bok po boku s vývojom nových technológií a lietadiel avšak donedávna vôbec nebrala do úvahy prevádzku UAS. Teraz je však nutné aby obdobná legislatíva umožnila prevádzku UAS v čo najkratšom čase a pritom nijak neohrozila bezpečnosť letovej prevádzky ktorá je vždy na prvom mieste.

Pri vytváraní legislatívy spojenej s UAS dnes narážame na množstvo vecí s ktorými sme sa pri pilotovaných lietadlách nikdy nestretli. Ako príklad je možné uviesť aj dnešné bezpečnostné predpisy ktoré riešia požiadavky na dvere pilotných kabín. No tieto predpisy vôbec nedefinujú čo vlastne tá kabína je, kde je vlastne umiestnená. A tu narážame na jeden z ďalších problémov, aj keď na prvý pohľad sa môže zdať, že je to maličkosť nie je tomu tak a v súvislosti s pilotnou kabínou u lietadiel UAS tu nastáva pomerne veľký rozdiel oproti tradičným lietadlám. U UAS sa za pilotnú kabínu považuje riadiaca stanica, ktorá môže byť umiestnená kdekoľvek na svete a ktorú môže tvoriť obyčajná kancelárska budova, podzemný kryt, môže byť mobilná alebo dokonca to nemusí byť ani žiadna uzavretá budova ale len riadiace stanovisko niekde v teréne na poli. Preto dnešné predpisy zaoberajúce sa dvermi pilotných kabín nie je možné aplikovať či len predefinovať tak aby vyhovovali aj pre UAS ale treba vytvoriť úplne nové definície a s tým spojené aj požiadavky, návody, príručky a podobne, pričom s touto problematikou sú zatiaľ len veľmi krátkodobé a nedostatočné skúsenosti z reálnej prevádzky. Problémy ktoré sa týkajú pilotných kabín ale aj mnohé iné treba pred uvedením UAS do riadenej prevádzky najskôr detailne analyzovať, pochopiť, snažiť sa nájsť spojitosti a aplikovať všetky dostupné skúsenosti z pilotovaných lietadiel pre lietadlá UAS, vykonať štúdie, testy a merania navrhovaných riešení, ktoré nakoniec budú overené v praxi.

Proces tvorby takejto novej legislatívy je proces ktorý by mal byť transparentný a všetky nové návrhy a vydania konceptov sú verejné a vydávané tak aby verejnosť a teda aj prevádzkovatelia UAS mala dostatok času túto legislatívu pochopiť a aby mohli o nej diskutovať ešte pred vydaním jej konečnej podoby aby neskôr nenastali rôzne nezhody a zbytočné dodatočné úpravy.

Proces tvorby takejto legislatívy, ktorá umožní neseparovanú prevádzku UAS v riadených priestoroch však môže trvať ešte aj niekoľko rokov, pretože ide o zložitý proces ktorý musí byť detailne prepracovaný a zrozumiteľný. Medzinárodné ale i národné letecké organizácie sa však na tvorbe tejto legislatívy podieľajú už nejaký ten čas a preto plánované vydanie takejto legislatívy by mohlo prísť už v najbližších rokoch a to už v horizonte 3-6 rokov okolo roku 2018 až 2020. [13] [14]

2.2.1 ATM



22. Obr. Harmonogram vývoja ATM v EÚ a USA [15]

UAS lietadlá ako rovnocenní účastníci letovej prevádzky sa v budúcnosti budú môcť pohybovať vo všetkých vzdušných triedach a priestoroch rovnako ako je tu u pilotovaných lietadiel. A teda ak riešime problematiku prevádzky UAS v riadených priestoroch, prináša to so sebou samozrejme aj prevádzku v neriadených a vlastne aj všetkých ostatných priestoroch okrem špeciálnych prípadov. Na vstupy do jednotlivých priestorov sú vždy kladené nejaké požiadavky týkajúce sa najmä navigačného vybavenia lietadiel a komunikácie s ATC.

Vstup UAS do riadených priestorov nesmie nijakým spôsobom znížiť bezpečnosť ani ohroziť iných účastníkov letovej prevádzky, osoby na palubách lietadiel, osoby či majetok na zemi a podobne. Takisto by prevádzkovanie UAS nemalo znížiť plynulosť letovej prevádzky a zvýšiť zaťaženie riadiacich. Integrácia UAS medzi pilotované lietadlá je teda náročný proces ktorý je v dnešnej dobe dosiahnuteľný aj vďaka vysokej úrovni automatizácie.

Existuje mnoho variant ako UAS začleniť do riadených priestorov a vlastne do samotnej neseparovanej letovej prevádzky. Je možné že budú existovať aj špeciálne letové trasy ktoré by boli využívané výhradne UAS lietadlami, takisto je možné uvažovať aj o letiskách výhradne s UAS prevádzkou. Integrácii UAS napomáhajú aj nové prevratné riešenia delenia vzdušného priestoru ako napríklad aj Single European Sky.

Dnes je známy aj problém so zahltením vzdušného priestoru najmä v určitých častiach sveta, pričom od roku 2000 do roku 2020 sa predpokladá zdvojnásobenie letovej prevádzky, čo sa dnes rieši riadením toku letovej prevádzky, ktorého predmetom by sa mohli stať aj UAS a teda by bolo pravdepodobne nutné vytvoriť úplne nové postupy

pre vyčkávanie, vyčkávacie obrazce, letové trasy, štandardné príletové a odletové trasy (SID a STAR), špeciálne postupy a podobne.

Medzi základné požiadavky prevádzky UAS patrí aj jednoznačné odlišenie bezpilotných a pilotovaných lietadiel od seba. To je zaistené mnohými cestami, jednak na letových plánoch by mala pribudnúť na tento účel kolónka a takisto riadiaci na obrazovke musí mať jasne viditeľné že sa jedná o UAS. Treba taktiež poupraviť štandardnú frazeológiu v ktorej by malo pribudnúť niekoľko fráz ohľadom UAS a takisto riadiaci letovej prevádzky by mali byť oboznámení s problematikou bezpilotných lietadiel a s núdzovými postupmi v prípade úplnej straty kontroly operátora nad UAS, v prípade straty spojenia, únosu a podobne.

Začlenenie UAS do všetkých letových priestorov rieši v Európe WG-73 a v USA je to SC-203, tieto dve skupiny spolu navzájom spolupracujú tak ako je to vidieť na obrázku 15, aby bola zaistená kompatibilita legislatívy v EÚ a v USA.

Na obrázku 22 vidieť prístup EÚ a USA, obe skupiny vytvárajú viacstupňový postup pre integráciu UAS do Európskeho a Amerického prostredia ATM.

WG-73 rieši začlenenie UAS do letových priestorov tried: A, B a C (pre IFR prevádzku na trati, postupy v koncových riadených oblastiach zatiaľ nerieši). V podstate sa jedná o spolupracujúce prostredie, čo znamená že v týchto priestoroch sú všetci účastníci povinný mať odpovedač módu S. Teda integrácia UAS do priestorov A, B a C môže byť založená na spolupráci S&A systému, ktorý bude zabezpečovať len vyhýbanie sa zrážkam.

Na druhej strane model skupiny SC-203 rieši začlenenie UAS do priestorov A, E a G. Jedná sa o prostredie s malou hustotou letovej prevádzky od doby kedy sú riadené letiská v USA obklopené priestormi tried B, C a D. Vzhľadom k tomu že, odpovedač módu C je nutný len v triede A a časti triedy E, integrácia UAS do priestorov tried A, E a G obsahuje nespôlpracujúce prostredie a systém S&A musí zabezpečiť na rozdiel od predchádzajúceho prípadu okrem vyhnutiu sa zrážkam aj separáciu lietadiel nezávisle na ATC. Je teda jasné že USA sa rozhodli riešiť podstatne zložitejší problém než v EÚ. Obe krajiny sú dnes v procese kedy sa rieši veľká modernizácia ATM pomocou programu SESAR a NextGen ATM. Súčasťou plánovanej modernizácie je aj nasadenie systému ADS-B (popis systémov S&A, ADS-B, CNS a podobne bude v nasledujúcej kapitole). V USA boli postupy týkajúce sa ADS-B už publikované a vstúpia do platnosti okolo roku 2020 a budú aplikované do tých istých priestorov kde sú dnes povinné odpovedače módu C. V Európe je využívanie ADS-B zatiaľ len vo fáze návrhu, ktorý však plánuje nadobudnúť efektivitu už v roku 2017 a bude pravdepodobne aplikovaný v tých priestoroch kde je dnes využívaný odpovedač módu S. Je nutné si uvedomiť že zmeny v prostredí ATM budú mať obrovský vplyv na integráciu UAS. Zavedenie ADS-B by malo so sebou priniesť potencionálne zníženie energetickej náročnosti systémov lietadiel, zníženie hmotnosti a rozmerov, a odstránenie nespôlpracujúceho prostredia systému S&A vo všetkých priestoroch. Tento postup zavedenia ADS-B by mohol ušetriť milióny v tom zmysle že by sa eliminovala potreba vyvíjať S&A systém založený na nespôlpracujúcom prostredí. Avšak kvôli určitej neistote okolo ADS-B sa v Európe WG-73 zameriava na rýchlu integráciu založenú na odpovedačoch módu S, pričom SC-203 rieši oboje, odpovedače módu C a aj ADS-B čo sa týka tak súčasnosti, kedy sa využívajú odpovedače mód C ale i možnej budúcnosti kedy sa budú využívať ADS-B v prostredí ATM.

Na záver k tomu teda EÚ a WG-73 sa snaží ako prvý krok vykonať integráciu UAS založenú na rozstupoch pomocou ATC a odpovedačoch módu S, teda aktuálneho ATM prostredia, avšak s určitými obmedzeniami ktoré by to pre UAS prinieslo, ktoré sú že ich prevádzka by bola možná len v priestoroch kde je povinný odpovedač v móde S.

Model SC-203 rieši prostredia s malou letovou prevádzkou za pomoci využitia odpovedačov módu C a ADS-B, teda rieši aktuálne a plánované budúce prostredia ATM a neriadené oblasti bez služieb ATC. [15]

2.2.2 Letiská

Samotné letiská pre prevádzku UAS pravdepodobne nebudú nijak výrazne upravované čomu sa musia teda prispôbiť samotné UAS. Na moderných letiskách je zásadným problémom najmä identifikácia vizuálnych prostriedkov ako sú približovacie svetlá, dráhové, identifikácia RWY a TWY, stojánok, stop priečky a mnoho iných vizuálnych letiskových prostriedkov. Pre tento problém samozrejme existuje tiež množstvo variant medzi ktorými sú napríklad systémy na samotnom UAS, ktoré takéto vizuálne prostriedky dokážu rozpoznať, dokážu rozoznať vodiace čiary na letisku a všetky ostatné vizuálne značky, značenia a prostriedky. Iný spôsob už vyžaduje úpravy aj samotného letiska a jeho vybavenia, a teda jednalo by sa o nahradenie vizuálnych značení značením elektronickým rôzneho prevedenia. Teda UAS by nemuselo vidieť napríklad vyčkávacie miesto pred dráhou vizuálne ale by iba pomocou senzorov nasnímalo presnú polohu tohto miesta a takisto by vedelo aj rozpoznať kedy už toto miesto môže prekročiť po vydaní povolenia od riadiaceho.

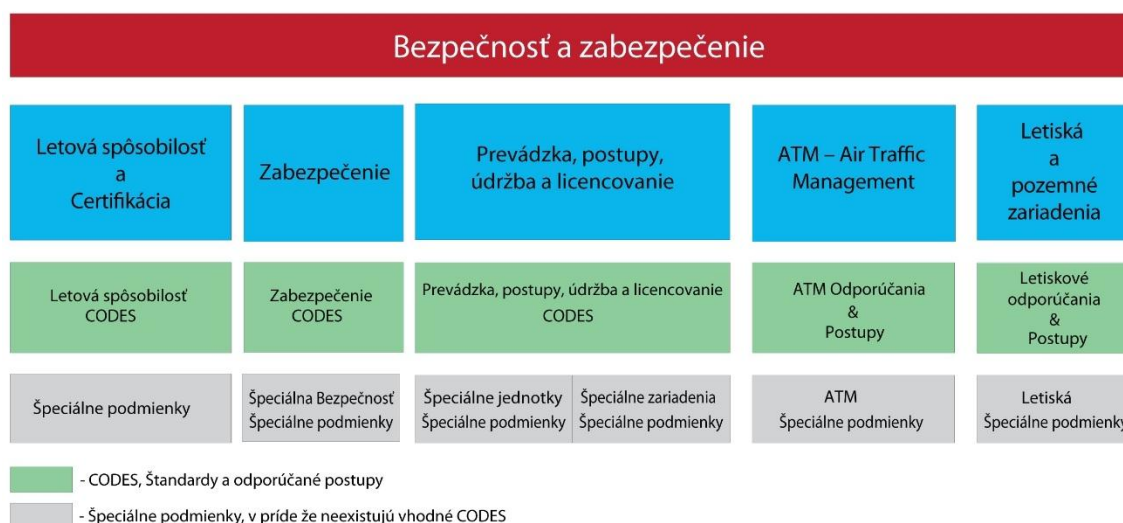
So samotnými letiskami a prevádzkou UAS je spojených ešte viacero problémov a mnohé sa ešte určite objavia až pri ich samotnej prevádzke.

2.2.3 Bezpečnosť a zabezpečenie

Bezpečnosť je kľúčovou zložkou celého letectva a je primárnym cieľom legislatívy. UAS lietadlá sa laickej verejnosti zatiaľ javia ako extrémne nebezpečné a väčšina ľudí si nevie predstaviť spoločnú prevádzku týchto lietadiel spolu s ostatnými lietadlami s množstvom cestujúcich na palube. Okolo bezpečnosti a UAS lietadiel sa vynára množstvo otázok a najmä čo sa týka spoľahlivosti bezpečne sa aj v prípade straty spojenia vyhnúť zrážkam a podobne.

Pre bezpečnosť UAS sú kľúčové nasledujúce oblasti:

- Zabezpečenie
- Letová spôsobilosť a certifikácia
- Prevádzka, postupy, údržba a licencovanie
- ATM – Air Traffic Management
- Letiská a pozemné zariadenia



23. Obr. Bezpečnostná priorita [7]

Uvedených päť oblastí je v prvom rade riešených kombináciou dohodnutých CODES (kódov) teda štandardov a odporúčaní. Mnohé z nich boli vytvárané počas niekoľkých rokov.

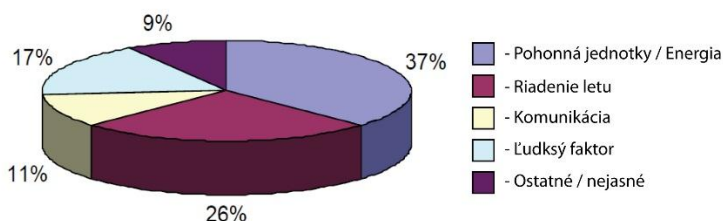
V prípade že tieto štandardy a odporúčania neexistujú alebo nie sú plne akceptovateľné pre UAS, tak druhý spôsob je prijať prístup založený na riziku v ktorom sú používané argumenty na formulovanie prečo niektoré špeciálne podmienky prispievajú k zaisteniu bezpečnosti konkrétneho systému. Tieto argumenty sú obvykle zakotvené v tom pod čím rozumieme bezpečnosť. Obrázok 23 ukazuje že celkové hodnotenie UAS bezpečnosti je zložené z oboch prístupov a nie je teda len jednostranné. [7]

Konečným cieľom bezpečnosti a zabezpečenia je ochrániť tretiu stranu pred pozemnými a samozrejme vzdušnými škodami. Táto úloha bola rozdelená do 5 častí ktoré boli popísané vyššie.

Už niektoré dnešné UAS sú podľa štúdií NASA schopné prekonať bezpečnosť pilotovaných lietadiel a to aj čo sa týka prevádzky v riadených priestoroch a na riadených letiskách. Zaistenie bezpečnosti si však dnes ešte vyžaduje pomerne vysoké náklady ktoré treba investovať najmä do vývoja neustále spoľahlivejšieho hardvéru ale i softvéru UAS.

Podľa doterajších certifikačných predpisov CS-25, musí byť u dopravných lietadiel, teda tých ktoré sa najčastejšie pohybujú v riadených priestoroch pravdepodobnosť katastrofickej nehody menšia než 10^{-9} . Túto hodnotu je nutné dosiahnuť aj u bezpilotných lietadiel ktoré sa chcú pohybovať v riadených priestoroch aby neboli ohrozené osoby na zemi či v ostatných lietadlách.

Graf nižšie zobrazuje štúdie najväčšieho prevádzkovateľa UAS na svete ktorým je momentálne armáda USA. Štúdie boli vykonané už roku 2002 (U.S. Air Force) teda v dobách keď lietadlá UAS boli ešte len v počiatočkoch a o civilnom využití sa práve začalo reálne uvažovať. Na grafe je vidieť zastúpenie jednotlivých faktorov ktoré mali vplyv na nehody UAS. Najväčšie zastúpenia má zlyhanie pohonnej jednotky prípadne energetického systému lietadla druhou najväčšou príčinou nehôd bolo riadenie letu, čím je myslená samotná kontrola nad lietadlom. Od roku 2002 však nastal obrovský pokrok vo vývoji technológií a takisto vojenské využitie nie je možné plnohodnotne porovnávať s civilným. [16]



24. Obr. Nehody USA vojenských UAS za dobu 100 000 letových hodín [16]

Na bezpečnosť civilných bezpilotných lietadiel majú zásadný vplyv najmä:

- Technológie UAS, systémy, sústavy a vybavenie nielen samotného lietadla ale všetkých častí nutných k jeho prevádzke (pozemná stanica, data link a pod.)
- Ľudský faktor
- Prostredie
- Protiprávne činy, únosy a útoky

Technológie ako je vidieť aj na grafe na obrázku 24 majú podstatný vplyv na bezpečnosť. U lietadiel UAS je náchylnosť na nehody spôsobené zlyhaním techniky o niečo väčšia ako je tomu u pilotovaných lietadiel a preto je treba sa tejto problematike zvlášť venovať. Lietadlá bez pilota na palube používajú pre vyhýbanie sa zrážkam alebo aj pre zaistenie rozstupov technológiu zvanú Sense and Avoid, ktorá im v podstate dovoľuje lety aj bez pilota na palube. Poznáme dva základné druhy tejto technológie, ktoré budú rozobrané neskôr no rozdiel spočíva v tom že existujú spolupracujúce S&A ktoré využívajú súčasné odpovedače a potom nespôlpracujúce S&A ktoré dokážu detekovať narušiteľov a vyhnúť sa kolíziám len za pomoci palubného vybavenia samotného UAS, teda s tým že nijako nespôlpracujú s inými lietadlami. Obe spomenuté varianty si však vyžadujú dokonalé zvládnutie tejto technológie pred tým než budú môcť byť použité v reálnej prevádzke.

Veľkú časť nehôd UAS môže tvoriť aj strata kontroly nad lietadlom (Lost Link), čomu treba samozrejme zabrániť a existujú dnes dve rozšírené varianty. Prvou je naprogramovať UAS tak aby bolo určitý čas schopné bezpečne pokračovať v lete až do doby keď sa spojenie znovu obnoví a druhý spôsob je že v prípade straty spojenia UAS aktivuje núdzový záchranný systém, ktorým je zvyčajne padák. No pri pristátí pomocou padáku tiež ešte stále môže dôjsť k nehodám na zemi a preto je nutné aj tu stanoviť určité požiadavky ktoré sa napríklad budú týkať rýchlosti klesania a taktiež priestorov do ktorých UAS takto môžu pristávať, pretože niektoré UAS môžu vážiť až desiatky ton. Napokon sa však pravdepodobne budú tieto dve spomínané metódy využívať súčasne, pretože aj UAS ktoré dokážu pokračovať v lete po prerušení spojenia musia mať záchranný systém pre prípad zlyhania iných systémov akým môžu byť sústavy či pohonné jednotky. Jednou z hlavných bezpečnostných požiadaviek je aj to že každé UAS musí byť schopné rozpoznať že došlo ku strate kontroly, túto informáciu musí mať aj riadiaca stanica UAS a ak je to možné tak aj riadiaci letovej prevádzky. Zaistenie bezpečnosti čo sa týka technickej stránky má na starosti overovanie spôsobilosti a certifikáciu jednotlivých častí UAS medzi ktoré patrí samotné lietadlo, riadiaca stanica, data link a ostatné príslušenstvo.

Prostredie v ktorom sa UAS pohybujú je veľmi rozmanité a môže byť tvorené množstvom iných druhov užívateľov, ktorý nie sú vždy najlepšie vybavený. Každé UAS by malo byť schopné sa vysporiadať s nástrahami ktoré mu dnešné letecké prostredie pripraví.

Dnešné letecké prostredie nie je k UAS príliš priaznivé. V dobách keď vznikala väčšina letísk a predpisov s nimi spojených sa s prevádzkou UAS žiaľ nerátalo. Mnohé prostriedky ako už bolo spomenuté na letiskách vyžadujú vizuálne referencie, napríklad stop priečky, odbočky na letiskách, značenie rolovacích dráh, značenie nepojazdných plôch a podobne.

Ďalším činiteľom prostredia je počasie. Meteorológia má taktiež ako aj na pilotované lietadlá na lietadlá UAS obrovský vplyv ba dokonca mnohokrát aj väčší pretože UAS sú spravidla o niečo menšie ako ich pilotované verzie.

Nepriaznivý vplyv má samozrejme aj terén, ktorý niekedy môže spôsobovať rušivé, odrazy, interferencie, alebo úplnu stratu signálu.

UAS sa budú musieť prostrediu prispôbiť, a vedieť plne využiť aj dnešné navigačné prostriedky medzi ktoré patrí napríklad VOR, DME, NDB a podobne o ktorých sa predpokladalo že niektoré z nich v dnešnej dobe už vôbec nebudú existovať.

Prostredie ATM bolo už spomenuté v predchádzajúcej časti ale to má na integráciu UAS zo všetkých činiteľov asi najväčší vplyv. U ATM by mala nastať v blízkej dobe zmena ktorá by integráciu UAS výrazne zjednodušila.

Bezpilotné lietadlá musia byť dostatočne vybavené a flexibilné aby sa vedeli so všetkými predpokladanými situáciami ktoré môžu nastať bezpečne vysporiadať.

Ľudský faktor zohráva v leteectve veľmi významnú úlohu a pripisuje sa mu väčšina leteckých katastrof. Aj keď je do istej miery možné konštatovať, že u UAS ľudský faktor nezohráva až takú rolu ako u pilotovaných lietadiel stále ešte tvorí obrovskú časť tohto systému. Za vykonanie letu je rovnako ako u tradičných lietadiel aj u bezpilotných lietadiel zodpovedný kapitán lietadla. Ten v prípade UAS musí schváliť danú misiu lietadla, trať letu, počasie a mnoho iného. Tieto úkony je už možné vykonať aj automaticky avšak vždy sa musia stanoviť určité tolerancie a limity. Takisto dnes je nutné aby bol pilot lietadla UAS ktorý letí v riadenom priestore (obmedzený priestor) neustále v spojení s riadiacim letovej prevádzky a aby mohol kedykoľvek zasiahnuť do vykonania letu.

Existujú dva rôzne pohľady na celkové hodnotenie bezpečnosti v rámci ľudského faktora v oblasti UAS. Prvý je že riziko spôsobované ľudským faktorom je u bezpilotných lietadiel menšie než u pilotovaných a to z dôvodu, že ak dôjde k nejakej núdzovej situácii tak pilot UAS stále sedí v bezpečí riadiacej stanice a jeho život nie je priamo ohrozený. Takže na rozdiel od pilotovaných lietadiel nemá dôvod na skratové konanie alebo konanie pod veľkým stresom, a navyše v riadiacej stanici je možná aj pomoc od kolegov. Druhý pohľad na vec je taký že pilot bezpilotného lietadla ktorý sám nie je v prípade núdze nijako ohrozený nebude reagovať adekvátne a nemusí vykonať všetko pre to aby nehode zabránil. Môže dôjsť k určitej ľahostajnosti k danej situácii pretože tu nedochádza k priamej hrozbe pilota. Žiaden stres a adrenalín teda tiež nie je najideálnejšia situácia ale spomínaný prvý pohľad sa javí aj napriek tomu ako reálnejší a teda v tomto prípade je riziko ľudskej chyby menšie ako stresové konanie.

Piloti alebo operátori UAS budú musieť preukazovať svoje schopnosti podobne ako je tomu u tradičných lietadiel a takisto budú musieť pre obsluhu UAS byť držiteľmi príslušnej licencie.

Protiprávne činy a ochrana pred nimi je u UAS veľmi významná. Podobne ako dnes musí byť zabezpečený a chránený prístup do pilotných kabín, tak aj v prípade UAS musí byť dostatočne zabezpečený prístup do riadiacej stanice. Zabezpečený musí byť celý systém počnúc údržbou samotného UAS, aby nemohlo dôjsť k umiestneniu nejakých výbušnín alebo podobne, vzletové a pristávacie zariadenie, spomínané riadiace stanice, pozemné antény, data link a podobne. Veľký dôraz je kladený aj na zabezpečenia samotných komunikačných a dátových kanálov, ktoré musia byť dostatočne chránené.

Prípady kedy by sa neoprávnené osoby dostali do riadiacej stanice, alebo by dokázali vysielat' rušivé signály, alebo by neautorizovaná stanica dokázala prebrať dokonca kontrolu nad lietadlom by mohli skončiť katastroficky. Preto samozrejme riadiace signály musia byť proti takýmto útokom odolné a dostatočne zabezpečené. Signál musí byť šifrovaný a zabezpečený na dostatočnej úrovni aby nebolo možné ho jednoducho napadnúť alebo vyrušiť.

UAS sa ako tu už bolo spomenuté javia ako dokonalé prostriedky pre teroristické činy. Samotný páchatel' nemusí nijako ohroziť svoj život a napriek tomu pri prevzatí kontroly nad UAS lietadlom pohybujúcim sa v neseparovaných priestoroch a nad obývanými územiami dokáže spôsobiť fatálne škody. Touto témou sa kompetentné organizácie intenzívne zaoberajú a snažia sa minimalizovať možnosť spomínaných scenárov. Určité riziko tu však vždy bude ale je nutné ho dostať na takú úroveň aby bolo možné UAS prevádzku považovať za dostatočne bezpečnú a spoľahlivú. [16]

3. TECHNOLOGIE UAS A CNS

3.1 Aktuálne technológie a ich možnosti

Technológie UAS v posledných rokoch neboli vyvinuté v súlade so štandardmi súčasne existujúcej letovej spôsobilosti. Aktuálna legislatíva nepojednáva o mnohých unikátnych aspektoch spojených s prevádzkou UAS. Materiály, vlastnosti, konštrukčné návrhové normy, normy pre spoľahlivosť systémov a iné minimálne požiadavky na výkonnosť pre základné konštruovanie UAS musia byť posudzované vo vzťahu k normám letovej spôsobilosti pilotovaných lietadiel. Je zrejmé že je nutné vytvoriť na základe už existujúcich noriem a výskumu úplne novú oblasť zaoberajúcu sa výlučne UAS technológiami. Aj keď už boli vykonané významné technologické pokroky vo vývoji UAS je nevyhnutný ďalší výskum pre plné porozumenie vplyvu UAS prevádzky na neseparované riadené priestory s ostatnou pilotovanou i ďalšou bezpilotnou prevádzkou. Taktiež je nutné navrhnúť aj zariadenia slúžiace pre certifikáciu a overovanie vlastností, výkonov a celkovej letovej spôsobilosti UAS.

UAS môžu pracovať v širokom spektre výkonových charakteristík, ktoré sa nemusia vždy nutne zladiť s charakteristikami pilotovaných lietadiel. Jedným z problémov je aj zladenie avioniky a riadenia so samotným lietadlom a jeho reakciami. Napríklad kvantitatívne hodnotenie času potrebného pre reakciu pilota na príkaz riadiaceho (ako je napr.: točte vľavo, kurz 270°, udržiajte FL250) zatiaľ vôbec neexistuje, je prijateľné oneskorenie verbálnej reakcie a fyzickej reakcie pilota ale nie je žiaden dokument ktorý by zadefinoval hranice prijateľných hodnôt. Oneskorenie prenášaných dát a to najmä vizuálnych referencií a podobne medzi riadiacim strediskom a lietadlom nesmie presahovať primerané zatiaľ nedefinované hodnoty. Certifikované avionické systémy nemôžu byť navrhnuté bez toho aby boli navrhnuté a definované tieto a obdobné požiadavky. [14]

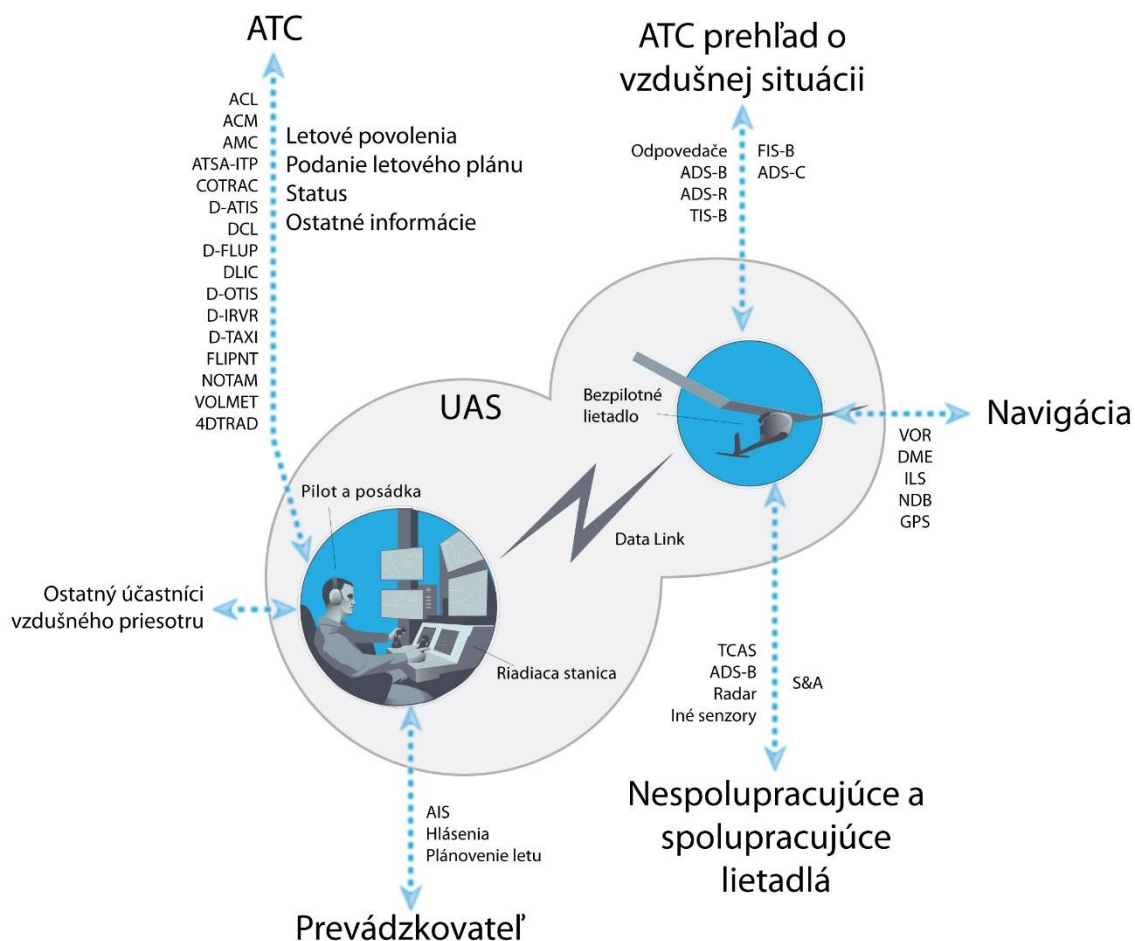
Súčasná technológia sú už na dostatočne vysokej úrovni aby bola možná bezpečná prevádzka UAS, avšak háčikom je že tieto technológie sú zatiaľ veľmi drahé a nie sú optimálne vyladené pre reálne prevádzku a používanie. Ako už bolo spomínané je nevyhnuté vykonať ešte mnoho štúdií, výskumov a experimentov aby sa tieto technológie dokázali optimalizovať, prispôbiť a dokonale adaptovať dnešnému leteckému prostrediu.

CNS – Communication, Navigation, Surveillance v preklade komunikácia, navigácia a prehľad o vzdušnej situácii. Ide o tri základné zložky leteckej dopravy v oblasti navigácie ale aj bezpečnosti. Tieto tri zložky sú zväčša tvorené technickými prostriedkami ktoré sú umiestnené na zemi a spolupracujú so zariadeniami na palubách lietadiel alebo so satelitným systémom ako napríklad GPS.

3.2 C – Komunikácia (Communication)

Pod pojmom komunikácia sa nerozumie len štandardná hlasová komunikácia ale je to v podstate všetka komunikácia resp. všetok prenos dát a informácií ktorý prebieha medzi samotným lietadlom a ostatnými pozemnými či satelitnými zariadeniami. Dnešná letecká prevádzka je veľmi závislá na klasickej hlasovej komunikácii, ktorá tvorí podstatnú časť prenosu veľmi dôležitých informácií. V súčasnosti sa hlasová komunikácia využíva na predávanie inštrukcií medzi riadiacim letovej prevádzky a pilotmi lietadiel, slúži na predávanie informácie pre zaistenie rozstupov lietadiel, pre

vydávanie povolení, pre meteorologické výstrahy a mnoho iných nesmierne dôležitých informácií. Pomáha k bezpečnej letovej prevádzke a takisto aj k zaisteniu plynulosti letovej prevádzky. Ukázalo sa však, že takáto klasická komunikácia je dnes v priestoroch s veľmi hustou prevádzkou nepraktická, pretože nedokáže v dostatočne rýchлом čase preniesť dostatok informácií a tým nadmerne zaťažuje radiacích letovej prevádzky. Preto sa pristúpilo neskôr k masívnejšiemu využívaniu Data Linku, ktorý v mnohých prípadoch komunikáciu výrazne zrýchli a z časti tak zamedzí aj omylom vo verbálnej komunikácii a nezrozumiteľnosti v niektorých prípadoch.



25. Obr. Prenos dát medzi UAS a ostatnými zariadeniami [17]

UAS a komunikácia sú na seba nesmierne naviazané a to vyplýva z toho, že každé bezpilotné lietadlo okrem iného ešte musí neustále komunikovať so svojou riadiacou stanicou a naopak. Takáto komunikácia sa dnes realizuje výlučne pomocou rádiových vĺn na rôznych frekvenciách. UAS lietadlá ako aj každé iné pilotované lietadlo využívajú mnoho druhov komunikácie. Komunikujú s pozemnými navigačnými zariadeniami, s ATC, s ostatnými lietadlami, so satelitmi a s mnohými inými zariadeniami a navyše so spomínanou riadiacou stanicou. Všeobecne komunikácia je tak rozdelená do troch častí a spolu sa označuje ako C3. Je rozdelená na: Command, Control & Communication teda v preklade príkazy, riadenie a komunikácia. Dnešná letecká komunikácia a frekvenčné spektrá podliehajú legislatíve ktorá podrobne popisuje technické zázemie. Do legislatívy zaoberajúcej sa touto témou patrí napríklad:

- EASA.2008.OP.08.
- FAA AC 25.1309-1A-FAA AC 27-1B
- FAA AC 29-2C, FAA AC 20-115B, FAA AC 20-140

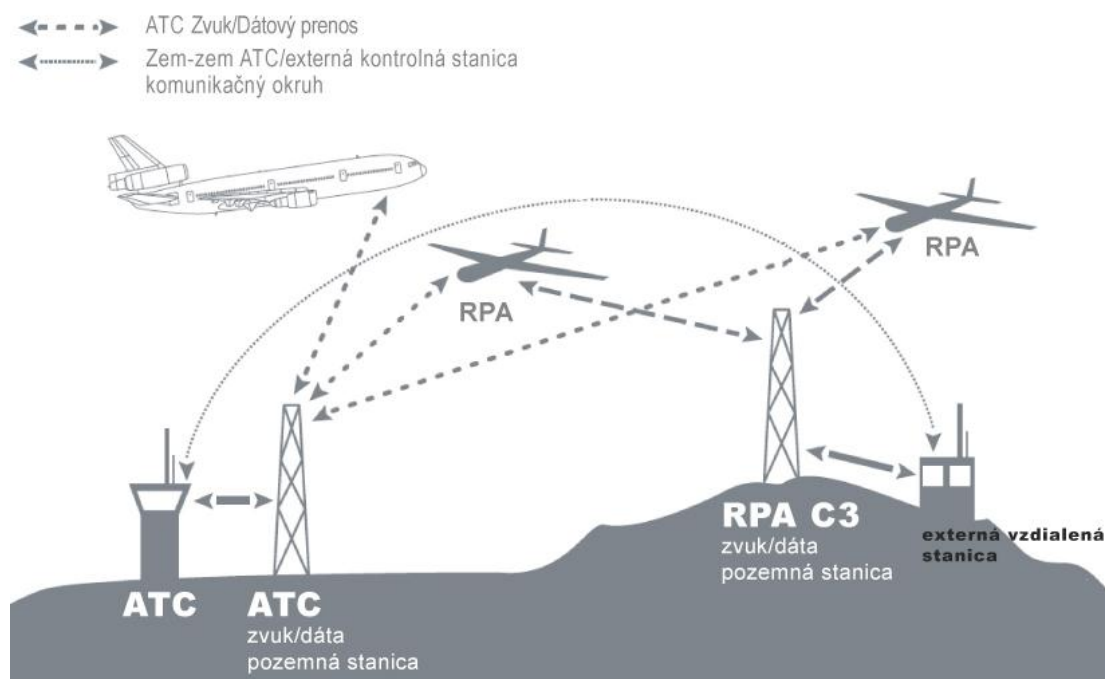
- RTCA DO-258A/ED-100A
- RTCA DO-178B/ED-12B
- ARINC 622-4, ARINC 618-6, ARINC 619-3, ARINC 620-6
- Boeing ATS SR&O D926T0280
- GATM CRD, USAF 003-97
- MIL-HDBK-514
- EUROCAE ED-23C
- JAA Administrative & Guidance Material

Táto časť práce sa bude venovať najmä komunikácii UAS s riadiacou stanicou, pretože ostatná komunikácia prebieha obdobne ako je tomu u pilotovaných lietadiel. [17]

Spojenie UAS lietadla a riadiacej stanice sa môže realizovať dvoma základnými spôsobmi. A to ako priame spojenie RPA (bezpilotné lietadlo) a RPS (riadiaca stanica) alebo ako nepriame spojenie RPA s RPS. Oba tieto dva spôsoby spojenia majú svoje výhody i nevýhody.

3.2.1 Spojenie RPA a RPS na priamu rádiovú viditeľnosť

Ako sa dá z názvu vydedukovať spojenie na priamo znamená že RPS + anténa je pomocou data linku priamo spojená s RPL, a signál sa šíri teda priamo od antény RPS až ku samotnému RPA.

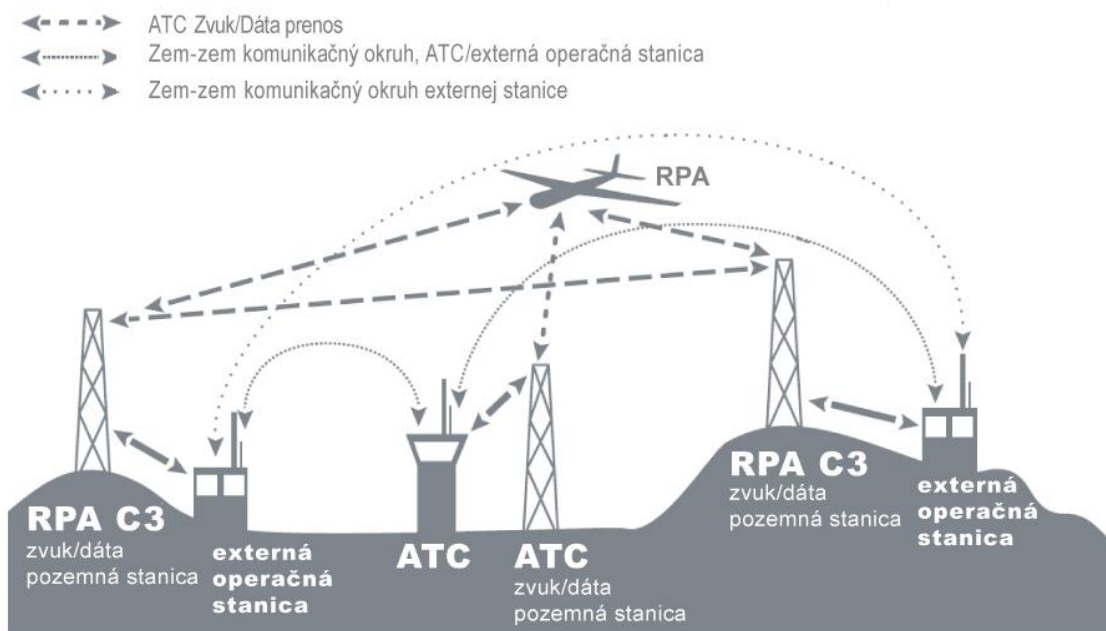


26. Obr. Komunikačný okruh UAS na priamu rádiovú viditeľnosť [11]

Dosah rádiového spojenia na priamu viditeľnosť sa pohybuje v rozmedzí 50 až 500 Km. Táto hodnota má taký veľký rozptyl preto že priamy dosah je závislý na mnohých faktoroch. Tak ako aj u niektorých známych navigačných zariadení aj tento rádiový dosah je závislý na vysielacom výkone antény, na použitej rádiovkej frekvencii, na okolitom teréne, na počasi, na samotnom spracovaní signálu a podobne. Ak sa však použijú správne technológie a postupy nie je problém dosiahnuť dosah v uvedenej hornej hranici teda až do 500 Km od riadiacej stanice resp. jej antény ktorá je ale

zvyčajne so stanicou spojená káblovým vedením a umiestnené do niekoľko desiatok metrov.

V prípade že by sme potrebovali zväčšiť rádius prevádzky UAS existuje variant kedy je možné využiť viacero riadiacich staníc, nazývaných v tomto prípade translačné stanice, ktoré predĺžia dosah signálu vysielaný hlavnou riadiacou stanicou. Touto metódou je možné pokryť obrovské územie a pritom si zachovať takmer všetky výhody priameho rádiového spojenia.



27. Obr. Priamy rádiový komunikačný okruh s využitím translačných staníc [11]

Ako bolo spomenuté každý systém má nejaké tie svoje výhody a nevýhody. Medzi výhody priameho rádiového spojenia patrí najmä to že tento systém nezavádza do komunikácie oneskorenie prenosu dát. Teda všetky informácie a dáta sú prenášané medzi RPS a RPA v reálnom čase len s minimálnym zanedbateľným oneskorením. To umožňuje v podstate pohodlné ovládanie lietadla, prípadne prenos nasnímaného obrazu v reálnom čase, umožňuje to pilotovi okamžite zasiahnuť v prípade núdzovej situácie (vyhnutie sa zrážke) a podobne.

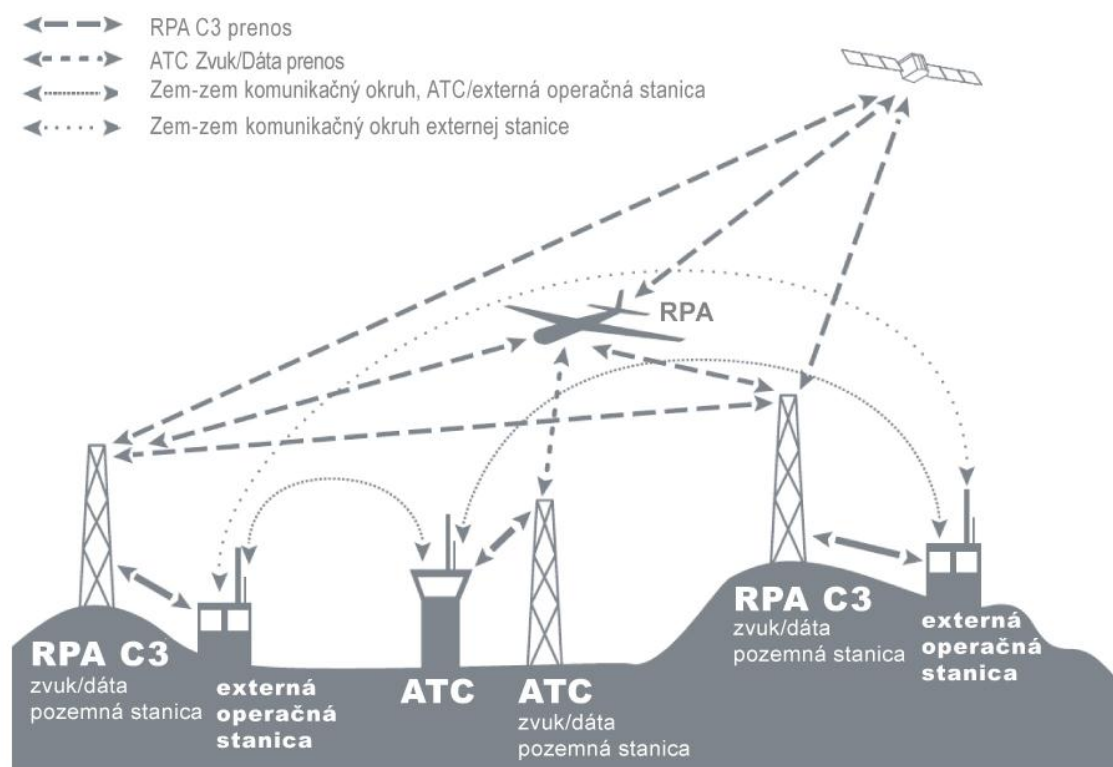
Čo sa nevýhod týka tak treba spomenúť samozrejme obmedzený dosah, možnosť straty a rušenia signálu pokiaľ RPA operuje v nízkych výškach obzvlášť v horskom teréne. Pri použití translačných staníc zvýšenie nákladov potrebných pre ich výstavbu a podobne. [14]

3.2.2 Spojenie RPA a RPS na nepriamu rádiovú viditeľnosť pomocou satelitov

Tento typ spojenia RPA a RPS je realizovaný prenosom dát pomocou satelitov. Výhodou oproti predchádzajúcej metóde je, že satelity dnes pokrývajú takmer všetky časti Zeme, alebo aspoň väčšinu obývaného územia a tým pádom je možné ovládať bezpilotné lietadlo takmer kdekoľvek na svete a z ktoréhokoľvek miesta. Táto metóda nemá udaný žiaden konkrétny dosah ale lietadlo sa musí pohybovať v priestoroch s dostatočným pokrytím satelitného signálu čo však dnes nie je problém. Z jej charakteru vyplýva že táto metóda je obzvlášť vhodná najmä pre UAS ktoré majú dlhý dolet a vytrvalosť.

Nevýhodou nepriameho spojenia je však značné oneskorenie v prenose údajov medzi lietadlom a riadiacou stanicou. Toto komplikuje a dokonca aj znemožňuje priame ovládanie lietadla operátorom v reálnom čase. Preto sa tento spôsob nepriameho

rádiového riadenia využíva väčšinou len v spojení s poloautomatickými alebo plne automatickými UAS (popísané na str.: 18). Tie v prípade potreby zásahu do riadenia akým môže byť vyhnutie sa zrážke, pohotovú reakciu na pokyn riadiaceho, pristátie lietadla a podobne sú schopné si samé poradiť. Takéto UAS samozrejme musia byť vybavené výkonným S&A systémom a vysokým stupňom automatizácie. Tento systém sa však aj napriek pokročilej technike dnes využíva tým spôsobom že RPA je vo fáze pristátia, vzletu či letu v neseparovanom priestore ovládané priamym spojením ktoré bolo spomínané vyššie. Nepriame spojenie sa využíva najmä pri letoch na dlhé trate a vo veľkých nadmorských výškach. S obľubou je používané vo veľkej miere u vojenských UAS.



28, Obr. Nepriame kombinované spojenie RPA a RPS [11]

Pre zabezpečenie popisovaného nepriameho rádiového spojenia UAS sa využívajú Geostacionárne družice (GEO), družice s nízkou zemskou orbitou (LEO) a družice so strednou orbitou (MEO). Družice s vysokou orbitou zeme (HEO) sa nepoužívajú pre tieto účely.

3.2.3 Komunikačné architektúry

Letecká komunikačná architektúra je zložená zo všetkých zariadení ktoré sa nejako podieľajú na prenose dát v leteckve. Patrí sem mnoho pozemných zariadení, vysielateľov, AFTN (Aeronautical Fixed Telecommunication Network), satelity, všetci účastníci letovej prevádzky a podobne. Samotnú architektúru tvorí systém prepojenia medzi jednotlivými zariadeniami celej leteckej komunikačnej siete. Pojednáva o tom akým spôsobom sú prenášané dáta medzi týmito zariadeniami. V ceste integrácii UAS do riadených priestorov stojí aj analýza tejto komunikačnej architektúry a návrh novej takej ktorá by zahŕňala dátové prenosy spojené s UAS prevádzkou. Teda jedná sa najmä o úplne nové druhy spojenia a to lietadla s riadiacou stanicou a celého systému UAS so všetkými ostatnými potrebnými zložkami komunikačnej siete.

EASA vydala v roku 2009 dokument s názvom: Final Report of the Preliminary Impact Assessment On the Safety of Communications for Unmanned Aircraft Systems (UAS) Volume 1. Tento dokument porovnáva z rôznych hľadísk rôzne navrhované komunikačné architektúry.

Analýza jednotlivých architektúr bola vykonaná na základe EUROCONTROL Safety Assessment Methodology (SAM).

V nasledujúcich 4 oblastiach sú jednotlivým architektúram pridelované body:

- Transparentnosť ATC komunikácie a prehľad o vzdušnej situácii
- Spoľahlivosť a zaistenie kontinuity
- Použité frekvenčné spektrá
- Geografické pokrytie

Nasledujúca tabuľka zobrazuje výsledok analýzy prvých 15 architektúr, pričom najlepšie z testu vyšla komunikačná architektúra označená ako AR2, ktorá dosiahla najmenšiu mieru rizika a to 69 bodov čo je najmenej. [17]

Architektúra	Popis	Miera rizika		Red Risks	Yellow
		Nameraná	Plán		
AR1	ATC relay: non-networked GS	110	41	1	
AR2	ATC relay: networked GS	69	27	0	
AR3	ATC relay: GEO satellite	171	49	0	1
AR4	ATC relay: LEO satellite	140	40	0	
AR5	ATC relay: HAP	142	44	0	
NR1	ATC via terrestrial GS + DL via non-networked GS	92	33	1	
NR2	ATC via terrestrial GS + DL via networked GS	129	31	0	
NR3	ATC via terrestrial GS + DL via GEO satellite	152	34	0	
NR4	ATC via terrestrial GS + DL via LEO satellite	154	32	0	
NR5	ATC via terrestrial GS + DL via HAP	153	36	0	
NR6	ATC via dedicated wired i/f + DL via non-networked GS	91	35	1	
NR7	ATC via dedicated wired i/f + DL via networked GS	126	40	0	1
NR8	ATC via dedicated wired i/f + DL via GEO satellite	146	38	0	
NR9	ATC via dedicated wired i/f + DL via LEO satellite	146	38	0	
NR10	ATC via dedicated wired i/f + DL via HAP	146	42	0	
NR11	ATC via CSP wired i/f + DL via non-networked GS	101	37	1	
NR12	ATC via CSP wired i/f + DL via networked GS	128	38	0	1
NR13	ATC via CSP wired i/f + DL via GEO satellite	161	38	0	
NR14	ATC via CSP wired i/f + DL via LEO satellite	161	38	0	
NR15	ATC via CSP wired i/f + DL via HAP	353	58	0	2

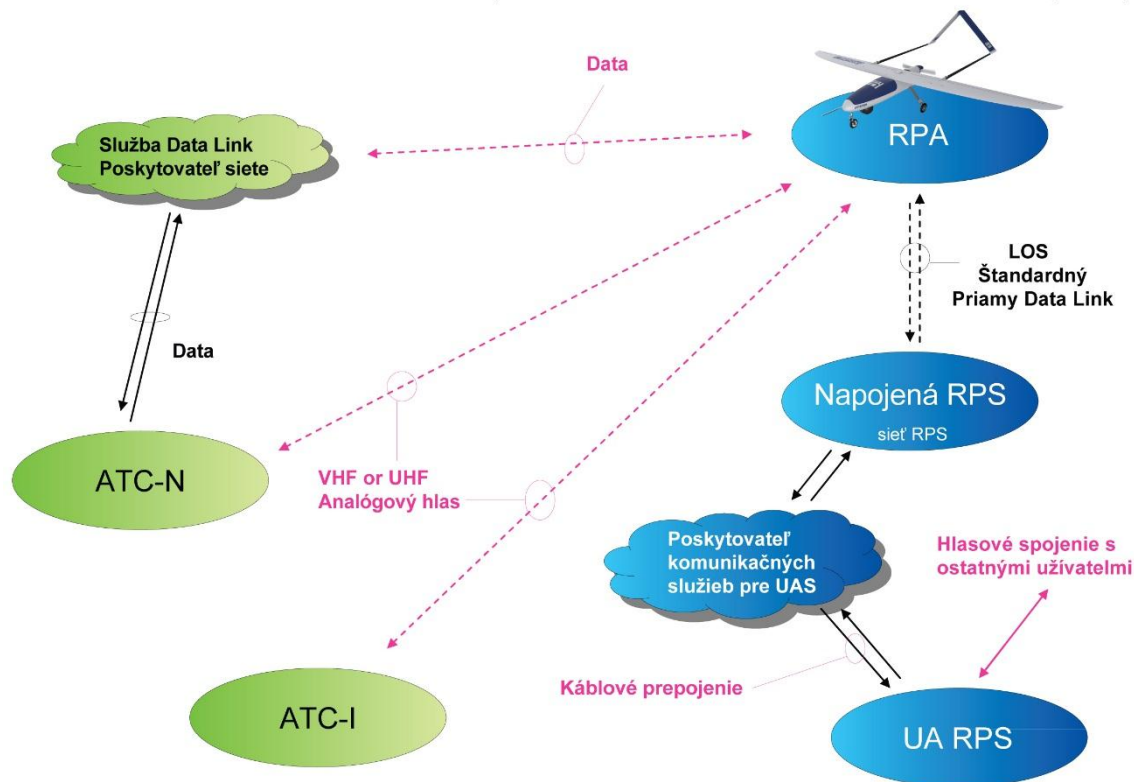
29. Obr. Výsledky bezpečnostnej analýzy komunikačných architektúr podľa EUROCONTROL [17]

Popis víťaznej architektúry AR2:

AR2 – Networked terrestrial GS providing C2 and ATC Voice/Data Communications
 AR2 – je architektúra kde sú všetky pozemné riadiac stanice RPS navzájom prepojené priamym káblovým spojením jedného z typov: MILNET, Internet, VPN, T1/E1 alebo VSAT. Pozemné stanice teda medzi sebou komunikujú po kábli a s RPA komunikujú prostredníctvom C2 dátového spojenia (full duplex channel). Pozemná stanica RPS

komunikuje s ATC prostredníctvom RPA, ktoré zaistí uje všetku komunikáciu s ATC prostredníctvom najčastejšie VHF alebo UHF rádiového spojenia. Táto architektúra je navrhnutá tak aby nemuselo dôjsť k žiadnym úpravám dnešnej ATC infraštruktúry. Tento spôsob je vhodný avšak pri neustálom zhusťovaní letovej prevádzky by tu mohol v budúcnosti nastať problém s nedostatkom frekvenčného spektra pre prenos hlasovej a dátovej komunikácie s ATC a riadiacich dát pre RPA prostredníctvom C2 spojenia. [18]

AR2 – ATC Voice/Data Communications, TLM & TCM via **Networked Terrestrial Radio (ANTR)**



30. Obr. AR2 Architektúra prenosu dát medzi UAS a ATC [18]

Popis ostatných 20-tich architektúr je možné nájsť v spomínanom EASA dokumente no reálne pripadajú do úvahy pre reálnu prax len prvé tri architektúry s najlepším (najmenším) skóre podľa tabuľky na obrázku 29.

3.2.4 Dátové spoje a ich zabezpečenie

Dátové spojenie musí medzi lietadlami a ostatnými účastníkmi letovej prevádzky prenášať množstvo rôznych druhov informácií. Navyše v prípade UAS tu pribúda nesmierne dôležité a dátovo i bezpečnostne náročné spojenie medzi riadiacou stanicou a samotným bezpilotným lietadlom. Dátové spojenie tvorí jednu z najväčších oblastí ktorým sa treba venovať pri integrácii UAS do riadeného letového priestoru pretože z minulosti s ním je len málo skúseností čo týka UAS prevádzky spoločne s pilotovanou prevádzkou. Treba vyriešiť množstvo otázok týkajúcich sa najmä už spomínanej architektúry prenosu dát, voľby vhodných frekvencií, zabezpečenie dátových spojov, ich spoľahlivosť a podobne. Túto úlohu rieši podrobne RTCA (rádio-technická letecká komisia) v dokumente DO-344 vydaným skupinou SC-203, ktorý však nie je zdarma verejne dostupný. Problematika UAS bola preberaná aj na WRC-2012 svetovej rádiokomunikačnej konferencii roku 2012, kde boli preberané otázky ohľadom UAS, pridelovania frekvencií a zabezpečenia dátovej komunikácie. [19]

Dátové spojenia používané v letectve podliehajú tak ako aj všetky ostatné časti systému kontrolám a je dôležité aby dokázali zaistiť dostatočnú integritu a kontinuitu. Ako už bolo spomínané každý dátový prenos musí mať dostatočný dosah rádiového signálu, ktorý je závislý najmä na výkone vysielača, na samotnej anténe, na použitej frekvencii, na type terénu a na počasí. Taktiež musí byť zaistená primeraná kvalita signálu, dostatočná prenosová rýchlosť, primerané oneskorenie prenosu dát a dostatočný výkon.

V každom prípade je nutná ochrana dát a ich zabezpečenie. Keďže hovoríme o bezpilotných lietadlách ochrániť riadiace dáta je nesmierne dôležité pretože v prípade ak by bolo tretej strane umožnené tieto dáta sledovať, tak by mohlo časom dôjsť k prevzatiu kontroly nad UAS. Aj keď dáta sú šifrované pri dlhodobom sledovaní je možné prísť na ich šifrovaciu sekvenciu a signál rozlúštiť. Tomu je nutné zabrániť a existuje niekoľko metód, z ktorých mnohé sú využívané aj v súčasnosti napríklad v systémoch GPS a podobne.

Dáta potrebné pre bezpečnú prevádzku UAS je možné rozdeliť do šiestich kategórií uvedených v tabuľke 9. Tabuľka uvádza podľa RTCA potrebné objemy dát prenesené za jednotku času ktoré sú nutné pre jednotlivé uvedené kategórie.

Podrobnejší rozbor riadiaceho dátového spojenia a prenosu dát medzi RPS a RPA je uvedený v dokumente RTCA DO-260B od skupiny SC-186.

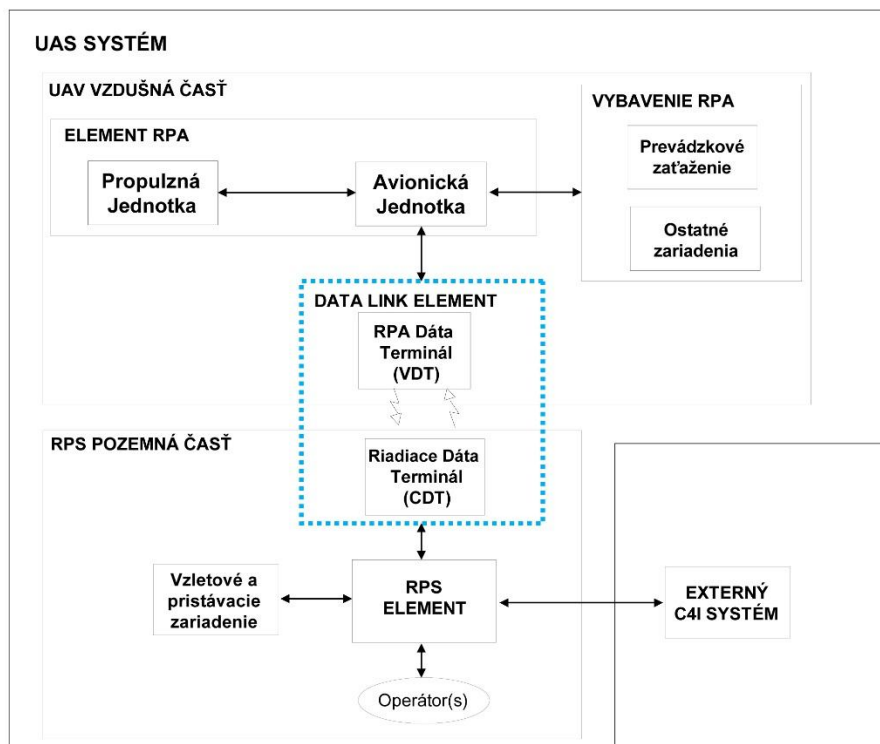
9. Tab. Objemy prenosu dát pre UAS

Požadovaný objem prenosu dát pre jednotlivé činnosti	Požadovaný objem dát [Kbps]
Navigácia	0,58
Riadenie	1,87
ATC dáta a hlasová kom.	4,86
Počasié	8,8
Prehľad	9,12
Video	270+

Navigácia spotrebuje ako je vidieť v tabuľke z uvedených kategórie najmenší objem dát avšak jej dôležitosť je vysoká. UAS lietadlá keďže nemajú tak dobré vizuálne referencie ako pilotované lietadlá musia mať navigáciu na vysokej úrovni ktorá im umožní určovať polohu s vysokou spoľahlivosťou a presnosťou. UAS tak ako aj pilotované lietadlá využívajú štandardné navigačné zariadenia akými sú VOR, DME, NDB, ILS, GPS a iné autonómne navigačné zariadenia akými môžu byť INS/IRS, Dopplerovský navigačný systém a podobne. UAS musí byť schopné komunikovať s týmito navigačnými pomôckami a zároveň odosielať tieto informácie do riadiacej stanice a odtiaľ zas prijímať príkazy. Z hľadiska aplikácie UAS do riadených priestorov musí byť navigácia zabezpečená tak aby bola dosiahnutá minimálna hranica pravdepodobnosti zlyhania tohto kriticky dôležitého kanála.

Riadenie je najdôležitejší komunikačný kanál UAS. Každé RPA ktoré sa chce pohybovať v riadenom priestore musí byť neustále v spojení s riadiacou stanicou a prostredníctvom riadiaceho kanála musí byť možné kedykoľvek zasiahnuť do riadenia lietadla. Riadiaci kanál využíva dátový tok okolo 1,87 Kbps. To je podľa analýz dostatočné pre spoľahlivé riadenie avšak je požadované aby riadiaci kanál UAS bol zálohovaný. Existuje mnoho protokolov ktoré sa zaoberajú riadiacimi kanálmi UAS no

nutné je doriešiť ešte problémy ktoré nastávajú s prevádzkou dnešných UAS akým už niekoľko krát spomínaný Global Hawk či Predátor. Týmto problémom sa venuje známa skupina SC-203 ale aj napríklad NATO čo sa týka najmä vojenských aplikácií UAS.



31. Obr. Spojenie RPA s RPS pomocou Data Linku [20]

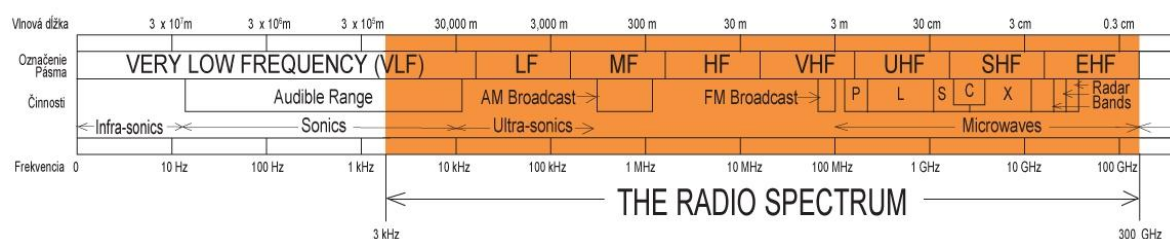
ATC dáta a hlasová komunikácia sú pre lety v riadených priestoroch nutnosťou. Požaduje sa aby bol pilot UAS neustále v spojení s ATC. Toto zaisťuje komunikačný kanál. Táto komunikácia môže byť viacerými spôsobmi. RPS (Riadiaca stanica) priamo komunikuje s ATC. Riadiaca stanica komunikuje s ATC prostredníctvom bezpilotného lietadla. Alebo riadiaca stanica komunikuje prostredníctvom družíc (napr.: SATCOM, INMARSAT, IRIDIUM) s ATC aj s lietadlom.

Ako už bolo spomínané UAS sú na počasie väčšinou viac citlivé ako pilotované lietadlá a preto je nutné mať aktuálne informácie o počasi. To zväčša zaisťuje AWR – palubný poveternostný radar. No v prípade UAS je tu možnosť aj dáta o počasí zhromažďovať priamo v riadiacej stanici a teda by odpadla nutnosť tento radar na palube lietadla mať, čím by sa znížila jeho hmotnosť, rozmery a cena.

Prehľad o okolitej situácii hrá významnú úlohu. Je samozrejme nutné zabezpečiť vyhýbanie sa zrážkam a v neriadených priestoroch i rozstupy od ostatných lietadiel. Dáta sú posielané z rôznych zdrojov ktorými sú odpovedače prípadne ADS-B, ADS-C alebo TIS-B a iné. Tieto informácie sú spolu s ostatnými taktiež odosielané do riadiacej stanice a informujú operátora.

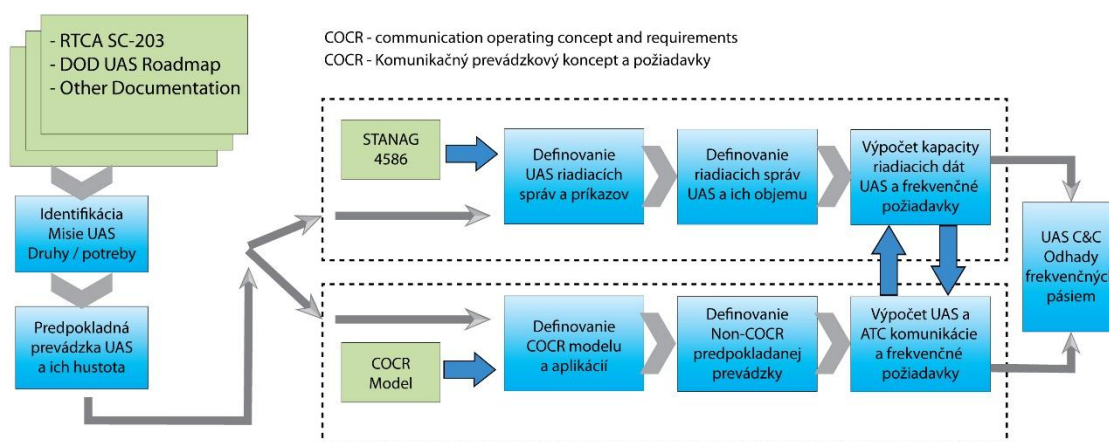
Videosignál je na prenos dát pomerne náročný. Všetko závisí na kvalite a rozlíšení daného videa. Vizualne referencie UAS lietadiel môžu byť v niektorých situáciách požadované a sú dokonca aj súčasťou mnohých S&A systémov. Taktiež mnoho misií UAS lietadiel je dnes spojených práve s monitorovaním oblastí a operácií pri ktorých je nevyhnutný prenos obrazu v reálnom čase. [20]

3.2.5 Frekvenčné spektrum pre UAS



32. Obr. využiteľné rádiové spektrum

Použiteľné rádiové spektrum je medzi 3 kHz až 300 GHz. Do tohto spektra sa musia vojsť všetci tí ktorí chcú rádiové vlny na prenos nejakých informácií využívať. A sem nepatrí len letectvo ale mnoho iných oblastí akými sú aj TV vysielanie, rozhlas, mobilné siete a podobne. O pridelovanie rádiových frekvencií sa stará ITU – International Telecommunication Union (Medzinárodná telekomunikačná únia). Tá spolupracuje s RTCA, ktorá má na starosti už len správu rádiových pásiem v oblasti letectva.



33. Obr. Proces hľadania vhodného rádiového pásma pre použitie u UAS [21]

Na obrázku 33 je postup hľadania vhodného frekvenčného pásma, ktoré by bolo využiteľné pre prevádzku UAS navrhnutý agentúrou NASA. Postup v podstate popisuje logické kroky ktorými sú ako je vidieť štúdium dokumentov zaoberajúcich sa UAS prevádzkou z ktorých najznámejší je SC-203, STANAG 4586 a WG-73. Ďalej sa postupuje rôznymi druhmi analýz, štúdií a predikcií na základe ktorých by sa nakoniec malo rozhodnúť o najvhodnejšom riešení tohto problému. Dnes už existujú niektoré návrhy ktoré sú z časti aj testované no napriek tomu otázka vhodného pásma ešte stále nie je definitívne uzavretá. Existuje viacero variant frekvencií na ktorých bolo možné prevádzkovať dátové spojenie. Dátové spojenie medzi RPS a RPA o ktorom hovoríme sa delí ako už bolo popísane na priame rádiové spojenie (priama rádiová viditeľnosť) a nepriame (nepriama rádiová viditeľnosť). Podľa tohto delenia sa rozlišuje aj frekvencia ktorá by bola vhodná pre daný typ spojenia. [21]

Keďže rádiové spektrum je obmedzené je obrovský dopyt po vhodných frekvenciách. Ich pridelovanie ako už bolo spomenuté reguluje ITU. Z oblasti ktorá je pridelená letectvu vychádza pre priamu rádiovú viditeľnosť (LOS) najvhodnejšie spektrum v rozmedzí 5091 – 5150 MHz a pre nepriamu (BLOS) je to 5030 – 5091. Tieto pásma vyšli ako najlepšie pri hodnotení RTCA v mnohých oblastiach medzi ktoré patrí napríklad dostupná šírka pásma, kapacita dátového spojenia, bezpečnosť, cena, dosah a podobne. Ako takmer všade ani jedno z uvádzaných pásiem však nie je ideálne ale

jeho voľba je tým najvhodnejším kompromisom s pomedzi ostatných uvažovaných možností, ktoré sú uvedené v tabuľke na obrázku 34.

Uvažovaná šírka pásma	C ² LOS	C ² SAT (BLOS)	SAA	Popis
960-1164 MHz	LOS	-	-	Zložité zdieľanie
2700-2900 MHz	-	-	SAA	Zložité zdieľanie
4200-4400 MHz	LOS	-	-	Zložité zdieľanie
5030-5091 MHz	-	BLOS	-	Možné využitie
5091-5150 MHz	LOS	-	-	Možné využitie
8.75-8.85 GHz	-	-	SAA	Zložité zdieľanie
9.0-9.2 GHz	-	-	SAA	Možné využitie
15.4-15.7 GHz	LOS	BLOS	SAA	-
>33.4 GHz	-	-	SAA	Potreba nového ARNS pridelenia

34. Obr. Možné šírky pásem využiteľné pre UAS [20]

Frekvenčné pásmo 5091 – 5150 MHz pre LOS

Toto pásmo bolo vyhodnotené ako najlepšie pre využitie C&C (Command and Control) UAS pri prevádzke v priamom rádiovom dohľade. Medzi jeho hlavné prednosti patrí najmä to, že okrem toho že je zabezpečené je aj celé pridelené leteckej pevnej a pohyblivej rádionavigačnej službe a je štandardné a rozšírené po celom svete. Toto pásmo má aj dostatočnú šírku pre využitie UAS a primerané oneskorenie (Latency). Medzi jeho nevýhody patrí najmä relatívne krátky dosah a tým aj vysoké nároky na energiu a tým pádom aj nutnosť hustejšej siete riadiacich staníc.

Frekvenčné pásmo 5030 – 5091 MHz pre BLOS

Toto pásmo sa javí ako najvhodnejšie pre prevádzku BLOS. Spočíva teda na nepriamom šírení rádiového signálu prostredníctvom satelitov ako známy SATCOM, INMARSAT či IRIDIUM. Okrem výhod ako sú, dostatočná šírka pásma, pomerne prijateľné oneskorenie, dobrá spoľahlivosť však prináša so sebou aj radu problémov, z ktorých sa však väčšina dá vyriešiť. Jedným z nedostatkov je, že toto pásmo je už známe zo zariadení MLS (Mikrovlnný pristávací systém). Pozitívne je však to že MLS je len veľmi zriedkavý systém a teda je možné ho zmapovať a prispôbiť sa mu, prípadne sa mu úplne vyhnúť aj vďaka jeho relatívne malému dosahu. Ďalšou nevýhodou všeobecne spojenou so satelitnou komunikáciou je rušenie spôsobené prechodom cez atmosféru a oblačnosť. Najväčšou nevýhodou tohto pásma je však to že, uvádzané satelitné systémy s týmto pásmom vôbec nepracujú. Teda by sa musel vytvoriť nový satelitný systém, alebo nejakým spôsobom upraviť ten aktuálny ak je to vôbec možné no obe tieto varianty by vyšli finančne ako nesmierne náročné.

Oblasť dátového spojenia medzi riadiacou stanicou a bezpilotným lietadlom je veľmi aktuálna téma ktorú rieši mnoho medzinárodných ale aj národných organizácií, inštitúcií ale aj univerzít. Hoci už existujú návrhy z ktorých niektoré boli aj v tejto práci uvedené táto téma je stále ešte otvorená a vynára sa okolo nej množstvo otáznikov a s nimi spojená celá kopa problémov ktoré sa budú musieť v najbližších rokoch vyriešiť. [20]

3.3 N – Navigácia (Navigation)

Nezáleží na tom ako ďaleko sa pozrieme späť do histórie vždy bolo pre ľudí dôležité vedieť určiť svoju polohu. Od samého počiatku ľudstva boli stále objavované rôzne metódy zisťovania polohy od tých najprimitívnejších ako je skúmanie rôznych stôp a znakov cez pozorovanie hviezd, až po súčasné zložité navigačné systémy. Aj letecká navigácia si prešla svojím pomerne krátkym, ale intenzívnym vývojom od svojich počiatkov, kde bol jediným navigačným prístrojom kompas až po súčasný stav, kedy je možná navigácia aj za akýchkoľvek podmienok a takmer kdekoľvek na zemi s vysokou presnosťou a spoľahlivosťou.

Súčasne najrozšírenejším navigačným systémom a to nielen v letectve sú satelitné navigačné systémy pričom sa pri lietaní často využíva aj navigácia pomocou pozemných navigačných prostriedkov, ako sú VOR, NDB, DME, ILS, MLS a podobne ktoré ale už aktuálne začínajú byť zastarané a často nepraktické. V roku 2007 bola definovaná takzvaná RNP (Required Navigation Performance) – požadovaná navigačná výkonnosť, ktorá pomocou moderných technológií umožňuje využívanie spomínaných navigačných pozemných zariadení v kombinácii so satelitnou navigáciou, INS a podobne. Medzi hlavné komponenty modernej navigácie patria:

- RNP – Požadovaná navigačná výkonnosť
- RNAV – Priestorová navigácia
- PRNAV – Presná priestorová navigácia
- BRNAV – Základná priestorová navigácia
- FM Immunity (P-ILS) – Chránený prístrojový pristávací systém
- TAWS – Výstrahový systém blízkosti terénu
- RVSM – Znížené vertikálne rozstupy
- VNAV – Vertikálna navigácia
- TOAC – Kontrola priletov

Už v roku 1991 sa na konferencii ICAO rokovalo o tom že vtedajšie technológie CNS nie sú dostatočné pre blízky veľmi rýchly vývoj v leteckej doprave. Tak sa dospelo ku konceptu FANS (Future Air Navigation Systems). Tento koncept analyzuje súčasný stav technológií CNS a vytvára nové návrhy a riešenia pre budúce technológie CNS.

3.3.1 RNAV priestorová navigácia

UAS ako zástupcovia moderných technológií a inovácií v letectve sú dnes vyvíjané samozrejme s možnosťou využívať RNAV priestorovej navigácie. Táto navigácia umožňuje prevádzku lietadla po akejkoľvek dráhe letu v rámci priestoru pokrytého navigačnými zariadeniami s požadovanou RNP alebo v medziach vlastných (autonómnych, INS/IRS) navigačných zariadení či ich kombináciou.

Navigačná presnosť – je celková systémová chyba TSE povolená v priečnom a pozdĺžnom smere. TSE nesmie v každom smere prekročiť daný typ RNP počas 95% celkového času letu na akejkoľvek časti letu, počas každého jedného letu.

TSE – (Total System Error) celková systémová chyba je kombináciou nasledujúcich chýb v priečnom a pozdĺžnom smere:

- Chyby navigačného systému
- Chyby RNAV počítača

- Chyby a nepresnosti zobrazenia a odčítania na displejoch
- Letové technické chyby (FTE)

Klasická Navigácia

Klasická navigácia založená na pozemných navigačných pomôckach



Limitované traťové možnosti

RNAV

Area Navigation (RNAV) navigácia po waypointoch v priestore s definovanou RNP



Optimalizované využitie vzdušného priestoru

35. Obr. Klasická navigácia a RNP navigácia [22]

10. Tab. Štandardné RNP hodnoty

Navigačná výkonnosť (RNP) zaistená počas 95% celkového letového času	TYP RNP				
	1	4	10	12,6	20
	± 0,925 Km	± 3,7 Km	± 9,25 Km	± 11,65 Km	± 18,5 Km
	(± 0,5 Nm)	(± 2 Nm)	(± 5 Nm)	(± 6,3 Nm)	(± 10 Nm)

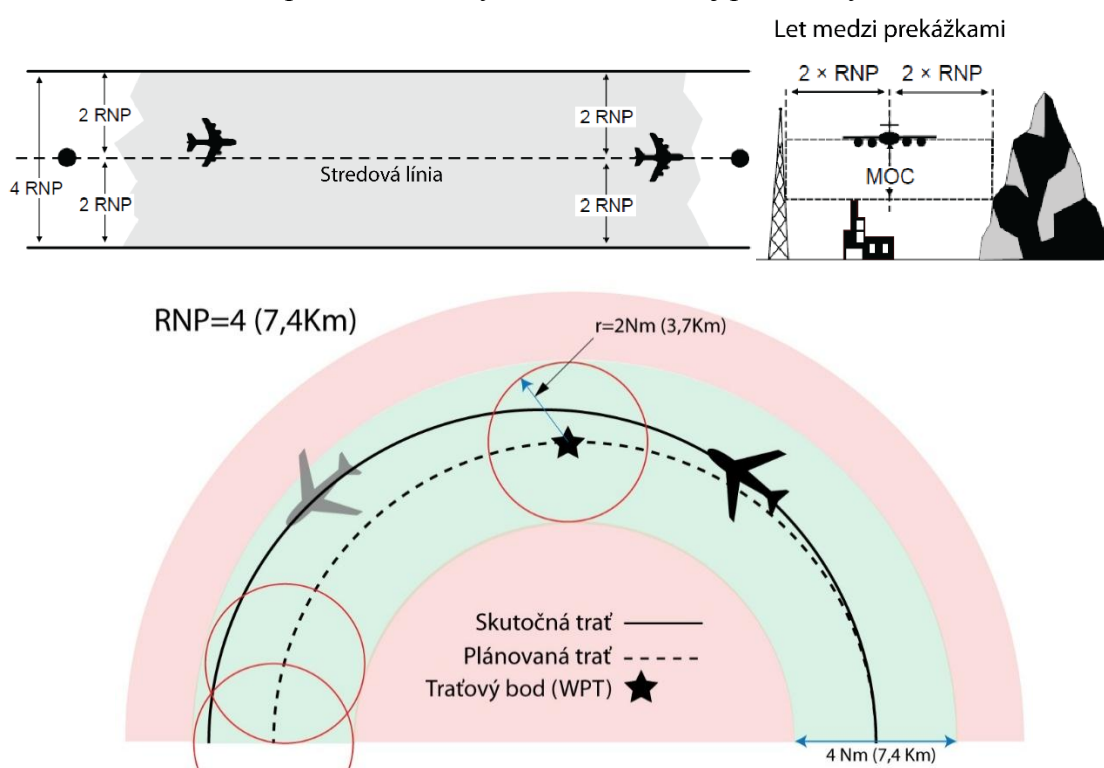
Jednotlivé typy RNP uvedené v tabuľke 10 slúžia na vymedzenie určitých priestorov, kde je požadovaná určitá navigačná presnosť, ktorú musia byť schopné dodržať všetky lietadlá, ktoré chcú v tejto oblasti letieť počas minimálne 95% ich celkového letového času. Jednotlivé typy RNP boli navrhnuté tak, aby ich bolo možné aplikovať na všetky fázy letu. Od vzletu cez let po trati, až po konečnú fázu letu na väčšine letísk.

Schopnosť lietadiel udržať si určitú RNP sa odvíja od mnohých faktorov, medzi ktoré patrí najmä, pokrytie danej oblasti navigačnými pomôckami a signálmi, navigačné vybavenie konkrétneho lietadla, vycvičenie a skúsenosti letovej posádky, prípadne operátora UAS, počasie a podobne. Na vybavenie navigačných systémov a funkcií sú stanovené určité požiadavky, ktoré musia byť pre daný typ RNP splnené.

Súčasne najnovším navigačným hitom je navigácia po tratiach s určitou RNP za použitia GNSS-IRS pričom tieto dva navigačné systémy, sa navzájom perfektne dopĺňajú. V prípade straty satelitov a pozemných navigačných zariadení alebo v prípade slabého, rušivého signálu, systém vyhodnotí situáciu, obvykle použitím Kalmanovho filtra alebo obdobného systému a použije navigáciu podľa IRS pričom poloha jeho referenčného bodu je upravovaná vždy, keď je to možné (keď je signál zo satelitov čo

najpresnejší). Výhoda je najmä v tom, že IRS systém má na obmedzenú dobu vynikajúcu presnosť a väčšinou je táto doba dostatočne dlhá na to, aby systém GPS našiel dostatočné množstvo vhodných satelitov a znovu upravil referenčný bod IRS systému a tak ďalej. Ďalšou obrovskou výhodou tohto druhu navigácie aj to, že nepotrebuje takmer žiadne pozemné navigačné pomôcky a je možné si naplánovať akúkoľvek dráhu. Systém je možné použiť aj so systémom DGPS (Differential Global Positioning System), alebo aj so systémom WAAS (Wide Area Augmentation System) čo ešte zlepší jeho presnosť avšak už pomocou pozemných referenčných staníc. So systémom WAAS sa dá dosiahnuť presnosť až do 3m.

V súčasnosti sú navigačné systémy dostatočne presné pre ich spoľahlivé využitie v priestoroch so stanovenou určitou navigačnou výkonnosťou. Tá býva určená pre rôzne druhy prevádzky v rôznych letových priestoroch rozlične podľa tabuľky 10. Používanie priestorov s predpísanou RNP umožňuje lepšie využívanie vzdušného priestoru a možnosť naplánovať si presnejšie a kratšie letové trasy, čo samozrejme vedie ku zníženiu nákladov na prevádzku a zvýšeniu toku letovej prevádzky.



36. Obr. Let pomocou RNAV [22]

So súčasnými autonómnymi navigačnými systémami je možné dosiahnuť RNP1 až na dobu troch hodín, čo svedčí o ich dočasnej spôsobilosti pre navigáciu po väčšine letových tratí.

RVSM – Reduced Vertical Separation Minimum, umožňuje lietadlám lety s minimálnymi vertikálnymi rozstupmi len 1000 ft namiesto štandardných 2000 ft v letových hladinách od FL 290 do FL 410. Tento postup okrem zvyšovania kapacity letového priestoru umožňuje lietadlám aj lietanie po optimálnejších trasách a šetrenie paliva.

TOAC - Time of Arrival Control, kontrola priletov. Tento systém požaduje 4D navigáciu a umožňuje výrazné zvýšenie kapacity letísk a elimináciu meškaní lietadiel. Priletové časy sú počítané na základe konkrétneho lietadla a informáciách o jeho

letovom pláne a aktuálnych letových údajoch. Je teda presne známa trať lietadla, preletové body, fixi, čas strávený rolovaním a rôzne chyby. Počítač riadenia TOAC spolupracuje s lietadlom a v prípadoch kedy je to nutné môže navrhnúť aj úpravu jeho rýchlosti. Základom systému je však spomínaná 4D navigácia ktorá na rozdiel od bežnej navigácie nepočíta len trať letu ale aj časy potrebné na preletenie konkrétnych traťových úsekov.

Čo sa týka navigácie pilotovaných a bezpilotných lietadiel tak rozdiely medzi nimi sú minimálne. Preto sa tejto téme už ďalej venovať nebudeme. Integrácia UAS do riadených priestorov však isto bude vyžadovať mnohé úpravy zaužívaných postupov aj v navigácii ale technológie ktoré sa v tejto oblasti vyvíjajú sú pochopiteľne dostupné tak ako aj pre pilotované tak aj pre bezpilotné lietadlá, čiže zmeny hlavne nastanú v PANS (Procedures for Air Navigation Services), v postupoch pre letové navigačné služby. [22]

3.4 S – Prehľad (Surveillance)

Už od prvých letov sa ľudia snažili sledovať lietadlá a monitorovať ich pohyb po oblohe a to aj vo vojenskom i civilnom sektore. Dnes je prehľad o vzdušnej situácii veľmi významný z dôvodu neustále sa zvyšujúcej hustoty letovej prevádzky. FAA napríklad predpokladá že o 20 rokov by sa mohlo vo vzduchu pohybovať len nad americkým územím vyše 30 000 UAS nehovoriac aj o náraste počtu pilotovaných lietadiel. Systém prehľadu o vzdušnej situácii je dnes možné rozdeliť do troch hlavných kategórií: primárny radar, sekundárny radar a sledovanie pomocou GNSS ako ADS-B (Automated Dependent Surveillance-Broadcast system).

Primárny radar (RADio Detection And Ranging) emituje elektromagnetické vlny s vysokou energiou v závislosti na jeho dosahu a časť týchto vln sa následne odráža od objektov (Echo) a zachytáva späť v radare na rovnakom kmитоčte. Týmto je možné podľa charakteru radaru sledovať pohyb objektov.

Sekundárny radar tvorí akúsi kombináciu radaru a komunikačného systému. Pozemná stanica sekundárneho radaru vysiela špecifické impulzy, dotazy a lietadlo si nesie na palube zariadenie zvané odpovedač (Transponder), ktoré prijíma tieto dotazy od sekundárneho radaru a vysiela na ne späť špecifické odpovede, ktoré môžu obsahovať rôzne informácie v závislosti na druhu odpovedača. V každom prípade však vie sekundárny radar určiť polohu lietadla.

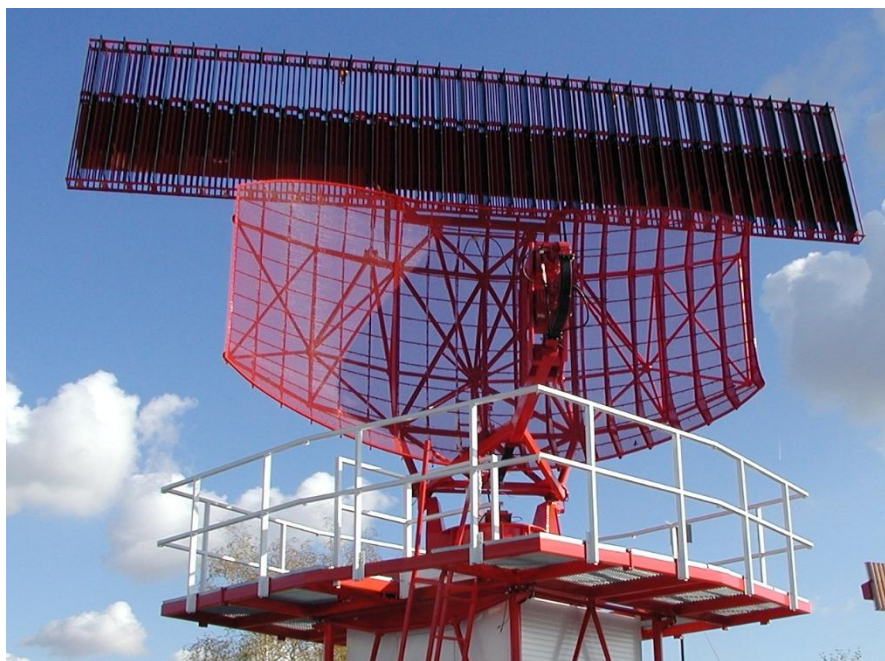
Neustála modernizácia a vývoj globálnych navigačných satelitných systémov GNSS, medzi ktoré patrí GPS, GLONASS, GALILEO ale aj mnoho iných menej známych systémov otvára nové cesty pre vývoj prehľadových technológií. Medzi jednu z najznámejších takýchto metód patrí aj Automatic Dependent Surveillance-Broadcast systém, známy pod skratkou ADS-B. Tento systém v skratke určuje na palube lietadla polohu a vysiela ju do pozemnej prijímacej stanice. Všetky tri uvedené hlavné metódy budú ďalej podrobnejšie popísané. [23]

3.4.1 Primárny radar

Je najstaršou metódou určovania polohy lietadiel a prehľadu o vzdušnej situácii. Bol prvý krát použitý počas už 2. svetovej vojny. Primárny radar sa dodnes využíva na každom letisku a to pre jeho jedinečnú schopnosť sledovať ciele bez akéhokoľvek iného

prídavného zariadenia, teda nevyžaduje žiadne zariadenia na lietadlách. Toto umožňuje detekovať aj narušiteľov ktorý by chceli neoprávnene vstúpiť do nejakého priestoru a ktorý nijakým spôsobom nespokupracujú. Moderné radary sú schopné rozpoznať už aj veľmi malé objekty a to na pomerne veľké vzdialenosti a sú schopné zistiť nielen polohu cieľa ale na základe výpočtov aj jeho smer, rýchlosť a niektoré dokonca aj výšku (pristávacie radary). Radarom ako už dobrej starej známej technológii, avšak neustále modernizovanej a vyvíjanej sa už podrobnejšie venovať nebudeme ale táto časť práce bude zameraná skôr na technológiu ADS-B.

3.4.2 Sekundárny radar SSR



37. Obr. Primárny (dole) a sekundárny radar (hore)

No obrázku 37 je vidieť kombinovaný radar kde je primárny radar umiestnený v spodnej časti a na ňom je namontovaný aj sekundárny radar. Táto kombinácia je využívaná na každom väčšom letisku, no v niektorých prípadoch je radar zakrytý pod guľovým krytom aby bol chránený pred vetrom a ostatnými poveternostnými vplyvmi. Dnes je využívanie SSR a používanie odpovedačov povinné na každom riadenom letisku. Sekundárny radar má oproti primárnemu množstvo výhod medzi ktoré patrí najmä omnoho menšia energetická náročnosť, lepšia odolnosť voči vonkajším vplyvom, možnosť individuálnej identifikácie lietadiel a možnosť posielania správ o neštandardných situáciách a výške lietadiel.

SSR sa skladá z dvoch častí: z pozemnej časti dotazovača a zo vzdušnej časti umiestnenej na palube lietadiel odpovedača. Dotazovač vysiela dotazy všetkým lietadlám v dosahu na frekvencii 1030 MHz, akonáhle dotazy zachytí odpovedač odpovie na ne na frekvencii 1090 MHz. Riadiaci letovej prevádzky môže potom pridelit' každému lietadlu vlastný identifikačný kód na základe ktorého ho môže ďalej sledovať a jednoducho rozoznať od ostatných. Existuje 6 módov prevádzky SSR, ktoré sa od seba líšia dĺžkou intervalu medzi impulzami a sú to: mód 1 (vojenský), mód 2 (vojenský), mód A (vojenský/civilný), mód B (civilný), mód C (civilný + výška) a mód D (civilný, nepoužíva sa).

SSR a najmä lietadlové odpovedače módu S sa dnes využívajú aj pre antikolízne systémy akými sú TCAS. Tieto systémy môžu zohrať kľúčovú úlohu pri integrácii UAS do riadených priestorov, pretože sú schopné zabezpečiť vyhýbanie sa zrážkam a to aj

bez zásahu pilota do riadenia. Preto tieto systémy budú podrobne prebrané až v časti S&A ako jedna zo základných položiek tejto technológie. [23]

3.4.3 ADS-B

Prehľad o vzdušnej situácii ako už bolo spomínané tvorí dôležitú časť letectva a pre riadenú prevádzku je nevyhnutný. Dnes je táto úloha vykonávaná prevažne za pomoci radarov, ktoré však majú svoje známe obmedzenia a nevýhody. K tomu všetkému klasické radary pokrývajú len relatívne malú časť vzdušného priestoru Zeme. ADS-B bolo vyvíjané za účelom zlepšiť prehľad o vzdušnej situácii pre ATC a pre ostatných účastníkov letovej prevádzky. Oproti tradičným metódam má najmä nasledujúce prednosti:

- Možnosť plynulého letu pri stúpaní a klesaní miesto dodržiavania určitých hladín
- Vysoká flexibilita aj pri prideľovaní letových hladín kedy sa dá pilotom ľahšie vyhovieť (napríklad stúpanie po optimálnych dráhach čo dokáže ušetriť množstvo pohonných hmôt).
- Priestory ktoré doteraz nemali radarové pokrytie a museli byť odkázané len na procedurálnu službu dodržiavania rozstupov môžu teraz poskytovať ATC prehľadovú službu a dodržiavanie separácií.
- Vysoká spoľahlivosť a presnosť a s tým spojené značné zjednodušenie vydávanie letových povolení od ATC a zvýšenie kapacity a efektívnosti letových priestorov.
- Jednoduchšie vyhľadávanie lietadiel v núdzi (SAR)
- Poskytuje aj presný prehľad o pohybe lietadiel v nízkych výškach, na zemi, na letisku a podobne (znižuje možnosť nehody a križovania lietadiel na letiskách).
- Poskytuje posádke lietadla informácie o prehľade podobne ako riadiacim na zemi, teda majú informáciu aj svojej polohe voči ostatným lietadlám.

ADS-B je automatické vysielanie informácií o prehľade (polohách) medzi lietadlom-ATC a medzi lietadlami navzájom. ADS-B vysiela informácie o identifikácii lietadla, presnú polohu, výšku, rýchlosť, smer, stav núdze a iné údaje. Toto všetko je vysielané s opakovacou periódou až 2x za sekundu. Dáta systému (údaje o polohe a pod.) sú závislé na vybavení lietadla, na jeho senzoroch ako je výškomer, rýchlomer, GNSS vybavenie a podobne. ADS-B v podstate odosiela vlastné údaje lietadla o jeho polohe zistené priamo na palube tohto lietadla. Tento spôsob je podobne ako je tomu u SSR závislý, čiže je nutné aby boli ostatné lietadlá vybavené týmto systémom a v prípade vyradenie tohto systému z činnosti sa stane lietadlo pre ADS-B neviditeľné. Uvažuje sa aj o variante kedy by sa ADS-B nedalo manuálne vyradiť z činnosti ako je to možné pri dnešných odpovedačoch, ktoré sa dajú jednoducho kedykoľvek vypnúť. Pozemnú časť systému tvorí prijímacia anténa, počítač a zobrazovacie zariadenie.

ADS-B dokáže spolupracovať aj s modernými odpovedačmi sekundárneho radaru módu-S, avšak pracuje úplne nezávisle na ostatných systémoch lietadla, teda nezávisle aj od TCAS či SSR.

ADS-B vysielač na palube každého lietadla vysiela dáta všetkým ktorí sú schopní ich prijať, čiže sú vybavení tiež s ADS-B. Tieto dáta teda prijímajú všetky pozemné stanice ATC a aj všetky ostatné lietadlá a zariadenia v dosahu tohto ADS-B, ktorý je viac než 100 námorných míľ horizontálne a 30 000 ft vertikálne (približne 10Km).

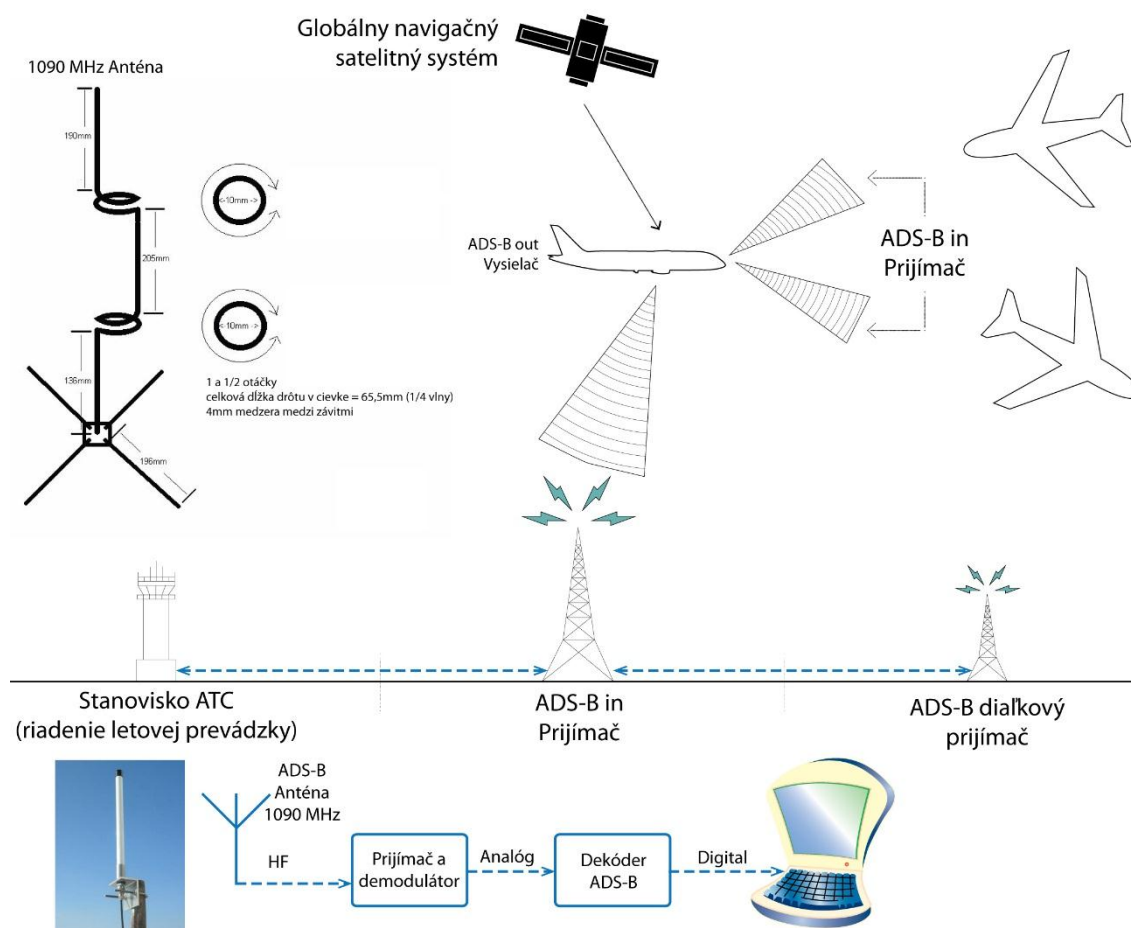
Vysvetlenie významu skratky ADS-B

A – Automatic, automatické. Poloha, rýchlosť a ostatné údaje sú vysielané systémom periodicky (2x za sekundu) bez akejkoľvek nutnosti zásahu do systému posádkou lietadla. Niektoré ostatné parametre sú prednastavené a sú statické.

D – Depended, závislé. Celý systém je závislý na vhodnom vybavení lietadiel a ich možnostiach určovania polohy. Lietadlo ktoré nemá zariadenie ADS-B alebo odpovedač módu S je neviditeľné (existuje ale aj možnosť zobrazovať nespolupracujúce ciele).

S – Surveillance, prehľad. Dáta ADS-B poskytujú spoľahlivé, presné údaje o polohách, rýchlostiach, výškach a iných letových parametroch lietadiel vybavených týmto systémom.

B – Broadcast, vysielanie. Všetky informácie poskytované systémom ADS-B sú automaticky a periodicky vysielané pre každého užívateľa ktorý ich je schopný spracovať.

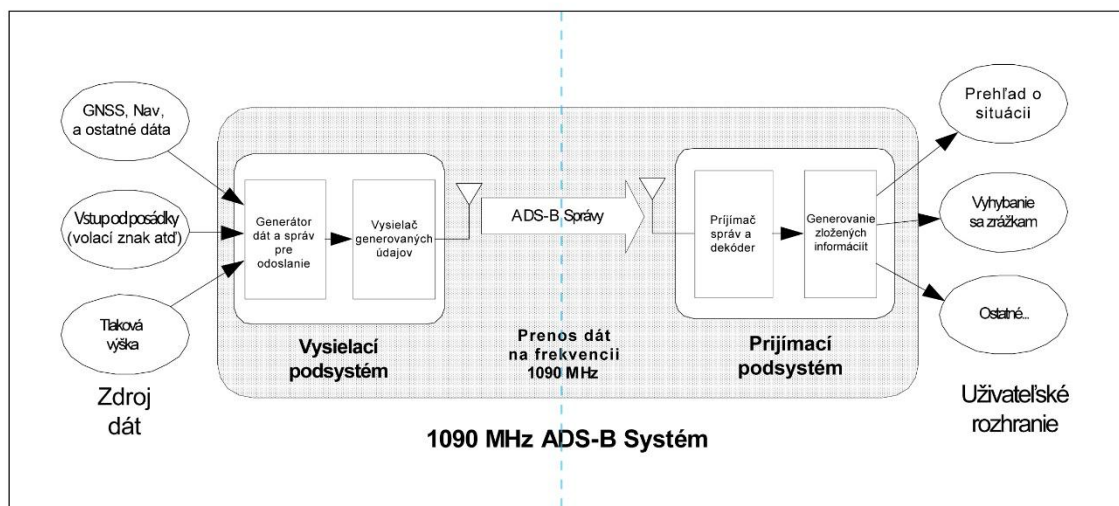


38. Obr. ADS-B Schéma [20]

Skupina RTCA SC-186 vypracovala detailný popis a rozbor systému ADS-B, ktorý je zatiaľ len vo forme návrhu, z ktorého základný princíp je tu uvedený:

Obrázok 38 ukazuje architektúru systému ADS-B a anténu pracujúcu na frekvencii 1090 MHz. V dolnej časti je načrtnuté aj prijímacie zariadenie.

Systém ADS-B pozostáva z niekoľkých prvkov ale celkovo z dvoch hlavných častí a to vysielač a prijímač. Vysielačiu časť tvorí: Generátor dát, vysielač generovaných dát (modulátor) a vysielač anténa. Dáta alebo ich získavanie nie je súčasťou ADS-B ale informácie sú získavané z externých zdrojov akými je teda hardvér konkrétneho lietadla. Informácie pre ADS-B môžu byť prijímané z lietadla prostredníctvom štandardnej dátovej zbernice ARINC 429 a podobne. Tieto spracované dáta sú potom odosielané pomocou rádiového spojenia na frekvencii 1090 MHz. Prijímaciu časť tvorí napokon prijímacia anténa, prijímač (demodulátor) a dekóder správ, generátor správ a zobrazovacie, monitorovacie a výpočtové zariadenia.



39. Obr. ADS- B prenos dát na 1090 MHz [20]

Správy sú posielané na 1090 MHz frekvencii označovanej aj ako Extended Mode-S Squitter. Preto vysielač a prijímač ADS-B môže byť súčasťou odpovedača módu-S alebo systému TCAS, ale môže byť aj ako úplne samostatné zariadenie vrátane vlastnej antény, prípadne môže byť súčasťou univerzálneho zariadenia no to sa však využíva prevažne pre malé lietadlá, vetrone a ultralight lietadlá s menšími nárokmi na spoľahlivosť a parametre systému.

ADS-B taktiež môžeme rozdeliť na viacero druhov a to: ADS-B ktoré len vysiela informácie teda nedokáže prijímať údaje o ostatnej prevádzke (napr. lietadlo), ADS-B ktoré naopak len prijíma informácie ale nedokáže vysielať (napr. stanovisko ATC), ADS-B ktoré dokáže vysielať a aj prijímať informácie od ostatných zariadení (lietadlo/ATC), ADS-B ktoré prijíma a vysiela informácie len tie ktoré sú od neho požadované.

Legislatívu a požiadavky ohľadom ADS-B môžeme nájsť v nasledujúcich dokumentoch:

- SAE ARP4761 -- Guidelines and Methods for Conducting the Safety Assessment Process on Civil Airborne Systems and Equipment
- SAE ARP4754/ED79 -- Certification Considerations for Highly-Integrated or Complex Aircraft Systems
- JAA AMJ 25.1309 -- Advisory Material Joint, System Design and Analysis
- FAA AC 23.1309-1C – Equipment, Systems, and Installations in Part 23 Airplanes
- FAA AC 25.1309-1A -- Advisory Circular, System Design and Analysis

- RTCA DO 242A (MASPS)

ADS-B Extended Squitter správa z odpovedača módu-S používa Downlink formátu 17 (DF=17). Každý Squitter (dotaz) obsahuje 112 bitov, z ktorých 56 obsahuje rozličné navigačné údaje a ostatné dáta pre systém ADS-B. Zvyšných 56 bitov zahŕňa 5-bitové pole DF (Downlink Format) prijímací formát, a 3-bitové pole CA (Capability) schopnosti, 24-bitové pole AA (Announces Address) oznamovacia adresa a 24-bitové pole pre PI (Parity/Interrogator ID) rozpoznávanie ID parity. Samostatný systém ADS-B, ktorý nie je súčasťou SSR používa link formátu DF=18 miesto DF=17. Je povolená jedna nedetekovateľná chyba v správach ADS-B na 10^7 odoslaných správ.

Výkony systému ADS-B závisia na kategórii zariadenia, napríklad ADS-B triedy A0 vysíla menšou energiou (70 W), má menej citlivý prijímač a má menší dosah než ADS-B triedy A3 (výkon 200 W). Taktiež rôzne kategórie poskytujú okrem základných informácií aj rôzne doplnkové informácie ktoré sa odlišujú v závislosti na druhu ADS-B zariadenia.

Sú štyri triedy ADS-B z ktorých každá sa ešte delí na niekoľko častí podľa dosahu, citlivosti, výkonu, kvality a množstva predávaných informácií:

- 1) **A** ADS-B vysíla aj prijíma informácie od ostatných zariadení
 - a) A0 – minimálna vysielačská energia na vstupe do antény 70W
 - b) A1S/A1 – minimálna vysielačská energia 125W
 - c) A2 – minimálna vysielačská energia 125W
 - d) A3 – minimálna vysielačská energia 200W
- 2) **B** ADS-B len vysíla informácie od ostatných zariadení
 - a) B0 (lietadlo) – minimálna vysielačská energia 70W
 - b) B1S/B1 (lietadlo) – minimálna vysielačská energia 125W
 - c) B2 (pozemné vozidlo) – minimálna vysielačská energia 70W
 - d) B3(pevné pozemné zariadenie) – minimálna vysielačská energia 70W
- 3) **C** ADS-B vysíla a prijíma len požadované dáta od ostatných zariadení
 - a) C1 (ATS, traťové a koncové) – zatiaľ nešpecifikované
 - b) C2 (priblíženie a zem) – zatiaľ nešpecifikované
 - c) C3 (riadenie toku letovej prevádzky) – zatiaľ nešpecifikované
- 4) **R** ADS-B len prijíma informácie od ostatných zariadení
 - a) R0 (minimum) – minimálny prah citlivosti (MTL) -72 dBm
 - b) R1S/R1 (základné) – minimálny prah citlivosti -79 dBm
 - c) R2 (vylepšené) – minimálny prah citlivosti -79 dBm
 - d) R3 (rozvinuté) – minimálny prah citlivosti -84 dBm

Ako už bolo popísané ADS-B poskytuje prehľad o situácii okrem ATC aj samotným lietadlám ktoré môžu byť vybavené palubným displejom s informáciami o okolitej prevádzke (CDTI – Cockpit Display of Traffic Information). Tu môžu byť zobrazované navyše aj informácie o letiskách, o vyčkávacích miestach, monitorovanie pohybových plôch, konečného priblíženia na pristátie, vzlety a podobne a môže byť tiež zavedený výstražný systém zabráňujúci zrážkam a konfliktom vznikajúcim na zemi a pri križovaní dráhy.

Systém ADS-B je navrhnutý tak že niektoré modifikácie (TIS-B) dokážu napriek všetkému pracovať aj s nespolupracujúcimi lietadlami. To je zaistené tým že tieto nespolupracujúce objekty sú zachytené primárnym alebo sekundárnym radarom na zemi a ten následne pomocou ADS-B vysíla informácie aj o týchto nespolupracujúcich

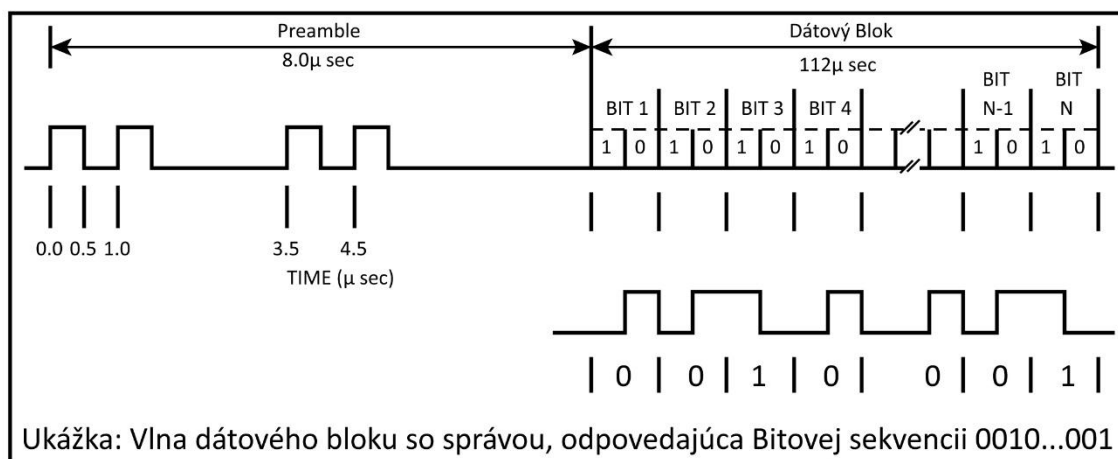
lietadlách ostatným lietadlám ktoré sú vybavené ADS-B a tým je poskytnutá informácia aj o týchto účastníkoch letovej prevádzky a je možné sa im vyhnúť.

Pre ADS-B sú definované 4 druhy správ:

- a) State Vector Report – Správy o stave. Obsahujú informácie o stave lietadla, o presnosti údajov, status a informácie o pohybe lietadla, jeho polohu, rýchlosť, výšku, predikciu polohy, informácie cieľovej polohy a podobne. Patria medzi najdynamickejšie dáta ktoré sa rýchlo menia a preto je požadovaná čo najvyššia obnovovacia frekvencia týchto informácií. Na presnosť týchto informácií sú kladené určité minimálne kritériá.
- b) Mode Status Report – správy o móde. Tieto informácie obsahujú údaje o samotnom účastníkovi vysielania. Obsahujú volací znak, adresu, a ostatné identifikačné informácie spojenia. Nie sú to dynamické údaje ktoré sa rýchlo menia a preto nepožadujú veľké obnovovacie frekvencie. Tieto údaje ako volací znak a podobne sa môžu meniť aj prostredníctvom posádky.
- c) Target State Report – Správy o cieľi. Tieto správy prenášajú údaje o informáciách ktoré budú predmetom vysielania. Tieto správy sú súčasťou len niektorých ADS-B.
- d) Air Reference Velocity Report – Správy o vzdušných referenciách ale môžu tu byť aj správy o pozemných referenciách. Tieto údaje sú požadované taktiež len pre niektoré druhy ADS-B zariadení.

Charakteristika správ ADS-B:

Dátový blok správ ADS-B je formovaný pomocou PPM (Pulse Position Modulation), modulácia polohy pulzov. Pulz vyslaný v prvej polovine intervalu je reprezentovaný ako jednotka 1 a pulz odoslaný v druhej polovine je nula 0 (viď. Obr.: 40).



40. Obr. Forma vlny prenosu správ ADS-B [20]

Preamble (úvodná) časť vlny pozostáva zo 4 pulzov, každý má dĺžku $0,5 \pm 0,05$ mikrosekúnd. Druhý 2 tretí 3 a štvrtý 4 pulz by mali byť umiestnené v 1,0 v 3,5 a vo 4,5 mikrosekunde vzhľadom k prvému pulzu.

Dátová časť správy by mala začínať v 8,0 mikrosekunde od prvého vyslaného pulzu. Celý interval dátovej správy ADS-B by mal trvať 112 mikrosekúnd a spolu s úvodnou časťou by to malo byť 120 mikrosekúnd dokopy. Ak sú odosielané dva pulzy za sebou tak by sa mali spojiť do jedného trvajúceho 1,0 mikrosekundu tak ako je to možné vidieť aj na obrázku 40.

TIS-B (Traffic Information Service Broadcast) – vysielanie informácií o prevádzke. Tento systém už bol spomenutý vyššie. Ide vlastne o modifikáciu ADS-B kedy sú informácie o letovej prevádzke ktorá nespôsobuje (nemá odpovedač ani ADS-B) rozpoznané primárnym radarom alebo sekundárnym radarom (odpovedače aj bez módu S) a tieto informácie o nespôsobujúcej prevádzke sú potom z pozemného strediska odosielané všetkým ostatným užívateľom v dosahu vybaveným ADS-B.

ADS-B je veľmi perspektívny prehľadový systém s ktorým pri integrácii UAS do riadenej letovej prevádzky počíta aj skupina WG-73 zaoberajúca sa touto témou. Zatiaľ žiaľ nie je schválený pre použitie v leteckej avšak jeho výskum a vývoj je financovaný mnohými leteckými organizáciami a výrobcami. Je jasné že v blízkej dobe bude nutné prehľadový systém modernizovať a ADS-B je na veľmi dobrej ceste. Tento projekt bude pravdepodobne dotiahnutý až do konca pokiaľ sa medzičasom nevymyslí niečo vhodnejšie. Taktiež je využitie ADS-B samozrejme jedným z kľúčových prvkov v integrácii UAS do riadených ale i neriadených letových priestorov. [20]

3.5 Sens & Avoid (S&A / SAA)

Integrácia UAS do riadených priestorov bude nevyhnutne požadovať nové technológie ako zabezpečiť vyhýbanie sa kolíziám. Klasický systém TCAS (Traffic Alert and Collision Avoidance System), ktorý sa dnes používa na pilotovaných lietadlách je pre UAS v mnohých prípadoch nepoužiteľný. Dnešné protizrážkové systémy (TCAS, ACAS) totiž pracujú na princípe „See and Avoid“ vidieť a vyhnúť sa. Teda poskytnú posádke lietadla informáciu o narušiteľovi bezpečnostného priestoru lietadla a aj radu pre vyhnutie sa kolízii. Pilot však musí vykonať navrhovaný manéver sám. Pre lietadlá UAS je tento spôsob nevhodný kvôli tomu že pri riadení RPA z RPS dochádza k určitému oneskoreniu prenosu informácií obzvlášť pri riadení na nepriamu rádiovú dohľadnosť. A vo výnimočných prípadoch môže dokonca dôjsť aj ku strate spojenia s riadiacou stanicou a podobne. Preto musí byť bezpilotné lietadlo schopné samo zabezpečiť separácie a vyhýbanie sa zrážkam pomocou palubného vybavenia. A tak bol navrhnutý systém „Sense and Avoid“ označovaný skratkami S&A alebo SAA, v preklade znamená niečo ako detekovať rozhodnúť sa a vyhnúť sa.



41. Obr. Viacvrstvová ochrana pilotovaných lietadiel a UAS [24]

Tak ako každý iný systém aj S&A má množstvo modifikácií a verzií. Existuje viacero druhov tohto systému. Jedným z podstatných parametrov tejto technológie je aj takzvaný faktor SWaP (Size Weight and Power) veľkosť, hmotnosť a energia. Jedná sa o parametre samotného S&A vybavenia ktoré sú dôležité najmä pre menšia UAS. Čím menší je tento faktor tým viac priestoru, hmotnosti a energie zostáva pre ostatné užitočné vybavenie lietadla. Samozrejme s tým ako nám tento faktor klesá tak s ním aj nepriamo úmerne rastie cena S&A systému.

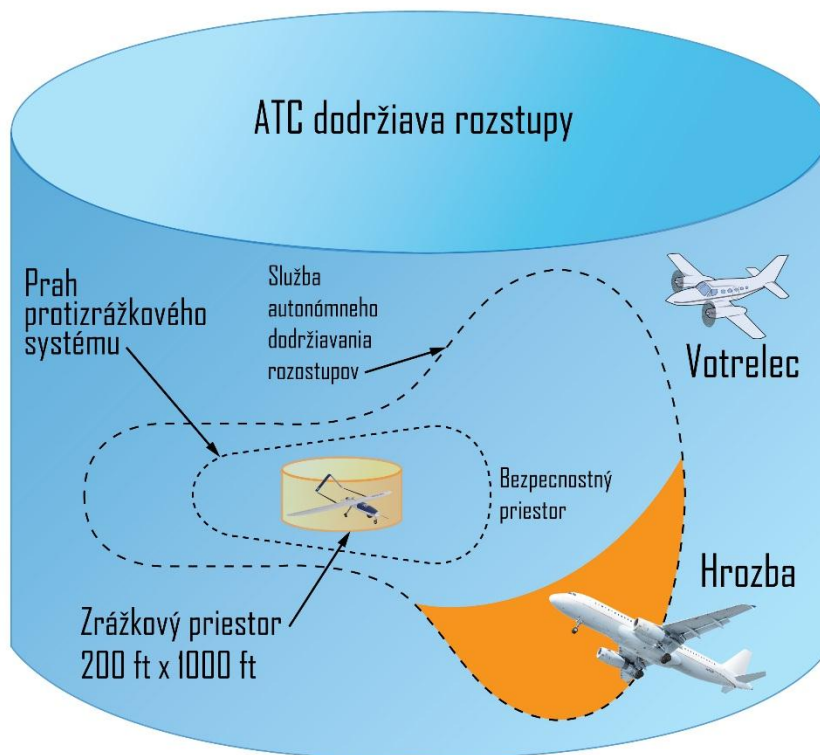
Systém S&A sa rozdeľuje do nasledujúcich skupín:

- Spolupracujúci
- Nespolupracujúci
 - Aktívny
 - Pasívny

Spolupracujúci podobne ako je tomu aj u ostatných zariadení znamená že systém S&A spolupracuje s ostatnými systémami S&A a s ostatnými odpovedačmi či zariadeniami ADS-B, TCAS a podobne.

Nespolupracujúci systém nespolupracuje so žiadnymi externými zariadeniami ani lietadlami a musí byť úplne autonómny. Tento sa delí ešte na aktívny a pasívny. Aktívny systém aktívne vyhodnocuje prítomnosť cieľov tým že vysieľa napríklad rádové vlny (radar), zvukové vlny, laserové paprsky a podobne a tie následne po odrazení zachytáva.

Pasívny systém nevysiela k cieľu žiadne signály ale len zachytáva a zaznamenáva jeho prítomnosť ako napríklad kamera, detektory pohybu a podobne. [24]



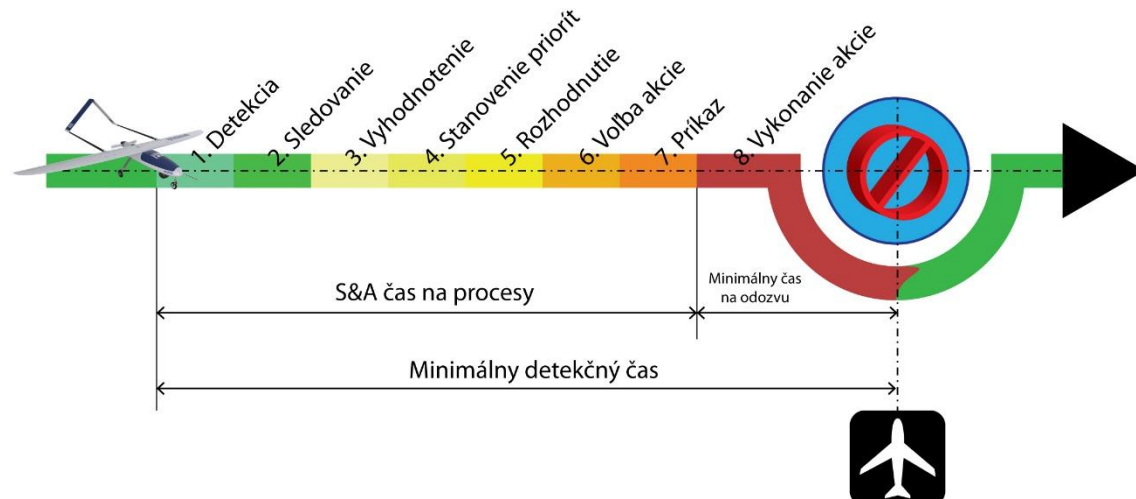
42. Obr. Bezpečnostné priestory systému S&A pre UAS [24]

Pilot na palube lietadla zohráva obrovskú úlohu. Ak je z paluby odstránený je nutné všetky jeho úlohy nejakým spôsobom nahradiť. Dnes pilot vykonáva samotné riadenie lietadla, rozhoduje sa o manévroch v mimoriadnych situáciách, vykonáva manévry, nastavuje frekvencie, komunikuje, číta navigačné a približovacie mapy, rozhoduje sa podľa čoho sa navigovať, kadiaľ prelietavať, čomu sa vyhnúť, sleduje motorové parametre a mnoho iných pre let nevyhnutných činností. Pilot musí byť schopný zaistiť bezpečný let. Počas letu za podmienok VFR sa dá uplatniť „See and Avoid“ ale čo počas IFR letu a podmienok IMC ? V takej situácii pilot sleduje celý rad letových parametrov a na ich základe sa rozhoduje. Rozstupy dodržiava prostredníctvom ATC a v núdzových prípadoch pomocou systému TCAS. U bezpilotných lietadiel je nutné

zaistiť bezpečnosť letu iným spôsobom ako pomocou pilota na palube lietadla. To je práve úloha systému S&A. Ako už bolo spomínané tento systém nielen monitoruje okolitú prevádzku ako napríklad TCAS, ADS-B a podobne ale navyše aj pomocou týchto uvedených zariadení a mnohých iných prístrojov a senzorov vykonáva dodržiavanie rozstupov, vyhýbanie sa kolíziám či už vo vzduchu alebo na zemi, monitorovanie počasia a podobne pre zaistenie bezpečného letu.

Systém S&A postupuje v niekoľkých krokoch:

1. Detekcia – znalosť vlastného pohybu a prítomnosti ostatných lietadiel
2. Sledovanie – Predpovedať pozície a rýchlosti (statusy) narušiteľov na základe jedného alebo viacerých prehľadových senzorov
3. Vyhodnocovanie – Vyhodnotenie rizika kolízie na základe vlastného statusu a statusov ostatných lietadiel
4. Priority – Stanovenie priorít na základe toho ktorý narušiteľ dosiahne skôr prah protizrážkového priestoru
5. Rozhodnutie – Rozhodnutie že je nutné vykonať manéver (akciu)
6. Voľba – Voľba akcie, rozhodnutie o tom aký manéver sa vykoná
7. Príkaz – Odoslanie príkazu do riadenia ale aj synchronizácia s narušiteľom
8. Akcia – Odpoveď na príkaz, vykonanie manévru, vyhnutie sa



43. Obr. Postup systému S&A [25]

Maximálny detekčný čas systému S&A je presne stanovený legislatívou.

Na nasledujúcej strane je na obrázku 44 tabuľka ktorá definuje požiadavky na systém S&A. Z nich je jasné že tieto požiadavky sa nedajú splniť len jedným z detekčných systémov ktoré budú mimochodom popísané neskôr ale je nutné aby UAS bolo vybavené kombináciu týchto systémov.

UAS ktoré sa chcú pohybovať v riadených priestoroch majú integráciu do týchto priestorov podstatne jednoduchšiu a to najmä z toho dôvodu že v týchto priestoroch je nutné spolupracujúce vybavenie pre všetky lietadlá. Každé lietadlo tu musí byť vybavené minimálne odpovedačom. Tým pádom pre pohyb v riadených priestoroch môžeme prestať uvažovať o nespôlpracujúcich detekčných metódach. Avšak pravdepodobne legislatíva bude taká že pre prípady núdze a ako zálohu budú musieť mať aj UAS pohybujúce sa len v riadených priestoroch aj detekčný podsystem systému S&A schopný detekovať aj nespôlpracujúce ciele. [25]

Funkcia číslo:	Funkcia	Požiadavky	Detect	Sense	Avoid
1.0	Detekovať konfliktnú prevádzku	• Spojité monitorovanie hrozieb • Minimálny počet falošných varovaní • Minimálny počet chýb a prehliadnutí • Poskytovanie dát o narušiteľovi operátorovi • Pokrývať priestor minimálne 110° horizontálne a $\pm 15^\circ$ vertikálne • Sledovať súčasne všetky hrozby v blízkosti • Rozpoznať približovacie hodnoty (rýchlosti atď.)	× × ×	× × ×	×
2.0	Rozpoznať pohyb lietadiel a rozhodnúť	• Automaticky vykonať manéver podľa (IAW) FAA/International Civil Aviation Organization (ICAO) predpisov • Operátor vykonáva manévry podľa IAW FAA/ICAO predpisov			× ×
3.0	Analyzovať letové dráhy	• Rozoznať či sa cieľ približuje ku nebezpečnej zóne (dodžiavať 500-ft vertikálne separácie) • Vypočítavať letové trasy na základe informácií z palubných senzorov • Aktualizovať vykonávanie manévrov		× × ×	×
4.0	Manéver	• Manéver podľa IAW FAA príručiek • Umožniť operátorovi vykonať manéver • Manéver pokračuje spojte aj pri strate spojenia (command control) (C)² • Zabezpečovať minimálne 500 ft rozstupy • Návrat k pôvodnej trase letu po vykonaní manévru		× ×	× × ×
5.0	Komunikácia	• Spojite oznamovať pozemnému stredisku; umožňujúc zásah operátora • Viacero dostupných frekvencií na prenos dát a informácií • Možnosť využiť Stay-Alone telemetriu alebo inú komunikáciu • Prioritná komunikácia na dodržanie bezpečného letu • Označiť cieľu keď boli zistené ohrozujúce parametre, aktualizovať riešenia až pokiaľ sa konflikt neodvráti		× × × ×	× × ×

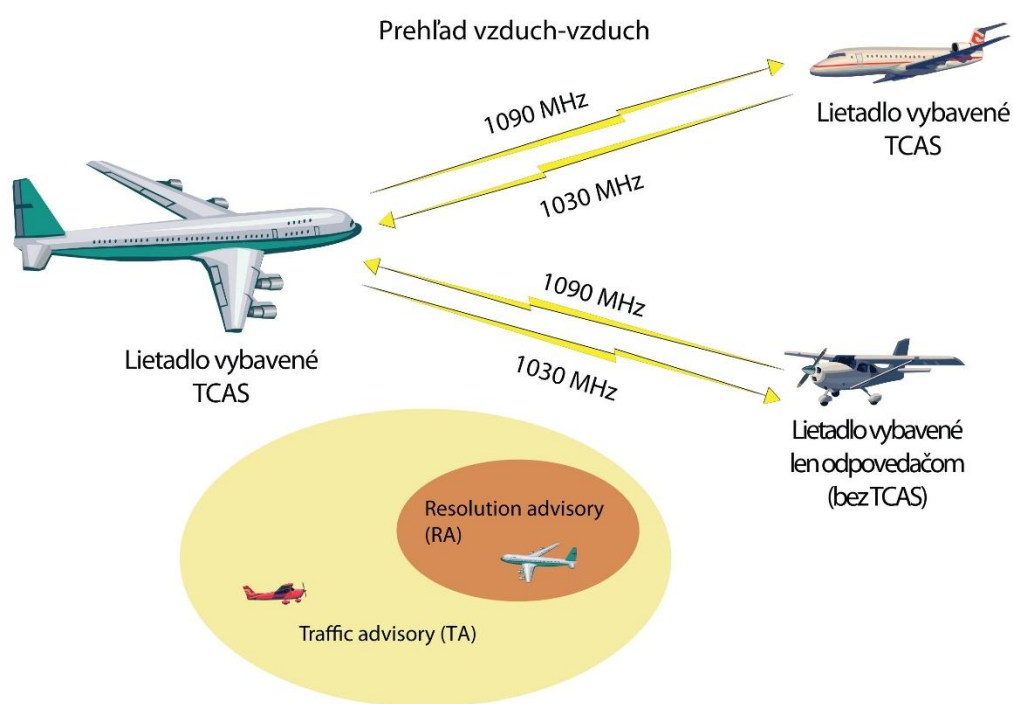
44. Obr. Tabuľka požiadaviek na S&A systém [25]

3.5.1 Spolupracujúce S&A

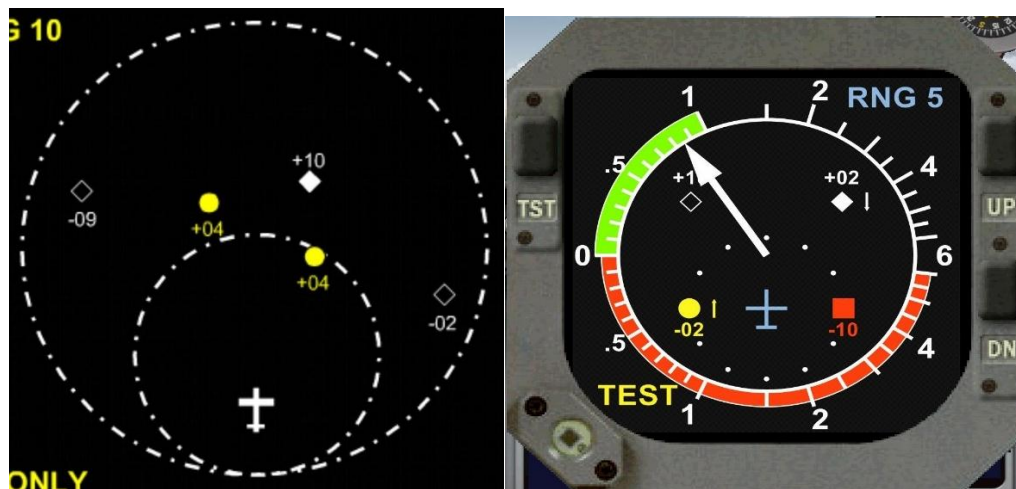
1.) TCAS / ACAS

TCAS (Traffic Alert and Collision Avoidance System), patrí medzi najrozšírenejší a najdôležitejší systém v letectve zabezpečujúci výstrahu pred nebezpečnou prevádzkou a vyhýbanie sa zrážkam. Existuje dnes už viacero verzií tohto systému a najmodernejšou je TCAS III. Toto zariadenie patrí medzi závislé a spolupracujúce pretože využíva odpovedače ostatných lietadiel. Nepotrebuje však žiadne iné externé vstupy od lietadla či navigačných zariadení. TCAS sa chová obdobne ako SSR na zemi. Vysiela dotazy v určitom zväzku pred lietadlo a v predpísaných uhloch. Na tieto dotazy následne samozrejme reagujú odpovedače lietadiel a následne vysielajú informácie o svojej polohe, rýchlosti, výške a podobne. TCAS potom čo dostáva informácie o okolitej prevádzke rozhoduje v niekoľkých fázach. Okolo lietadla existujú zrážkové priestory, ktorých veľkosť môže závisieť na druhu lietadla a najmä na rýchlosti lietadiel. TCAS indikuje kurz, výšku a vzdialenosť lietadiel do určitej vzdialenosti a obvykle je to okolo 15-40 NM pred lietadlom, 10-20 NM vedľa lietadla, 5-15 NM za lietadlom a ± 2650 m vo vertikálnej rovine. Ak sa do určitej blízkosti (okolo 20-48 sekúnd pred

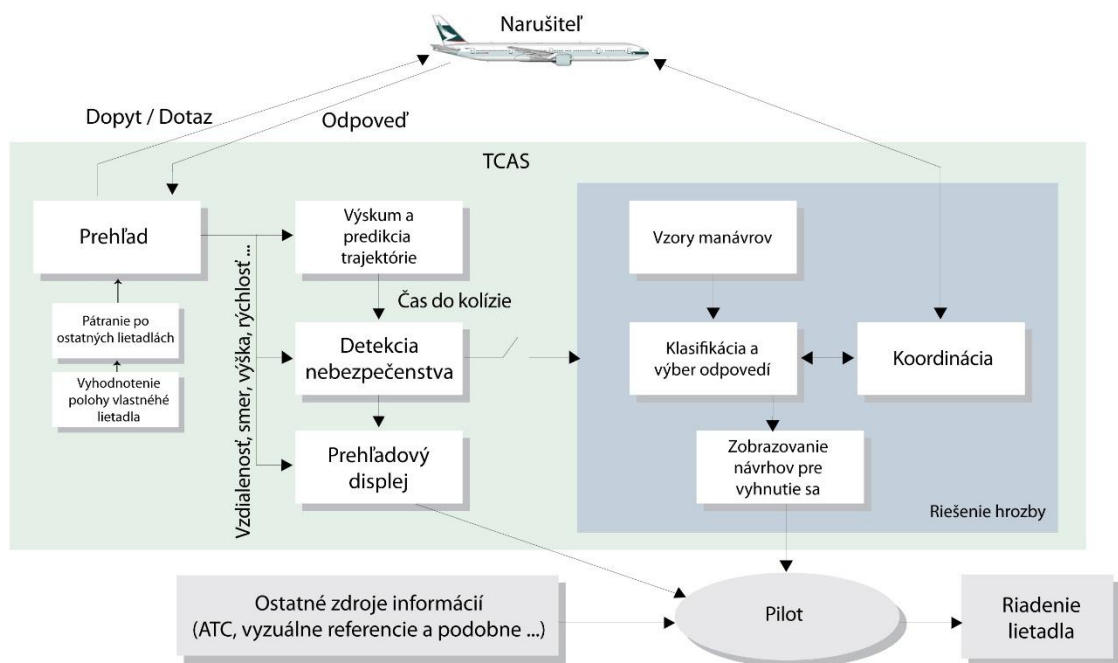
zrážkou) ku lietadlu dostane vtrelec (iné lietadlo) TCAS vyšle TA (Traffic Advisory) teda na tohto narušiteľa sa snaží upozorniť jednak zvukovým znamením „Traffic, Traffic“ a zvýrazní tohto narušiteľa aj na prehľadovom displeji v kabíne lietadla. Vtedy by sa mala posádka pokúsiť naviazať vizuálny kontakt a vykonať manéver pre vyhnutie sa. Pokiaľ sa lietadlá aj naďalej zblížujú tak po prekročení bezpečnostného priestoru TCAS II (od roku 2005 TCAS II musia byť vybavené všetky prúdové dopravné lietadlá nad 5700 Kg alebo nad 18 miest), dôjde k zahájeniu RA (Resolution Advisory) návrhu pre vyhnutie sa zrážke, na základe rozhodovacieho procesu (MDP). Táto informácia je jednak zvuková napríklad: „Climb, Climb“, zobrazí sa na prehľadovom displeji a takisto sa zobrazí návrhový manéver (stúpanie alebo klesanie) aj na stupnici variometra. RA sú dnes zatiaľ len vertikálne ale existuje antikolýzny systém ktorý poskytuje aj horizontálne RA ale zatiaľ nie je schválený pre bežné použitie v letectve.



45. Obr. Činnosť systému TCAS [26]



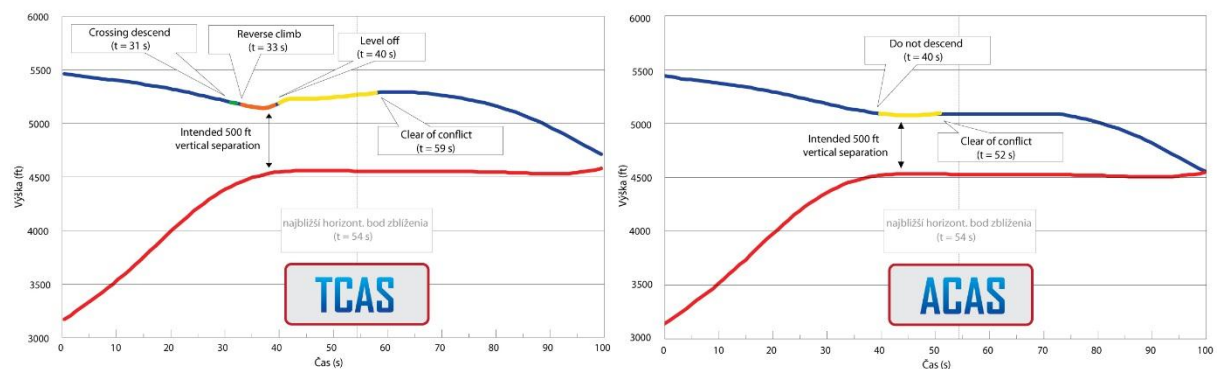
46. Obr. TCAS zobrazenie



47. Obr. Schéma systému TCAS [26]

Z obrázku 45 je princíp činnosti systému TCAS jasný. TCAS v skratke monitoruje prevádzku okolo lietadla, vyhodnocuje nebezpečenstvo na základe údajov získaných z odpovedačov akými sú najmä, poloha, smer, rýchlosť, výška a na základe týchto zistených dát vyhodnocuje situáciu vlastného lietadla a vydáva výstrahy o prevádzke alebo návrhy pre vyhnutie sa.

ACAS je ekvivalent systému TCAS, teda takmer to isté zariadenie len pod iným označením. Slovo takmer značí že tu ale predsa len malé rozdiely sú a medzi ne patrí najmä rozličný softvér a niektoré menšie úpravy. Na obrázku 46 je zobrazená situácia kedy systém TCAS a ACAS X vydáva RA. Systém ACAS X je nová verzia ktorá ma vylepšený softvér a je navrhnutá tak aby čo najmenej zmiatla posádky lietadiel a teda si vyžaduje prepracovanejší softvér, ktorý bol zostavený za pomoci predchádzajúcich skúseností so systémom ACAS. Obrázok je výsledkom simulovaného testu na rovnakú situáciu (vertikálne zblíženie na 500ft), pričom je vidieť odlišné reakcie systémov. Cieľom testu bolo zistiť či je experimentálny ACAS X vôbec prakticky použiteľný a výsledok ako je možné vidieť na grafoch bol pozitívny.



48. Obr. Rozdiel medzi TCAS a ACAS X [26]

Systém TCAS alebo ACAS je spolu s ADS-B tým najpriaznivejším prípadom s ktorým sa S&A môže stretnúť. Všetky tieto systémy dokážu spoľahlivo vyhodnotiť vzdušnú situáciu a zabrániť konfliktom.

Integrácia systému TCAS do S&A spočíva len v rozšírení niektorých jeho funkcií a v prevedení RA (návrhov na vyhnutie) do samotného riadenia lietadla a vyhnutie sa zrážke. Je pochopiteľne nutné aby takýto systém bol veľmi spoľahlivý a flexibilný. Tento spôsob však umožňuje vyhýbanie sa zrážkam v závislosti na vybavení ostatných lietadiel avšak všetky lietadlá letiace za podmienok IFR a pohybujúce sa v riadených oblastiach musia byť vybavené odpovedačmi. Preto by tento systém mohol byť využiteľný v riadených letových priestoroch no pravdepodobne aj tu je nutné aby bol doplnený aj o iné záložné riešenia v prípadoch kedy by došlo k poruche odpovedača alebo inej časti systému. [26]

2.) ADS-B

Tento systém už bol rozobraný v sekcii prehľad.

ADS-B je systém ktorý vyhovuje pre potreby S&A asi najlepšie spomedzi všetkých ostatných spolupracujúcich technológií. Poskytuje množstvo presných informácií s rýchlou aktualizáciou a to aj dokonca o nespolutracujúcich cieľoch. Navyše môže poskytovať aj prehľad o prevádzke na letisku.

Táto technológia však ešte nie je plne vyvinutá a je otázne či sa ju podarí úspešne vyvinúť, certifikovať a nasadiť do prevádzky. Preto sa UAS nemôžu 100% spoľahnúť len na ADS-B a sú preto stále odkázané aj na ostatné technológie.

Na Aljaške už takmer 12 rokov prebieha program známy ako Capstone, ktorý testuje v praxi systém ADS-B pretože toto územie len veľmi málo pokryté radarmi a vďaka tomuto programu sa tu zvýšila aj bezpečnosť letovej prevádzky.

3.) Ostatné

Medzi ostatné spolupracujúce detekčné systémy patria najmä odpovedače lietadiel, FLARM, PICAS a podobné zariadenia. Je vhodné aby všetky takéto spolupracujúce zariadenia boli spolu navzájom kompatibilné.

Väčšina spomínaných spolupracujúcich systémov je už v leteckej technike dlhšiu dobu známa sú s ich prevádzkou skúsenosti a niektoré sú aj certifikované. Toto patrí tiež medzi jednu z výhod týchto zariadení. Naopak medzi nevýhodami treba pripomenúť hlavne to že ide o spolupracujúce systémy a ich cena je dnes ešte stále pomerne vysoká.

3.5.2 Nespolutracujúce S&A

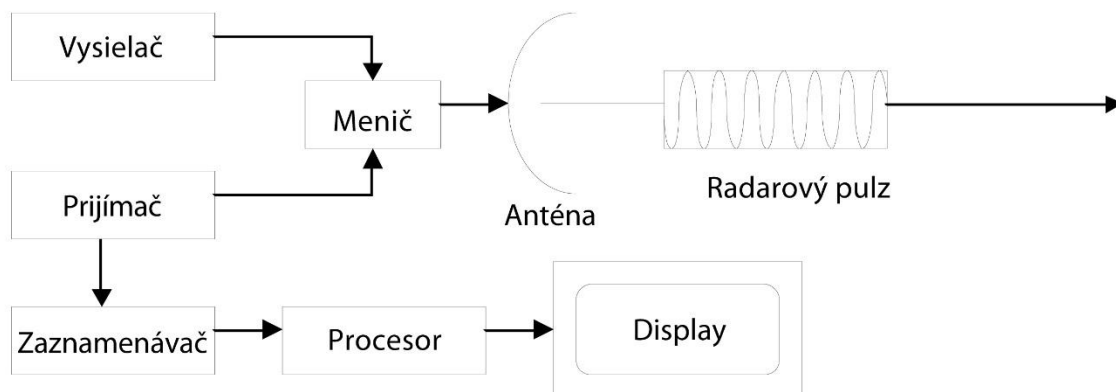
O nespolutracujúcich zariadení si povieme len málo nakoľko prevádzka v riadených priestoroch predpokladá že všetci účastníci budú vybavený odpovedačmi a tým pádom je možné použiť spolupracujúce systémy. Nespolutracujúce systémy v tomto prípade môžu slúžiť len ako doplnkový systém alebo záloha. Nespornou výhodou týchto zariadení je ich autonómia, a teda že si vystačia len samé so sebou a nepotrebujú spoluprácu iných externých zariadení. Tento fakt je nevyhnutný ak by sa UAS chceli pohybovať v neriadených priestoroch kde sa nachádzajú účastníci ktorí nemusia byť vybavený žiadnym spolupracujúcim zariadením ako napríklad odpovedač. V tomto prípade si samotný systém S&A musí vystačiť len s palubným vybavením a spoliehať sa na nespolutracujúce detekčné systémy popísané nižšie.

Aktívne nespolutracujúce systémy:

1.) Radary

Radar vysiela elektromagnetické vlny na určitej frekvencii daným smerom, ktoré sa odrážajú od objektov a ako ECHO sú zase prijímané tou istou anténou radaru. Jednoduchý radar sa obvykle skladá z niekoľkých častí ako vysielač, menič, anténa, prijímač a zaznamenávacie zariadenie. Radar na základe odrazeného množstva energie

dokáže približne určiť tvar objektu, na základe merania času vzdialenosť objektu, na základe merania uhlu vyslaných vln polohu objektu, na základe výpočtu alebo aj Dopplerovho efektu rýchlosť objektu a na základe ďalších výpočtov aj smer letu objektu a podobne.



49. Obr. Základné časti radaru [27]

Výhodou radaru je že je nezávislý na vybavení ostatných lietadiel, poskytuje prehľad aj za zlej viditeľnosti, môže poskytovať informácie aj o počasi či teréne. Radarov dnes poznáme množstvo druhov a každý z nich má svoje výhody a nevýhody, niektoré sa viac a iné menej hodia pre dané špecifické využitie. Nevýhodami radarov sú najmä pomerne vysoká energetická náročnosť, značné rozmery, hmotnosť, dáta nie sú získavané spojitě ale len pri prechode lúča. Aj keď sú dnes radary na vysokej technickej úrovni ich využitie pre vyhýbanie sa zrážkam počas letu je značne obmedzené a to aj pre jeho dlhú obnovovaciu frekvenciu. Využitie nájdú skôr ako doplnkový detekčný systém alebo záložný detekčný systém k ostatným systémom s ktorými sa radar dokáže perfektne dopĺňať.

Relatívne novinkou v oblasti radarov je SAR (Synthetic Aperture Radar). Relatívne preto že princíp bol vynájdený už roku 1953 avšak tieto zariadenia v oblasti UAS dosahujú veľké úspechy až v dnešnej dobe zhruba posledných 20 rokov. SAR radar používaný v UAS väčšinou využíva viacero antén a dokáže vytvárať aj 3D obraz. Obrovské uplatnenie má táto technológia najmä pri snímaní povrchov planét družicami. SAR radar patrí medzi aktívne radarové systémy. Princíp aktívneho radaru je založený na tom že okolie (povrch) je ožarované elektromagnetickým žiarením z umelého zdroja.

Princíp samotného radaru SAR spočíva v tom že pohybujúca sa anténa nepretržite vysiela sériu impulzov (lúčov) požadovaným smerom a zároveň priamo odrazené žiarenie späť. Dômyselnosť systému spočíva v simulácii obrovskej antény, čo je docielené spomínaným pohybom tejto antény a syntetickou clonou ktorá využíva tento pohyb antény.

Z každého miesta počas pohybu je vyslaná séria impulzov, každý bod na povrchu zeme alebo v priestore je teda viackrát ožiarený a odrazy sú následne zaznamenávané v takzvanom „Echo Store“ (úložisko odrazených signálov). Výsledkom zlúčenia teda syntézy týchto viacerých odrazov je obraz podobný tomu, ktorý by bol dosiahnutý použitím obrovskej antény. Zmena frekvencie prijímaných odrazených signálov na základe Dopplerovho javu nesie pre každý bod od ktorého sa signál odrazil jeho jedinečný podpis. Spracovanie SAR potom zahŕňa pridelovanie totožných Dopplerovských frekvencií a demoduláciu prostredníctvom zmien frekvencie odrazených signálov pre každý jeden bod na zemi alebo v priestore na základe čoho

softvér systému SAR dokáže potom vyhotoviť obraz vo vysokom rozlíšení, pričom radaru neprekáža, hmla, oblačnosť, noc a podobne. To je tak v skratke základný princíp jednoduchého SAR radaru. [27]

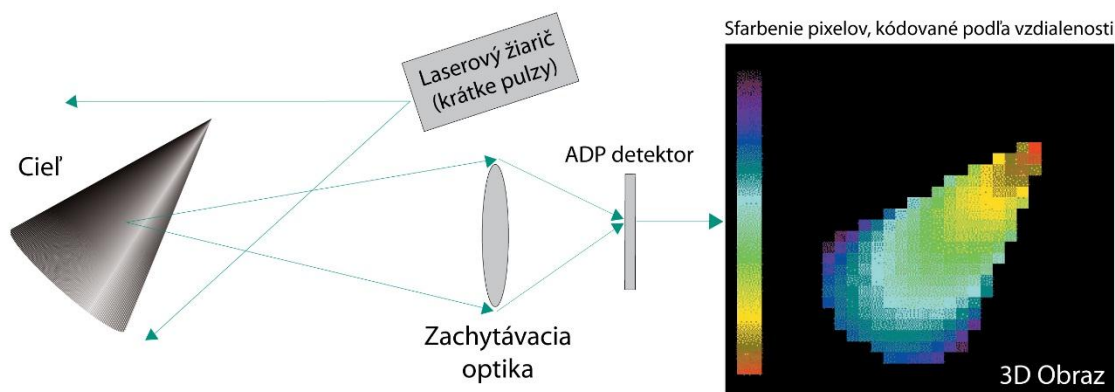


50. Obr. Snímka z radaru SAR z výšky 400m s rozlíšením 2,5"x2,5" (3GHz) [27]

2.) Lasery

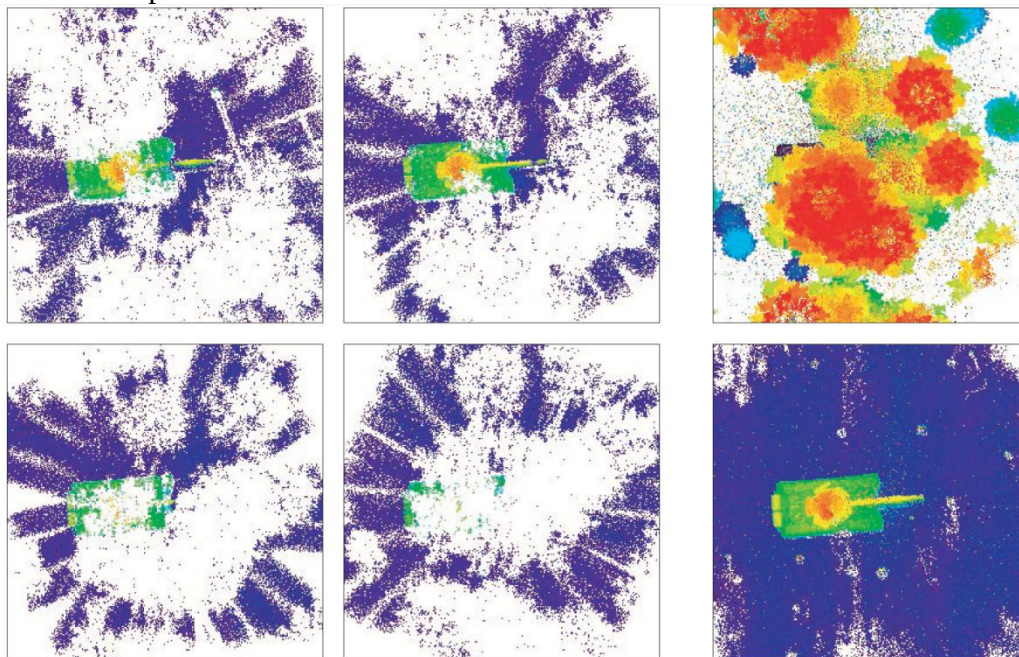
Laserové radary v posledných dobách prešli ohromný kus cesty. V oblasti letectva tomu značne prispel aj vývoj počínajúci v Dánskych vzdušných silách kedy práve oni vytvorili požiadavky na vývoj systému ktorý by monitoroval terén a prekážky pre záchranné helikoptéry. V Spolupráci so spoločnosťou Lockheed Martin sa začalo pracovať na zariadení zvanom: Laser Obstacle Avoidance and Monitoring (LOAM). Laserové radary sú veľmi presné a dokážu zachytiť aj prekážky ako sú napríklad káble vedenia už od hrúbky 5 mm.

Princíp činnosti je pomerne jednoduchý no dobré zvládnutie tejto technológie je už pomerne komplexný problém. Laserové radary, obecné označované aj ako LIDAR (Light Detecting and Ranging) pracujú na princípe odrazu svetla zväčša vo viditeľnom spektre. Laserový radar vyžaruje svetelné (laserové) lúče vo veľmi rýchlych pulzoch okolo 0,5 nanosekundy, pričom jediný pulz stačí pre vytvorenie obrazu. Odraz od ožiareného objektu je následne zachytávaný cez optiku na APD (avalanche photodiode detector). Pričom laserový radar na rozdiel od bežnej kamery meria časy prijatého odrazeného žiarenia, ktoré závisia na vzdialenosti a teda aj rozmeroch objektu. Softvér následne priradí každému pixelu farbu podľa zistenej vzdialenosti a tým pádom dostaneme 3D obraz daného priestoru alebo objektu.



51. Obr. Princíp činnosti 3D Laserového radaru (LIDAR) [28]

Za pomoci výpočtov z odrazov v priebehu času sa dá potom zistiť aj rýchlosť objektov. Tieto radary však pracujú vo viditeľnom spektre a preto ich dosah a obraz môže byť v niektorých prípadoch poškodený, ako napríklad pri prechode hustou oblačnosťou, zrážkami a podobne.



52. Obr. Obraz Tanku T-72 zakrytého stromami vytvorený LIDAR zariadením [28]

LIDAR si našiel pomerne dobré uplatnenie v oblasti UAS, kedy býva zakomponovaný do EO/IR kamier. Jeho výhodou je najmä dobrá rozlišovacia schopnosť, spojený obraz vďaka rýchlejšej perióde pulzov a najmä 3D obraz na základe ktorého je možné rozpoznať aj objekty ktoré sú inak neviditeľné alebo len ťažko viditeľné (napr.: maskovaný tank). Môže byť tiež využitý pre skenovanie terénu a vyhýbanie sa tak prekážkam ako sú komíny, budovy, elektrické vedenie, a podobne. [28]

3.) Sonary

Sonary pracujú na princípe vysielania zvukových pulzov a zachytávajú ich echo podobne ako radar. Nevýhodami je však že spoľahlivo pracujú len na menšie vzdialenosti a pomalá rýchlosť šírenia zvuku, čo je pre rýchlejšie lietadlá nepoužiteľné. Kvôli pomalejšej rýchlosti šírenia sú nevyužiteľné aj pre sledovanie pohybu iných lietadiel. Uplatnenie nájdeme najmä u helikoptér a pomalších menších UAS.

Pasívne nespolupracujúce systémy:

4.) Monitory /Detektory pohybu

Existuje množstvo druhov týchto zariadení ale pre UAS sa využívajú detektory ktoré zachytávajú rýchlosť a smer objektov v určitom priestore. Princíp činnosti spočíva v sledovaní priestoru viacerými kamerami alebo inými senzormi, ideálne z rôznych uhlov, ktorých obraz je potom navzájom porovnávaný. Ak sa pri porovnávaní nejaký pixel pohne vzhľadom k ostatným obrazom, tak jeho pohyb je zaznamenaný a na základe tejto zmeny polohy pixelu je zistený jeho vektor, teda rýchlosť a smer. Podobne ako u ostatných takýchto technológií je princíp jednoduchý avšak realizácia si vyžaduje pomerne zložitý softvér, ktorý je dnes v mnohých prípadoch schopný eliminovať aj napríklad vibrácie lietadla, rušenie spôsobované samotným letom a podobne. [25]

5.) EO (Electro-Optical) / IR (Infrared)

EO – Elektro optické senzory (kamery) a IR – infračervené kamery dnes tvoria a pravdepodobne ešte dlho aj budú základ systému S&A.

Patria medzi nespolupracujúce pasívne systémy a teda nevyžarujú žiadne žiarenia a nepotrebnú žiadnu spoluprácu. Na základe prirodzeného žiarenia ktoré objekty vydávajú dokážu tieto kamery toto žiarenie zachytiť a vytvoriť tak obraz. V prípade EO senzorov je to svetelné žiarenie viditeľného spektra a preto tieto senzory sú negatívne ovplyvnené podobne ako ľudské oko, teda za zníženej viditeľnosti sú nepoužiteľné alebo len použiteľné do istej miery. IR senzory využívajú infračervené žiarenie, ktoré objekty vyvolávajú a dokážu teda detekovať teplo na základe ktorého sa vytvorí obraz.



53. Obr. Miniatúrna EO kamera s rozlíšením 640x512 px a rozmermi 22mm x 22mmx 12mm [30]

EO sú tvorené v podstate klasickými známymi kamerami, ktoré sú dnes na vysokej úrovni a dokážu poskytnúť veľmi kvalitný, ostrý a čistý obraz aj veľmi vzdialených objektov. Podobne ako u INS je stabilizovaná základňa sú pri týchto senzoroch používané stabilizácie obrazu a to ako aj mechanické tak aj elektronické aby sa docielilo čo najostrejších snímok. Pre pokrytie stanoveného bezpečnostného priestoru okolo lietadla je však nutné často použiť viacero týchto senzorov. EO senzory sú dnes ale pomerne lacné, výkonné a energeticky nenáročné. Jediný významný problém nastáva ak chceme prenášať kvalitný obraz prostredníctvom rádiového signálu pretože takýto prenos v reálnom čase je veľmi náročný. Na druhej strane je však možné aby softvér lietadla rozpoznával ciele sám a tak by odpadla nutnosť tento obraz vysielat' operátorovi. Nevýhodami systému sú, že samotné EO alebo IR senzory nedokážu určovať vzdialenosť, to sa však dá do istej miery odstrániť doplnením systému o miniatúrne laserové merače vzdialeností.



54. Obr. Laserový žiarič [30]

Systém EO senzorov rozpoznáva ciele na základe porovnávania pixelov po sebe idúcich snímok obrazu. Čím väčšia vzdialenosť je medzi EO kamerou a cieľom tým je nutné aby bolo rozlíšenie kamery väčšie, aby bolo možné ciele rozoznať a identifikovať (obr. 56.). Cieľ veľkosti vtáka na malú vzdialenosť sa môže pre systém javiť ako cieľ veľkosti dopravného lietadla na veľkú vzdialenosť. Vzdialenosť na ktorú dokážu EO senzory rozpoznávať ciele teda závisí na kvalite a rozlíšení samotného senzoru a softvéru. Ako

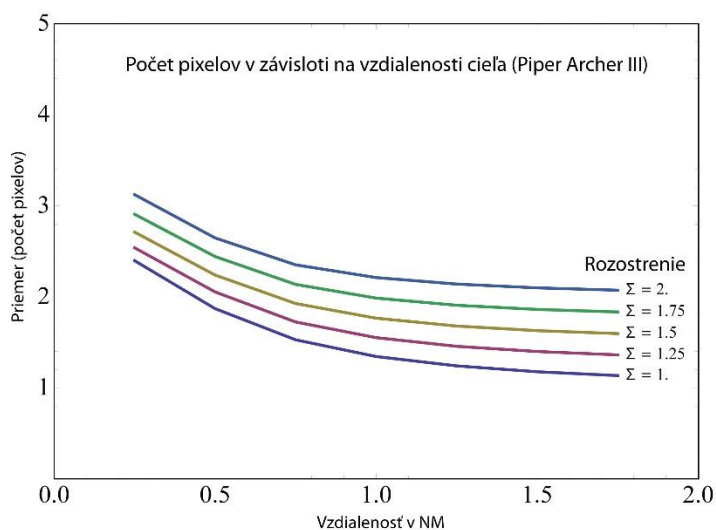
už bolo spomenuté EO senzory nedokážu pracovať v noci na rozdiel od IR senzorov ktoré to dokážu ale zas je nutné aby objekty vyžarovali teplo. Väčšinou sa na lietadlách využíva kombinovaný systém, ktorý často zahŕňa množstvo senzorov v jednom zariadení. [29] [30]



55. Obr. Kombinovaný stabilizovaný EO /IR (SWIR, MWIR, LIDAR) senzor [30]



56. Obr. Záznam EO kamery v závislosti na vzdialenosti cieľa [29]



57. Obr. Graf závislosti vzdialenosti cieľa a zachytených pixelov od EO kamery [29]

6.) Zvukové senzory

Pracujú na princípe zachytávania zvukov objektov v priestore, na čo sa viaže aj ich najväčšia nevýhoda ktorou je že sú schopné detekovať len ciele ktoré vydávajú nejaký zvuk a teda, vetrone, balóny a podobne sú pre tieto senzory neviditeľné alebo sú len ťažko viditeľné. Takisto majú aj obmedzený dosah v závislosti na citlivosti snímačov a vyspelosti softvéru.

Systém sa obvykle skladá z niekoľkých akustických senzorov vhodne rozmiestnených po lietadle a miniatúrneho počítača, pričom celková, váha, rozmery a energetická náročnosť tohto systému sú veľmi malé a to pri zachovaní aj nízkej ceny. Na základe prijatého zvuku a Dopplerovho efektu systém dokáže určiť pomerne presnú polohu cieľa v guľovom priestore okolo lietadla.

Tento zvukový systém je vhodné využívať vďaka jeho malej hodnote SWaP najmä ako doplnkový, alebo záložný pre väčšie UAS alebo ako jeden z primárnych pre menšie UAS. [25]

Systém S&A na palube UAS musí do určitej miery byť schopný nahradiť pilota lietadla. Musí vedieť spoľahlivo vyhodnotiť každú možnú situáciu, musí byť schopný spoľahlivo detekovať potencionálne nebezpečenstvo a nakoniec musí byť schopný samostatne vykonať manéver ktorým sa predíde kolízii. Tieto úlohy sú často krát zložité aj pre človeka na palube lietadla a preto vytvoriť tento systém na dostatočnej úrovni je obrovskou výzvou pre všetkých ktorý sa jeho vývojom zaoberajú. Dnes ešte nie je certifikovaný žiaden S&A systém z dôvodu jeho zložitosti a hardvérovej i softvérovej náročnosti. Zavedenie tohto systému do reálnej prevádzky je dnes ešte stále v horizonte niekoľkých rokov a bude nutné vykonať obsiahle štúdie a finančne i časovo náročné testy, pretože tento systém sa radí jednoznačne medzi najkomplexnejšie systémy v letectve.

Aplikácia UAS do riadených priestorov si nutne vyžaduje ich vysokú spoľahlivosť a bezpečnosť ktorej podstatnú časť zabezpečuje práve S&A. Aplikácia do riadených priestorov by nemala byť tak náročná ako do neriadených kvôli už spomínaným dôvodom medzi ktoré patrí lepšia vybavenosť lietadiel pohybujúcich sa v týchto priestoroch, nutnosť odpovedačov a celkovo lepší prehľad o prevádzke v týchto priestoroch. No žiadne lietadlo by sa nemalo spoliehať výhradne na spolupracujúce systémy a preto aj UAS pohybujúce výhradne v riadených priestoroch by malo byť vybavené aj nespôlupracujúcim systémom S&A čo značne navyšuje jeho zložitosť, hmotnosť a cenu.

V súčasnosti sa systému S&A tak trochu približujú systémy ako napríklad TCAS a ACAS, ktoré majú za úlohu vyhýbanie sa zrážkam avšak ich práca je v porovnaní s S&A omnoho jednoduchšia. Aj keď existuje už aj systém TCAS, ktorý sa v spojení s autopilotom a ostatnými zariadeniami lietadla dokáže bez zásahu pilota zrážke vyhnúť je nutné aby pilot neustále monitoroval priebeh letu. Na obrázku 48 je vľavo znázornená situácia ako niekedy reaguje TCAS na vertikálne zblíženie sa dvoch lietadiel. Je vidieť že reakcia systému aj keď zrážke zabráni nie je úplne najvhodnejšia a preto využitie tohto systému by nemuselo dosiahnuť dostatočnú úroveň bezpečnosti.

Systém S&A je okrem iného závislý najmä na jeho detekčných schopnostiach rozoznať hrozbu. K tomu slúžia už uvedené metódy pričom každá je odlišná a každá so sebou prináša celú radu svojich špecifických výhod ale aj nevýhod. Podľa parametrov daného detekčného systému sa výrobcovia lietadiel musia nakoniec rozhodnúť čo bude pre ich konkrétne UAS a systém S&A najlepšie pričom rozhodujúce parametre môžu byť: spoľahlivosť systému, faktor SWaP (veľkosť, hmotnosť, spotreba energie), cena, dosah a mnoho iných parametrov. Najlepšie spomedzi detekčných systémov však celkovo obstáli EO / IR senzory a radary ktoré majú pred sebou v tejto oblasti istú perspektívu.

ZÁVER

Integrácia bezpilotných prostriedkov do riadeného vzdušného priestoru Európy je veľmi komplexný proces ktorý ešte môže trvať niekoľko rokov.

Dnes je vývoj techniky veľmi intenzívny a UAS sa javia ako nesmierne perspektívne pre využitie v mnohých oblastiach ľudských činností. Ako bolo v tejto práci už popísané na vývoji UAS sa podieľa takmer každý známy letecký výrobca od tých najmenších až po spoločnosti ako je Boeing, Lockheed Martin či Airbus alebo dokonca NASA ale aj mnohý iný úplne nový výrobcovia zameraní výhradne len na tento druh lietadiel. Mnohý si totiž uvedomujú že zvládnutie UAS technológie bude v blízkej budúcnosti veľmi dôležité a finančne zaujímavé a aj preto sú ochotný do týchto systémov vkladať nemalé prostriedky.

V tejto práci ako jeden z jej cieľov bola popísaná súčasná legislatíva zaoberajúca sa UAS a časový harmonogram jednotlivých fáz integrácii UAS do riadených priestorov. Podľa časového plánu by sa UAS mohli stať súčasťou neriadenej prevádzky už roku 2020 a riadenej letovej prevádzky v Európe už roku 2017 (za predpokladu že sa certifikuje ADS-B). Pre zaistenie tohto cieľa však je nevyhnutne nutné najskôr vytvoriť legislatívnu základňu, podľa ktorej by mohli výrobcovia týchto zariadení postupovať. Nedostatočná legislatíva je dnes jedným z najväčších činiteľov, ktorý brzdí integráciu UAS do neseparovaných priestorov. Nie je oficiálne definovaná celá rada postupov, technických požiadaviek, noriem, štandardov a mnoho iného, podľa ktorých by mohli výrobcovia postupovať. Tá časť predpisov u ktorej je to možné tak tá sa preberá od pilotovaných lietadiel s ktorými sú už dnes už dlhšie skúsenosti a zvyšok kde to nie je možné pre niektoré špecifikácie UAS sa upravuje a prispôsobuje. No dá sa tu nájsť aj mnoho oblastí o ktorých doterajšia legislatíva vôbec nepojednáva a ktoré sú typické len pre bezpilotné lietadlá. V takomto prípade sa nedá nič iné robiť len navrhnúť úplne nové postupy s ktorými sme sa v minulosti ešte nestretli a ktoré sú dnes vytvárané v spolupráci mnohých skupín a výrobcov systémov pre bezpilotné lietadlá.

Prevádzkové možnosti dnešných UAS v riadených priestoroch sú na vysokej úrovni a z technického hľadiska je takáto prevádzka dnes už možná avšak vyžaduje si to pomerne veľké finančné náklady a špeciálne opatrenia. Hlavným nedostatkom je absencia certifikovaného systému S&A a problém s prenosom dát medzi lietadlom a riadiacim strediskom pri hustejšej prevádzke UAS. Tieto a mnohé podobné technické nedostatky UAS by mohli byť vyriešené omnoho rýchlejšie ak by existovala spomínaná vhodná legislatíva definujúca množstvo technických požiadaviek a parametrov.

V poslednej dobe dochádza k rozsiahlej automatizácii činností vo všetkých oblastiach techniky a letecká doprava s touto dobou úspešne drží krok. Bezpečným zavedením UAS do prevádzky vo všetkých letových priestoroch by sa mohli mnohé letecké činnosti vykonávať výhradne pomocou UAS takmer bez zásahu ľudí do ich riadenia. Tieto lietadlá by mohli zo začiatku napríklad len monitorovať rôzne oblasti, hranice, požiare a podobne a neskôr by mohli dosiahnuť úroveň kedy by boli schopné vykonávať aj náročnejšie činnosti a dokonca aj prepravovať cestujúcich. Perspektívne využitie tejto technológie je obrovské a UAS je možné v budúcnosti uplatniť všade tam kde sa dnes využívajú pilotované lietadlá a dokonca aj tam kde sa využitie pilotovaných lietadiel už neoplatí alebo je príliš nebezpečné či inak nevhodné.

Podľa môjho názoru proces integrácie UAS do riadeného priestoru Európy by sa mohol zrealizovať niekedy okolo roku 2018 za použitia prehľadovej technológie ADS-B (spolu s TIS-B) pričom táto prevádzka by musela byť obmedzená výhradne na riadené priestory kde sa budú pohybovať iba lietadlá vybavené odpovedačmi (v riadených

priestoroch je odpovedač povinný). Každé lietadlo UAS musí byť vybavené certifikovaným S&A, ktorý splní požiadavky pre spoľahlivé dodržiavanie separácií alebo aspoň pre vyhýbanie sa kolíziám v riadených priestoroch a separácie budú dodržiavané prostredníctvom ATC a operátora obdobne ako u pilotovaných lietadiel. Systém S&A by teda mohol pracovať ako spolupracujúci systém založený na ADS-B prípadne na TCAS. Viac než vhodné by bolo však takýto spolupracujúci S&A doplniť aj o nejaký nespôlpracujúci systém akým by mohol byť napríklad EO/IR detekčný systém, alebo radar. Základnou požiadavkou je tu bezpečnosť, ktorú musí byť použitá technológia schopná dosiahnuť. Čo sa týka dátového spojenia tak ako už bolo spomenuté mohlo by sa využívať pásmo 5030 až 5091 MHz ktoré sa v testoch ukázalo ako najvhodnejšie. Každé bezpilotné lietadlo však musí byť schopné nejakým spôsobom zaistiť bezpečné dokončenie letu v prípade úplnej straty spojenia alebo v prípade vysadenia pohonnej jednotky či inej závady. V prípade straty spojenia to môže byť automatické pokračovanie v lete až do doby pokiaľ sa spojenie znovu nenaviaže alebo to môže byť núdzové pristátie použitím padákového systému, čo môže byť použité aj pri vysadení pohonnej jednotky. Každé zariadenie použité na UAS tak ako je tomu u pilotovaných lietadiel musí byť riadne certifikované a teda dostatočne bezpečné a spoľahlivé pre výkon svojej činnosti.

V oblasti bezpilotných zariadení zostáva ešte stále však mnoho otázok nezodpovedaných a proces ich integrácie so sebou prináša nové nesmierne zaujímavé výzvy pre dnešných inžinierov z rozličných odborností.

ZOZNAM SKRATIEK

4DT	4 Dimensional Trajectories	4 dimenzionálna trajektória
ABSAA	Airborne Sense & Avoid	Palubný systém Snímania a vyhýbania sa
ADS-B	Automatic Dependent Surveillance – Broadcast	Automatický závislý prehľadový - vysielací systém
ARS	Autonomous Recovery System	Autonómny systém obnovy
ATC	Air Traffic Control	Riadenie letovej prevádzky
ATOL	Automatic Take Off and Landing	Automatický vzlet a pristátie
AUVSI	Association for Unmanned Vehicle Systems International	Medzinárodná asociácia pre bezpilotné zariadenia
BLOS	Beyond Line Of Sight	Za obzorom (mimo dohľad)
BUQ	Basic UAS Qualification	Základná klasifikácia UAS
C2	Command & Control	Velenie a ovládanie
C3	Command, Control and Communications	Velenie, ovládanie a komunikácia
CAA	Civil Aviation Authority	Úrad pre civilné letectvo
CFR	Code of Federal Regulations	Kódy federálnych predpisov
CL	Command Link	Riadiace spojenie
CNS	Communication, Navigation and Surveillance	Komunikácia, navigácia a prehľad
COA	Certificate of Waiver or Airworthiness	Osvedčenie pre výnimku letovej spôsobilosti
CPL (U)	Commercial Pilot's License // (U) - Unmanned	Licencia obchodného pilota // (U) Bepilotných lietadiel
CRM	Crew Resource Management	Riadenie zdrojov letovej prevádzky
DL	Down Link	Prijímacie spojenie
DoD	Department of Defense	Ministerstvo obrany
DUO	Designated UAV Operator	Označený prevádzkovateľ UAV
EDA	European Defence Agency	Európska agentúra obrany
ELOS	Equivalent Level of Safety	Akvyvalentná úroveň bezpečnosti
EO	Electro-optical	Elektricko - optický
EUROCAE WG73	European Organization for Civil Aviation Equipment	Európska organizácia pre vybavenie civilného letectva
EW	Next Generation Electronic Warfare	Budúca generácia elektronického boja
FAA	Federal Aviation Administration (USA)	Federálny letecký úrad
FAR	Federal Air Regulation	Federálne letecké predpisy
FINAS	Flight in Non-Segregated Airspace	Lety v neseparovaných priestoroch
FIR	Flight Information Region	Letová informáčná oblasť
FMS	Flight Management System	Riadaci letový systém
FPV	First Person Viewing	Pohľad prvej osoby
FTS	Flight Termination System	Systém na zrušenie (ukončenie) letu
GBSAA	Ground-based Sense & Avoid	Systém S&A s pozemnou podporou
GCS	Ground Control Station	Pozemná riadiaca stanica

HALE	High Altitude Long Endurance	Veľká výška, veľký dolet
ICAO	International Civil Aviation Organization	Medzinárodná organizácia pre civilné letectvo
IF	Instrument Flying	Prístrojové lietanie
IFR	Instrument Flight Rules	Pravidlá letu podľa prístrojov
INOUI	Innovative Operational UAS Integration	Inovatívne integrácie prevádzky UAS
IR	Infrared	Infračervená (kamera)
ISR	Intelligence, Surveillance, and Reconnaissance	Inteligentný prehľad a prieskum
ITU	International Telecommunications Union	Medzinárodná telekomunikačná únia
JAA	Joint Aviation Authority	Spojené letecké úrady
JARUS	Joint Authorities for Rulemaking on UAS	Spojené úrady pre tvorbu legislatívy UAS
KSA	Knowledge, Skills & Attributes	Vedomosti, zručnosti a vlastnosti
LEMV	Long Endurance Multi-mission Vehicle (Airship)	Viacúčelové lietadlo s dlhou vytrvalosťou
LIDAR	Light Detecting and Ranging	Detekcia svetla a meranie vzdialenosti
LL	Lost Link	Strata spojenia
LOS	Line Of Sight	Lýnia dohľadu
LRE	Launch / Recovery Element	Vzletový a pristávací elemnt
LSA	Light Sports Aircraft	Ľahké športové lietadlo
MALE	Medium Altitude Long Endurance	Stredný výška a dlhý dolet
MARCAT	Mid Air Collision Assessment Tool software	Softvér posúdenia kolízií
MASPS	Minimum Aviation System Performance Standards	Minimálne požiadavky na výkonnosť leteckých systémov
MC	Mission Commander	Veliteľ mysie
MCE	Mission Command Element	Veliaci elemnt mysie
ME	Multi-Engine	Viac motorový
MEL	Minimum Equipment List	Zoznam minimálneho vybavenia
MIAA	Multi-Intruder Autonomous Alert	Autonómna výstraha viacerých narušiteľov
CAASD	Center for Advanced Aviation System Development	Stredisko vývoja vyspelých leteckých systémov
MOPS	Minimum Operational Performance Standards	Minimálne výkonnostné prevádzkové štandardy
MTBF	Mean Time between Failures	Stredný čas medzi poruchami
NAS	National Airspace	Národný letecký priestor
NASA ISR	NASA Integrated Systems Research	Integrovaný výskumný systém NASA
NATO FINAS	North Atlantic Treaty Organization Flight in Non-segregated Airspace	Severo-atlantická zmluva organizácie letov v neseparovaných letových priestoroch
NOTAM	Notices to Airmen	Poznámky pre letcov
OAT	Operational Air Traffic	Operačná letová prevádzka

OEM	Original Equipment Manufacturer	Originálny výrobca vybavenia
OPVs	Optionally Piloted Vehicles	Optimálne pilotované prostriedky
OSGCS	One System Ground Control Station	Pozemná riadiaca stanica jedného systému
PAC	Pilot At Controls	Pilot pri riadení
PANS	Procedures for Air Navigation Services	Postupy pre letecké navigačné služby
PIC	Pilot in Command	Pilot veliteľ
PTS	Practical Test Standards	Štandardy praktických testov
RF	Radio Frequency	Rádiová frekvencia
RL	Return Link	Spätné spojenie
RLOS	Radio Line of Sight	Rádiový priami dohľad
ROA	Remotely Operated Aircraft	Diaľkovo riadené lietadlo
ROI	Region of Interest	Oblasť záujmu
ROZ	Restricted Operating Zone	Obmedzená prevádzková zóna
RPA	Remotely Piloted Aircraft	Diaľkovo pilotované lietadlo
RPS	Remotely Pilot Station	Riadiaca stanica diaľkovo ovládaného lietadla
RSTA	Reconnaissance, Surveillance, and Target Acquisition	Prieskum, prehľad a získané cieľe
RTCA SC 203	Requirements & Technical Concepts for Aviation Special Committee	Odporúčania a technické koncepty pre letectvo od špeciálnej komisie
S&A	Sense and Avoid	Systém Snímania a vyhýbania sa
SA	Situational Awareness	Situačné varovanie
SAR	Search and Rescue	Pátranie a záchrana
SAR (as equipment)	Synthetic Aperture Radar	Syntetický radar
SARPS	Standard Recommended Practices	Štandardy odporúčania a praktiky
SESAR	Single European Sky ATM Research Programme	ATM výskumný program jednotného Európskeho neba
SIGINT	Signal Intelligence	Inteligentný signál
SMS	Safety Management System	Systém riadenia bezpečnosti
SSAASy	Small Sense & Avoid System	Malý systém snímania vyhýbania sa
SUAS	Small UAS	Malé UAS
SWaP	Size, Weight and Power	Veľkosť, hmotnosť a výkon
TCAS	Traffic Alert and Collision Avoidance System	Výstražný a antikolýzny systém letovej prevádzky
TLOS	Target Level of Safety	Cieľová úroveň bezpečnosti
TRACON	Terminal Radar Approach Control	Približovací radar koncovej oblasti
TUAV	Tactical UAV	Taktické UAV
UA	Unmanned Aircraft	Bezpilotné lietadlo
UA	Unusual Attitudes	Nezvyčajné polohy
UAS	Unmanned Aerial System	Bezpilotný systém
UAV	Unmanned Aerial Vehicle	Bezpilotné zariadenie
UAVNET	UAV Thematic Network	Tematická sieť UAV

UCAV	Unmanned Combat Air Vehicle	Bezpilotné lietajúce bojové zariadenie
UL	Up Link	Vysielacie spojenie
VFR	Visual Flight Rules	Pravidlá pre let za viditeľnosti
VLOS	Visual Line of Sight	Vizuálny dohľad
VTUAV	Vertical Take-Off UAV	Vertikálny vzlet UAV
WRC	World Radio Communications	Svetová rádiová komunikácia

ZOZNAM OBRÁZKOV

1. OBR. ROZDELENIE A PREHĽAD UAS PODĽA MAX. VÝŠKY A HMOTNOSTI [7]	5
2. OBR. ČASOVÁ OS PREVÁDZKOVANIA UAS V USA [7].....	5
3. OBR. UAS VUT 701 ESPECTO [2]	6
4. OBR. SILENT FALCON [4].....	7
5. OBR. X-47B [5].....	8
6. OBR. BAT [5].....	9
7. OBR. BAT PRÍSLUŠENSTVO [5].....	9
8. OBR. OBSLUHA BAT UAS [5].....	9
9. OBR. GLOBAL HAWK [6]	10
10. OBR. GLOBAL HAWK [6]	10
11. OBR. UAS V POĽNOHOSPODÁRSTVE [8].....	12
12. OBR. LANCASTER [8]	13
13. OBR. OVLÁDACÍ SOFTVÉR LIETADLA [8].....	13
14. OBR. ČASOVÁ OS PREDPISOV PRE PREVÁDZKOVANIE UAS V USA [9].....	15
15. OBR. TVORBA LEGISLATÍVY OHĽADOM UAS [10]	18
16. OBR. PRODUKTY PRE REGULÁCIU PREVÁDZKY UAS [14].....	19
17. OBR. VERTIKÁLNE ROZDELENIE VZDUŠNÉHO PRIESTORU [1]	19
18. OBR. PREVÁDZKA UAS V PRIESTOROCH ATZ A TRIEDY G A E [1]	20
19. OBR. UAS NAĽAVO VO VIZUÁLNOH DOHĽADE PILOTA A VPRAVO MIMO DOHEAD [11]	21
20. OBR. PREVÁDZKA UAS V PRIESTORE CTR A INÝCH [1]	21
21. OBR. SYSTÉMOVÝ PRÍSTUP K ÚPRAVE POŽIADAVIEK PRE UAS [7].....	27
22. OBR. HARMONOGRAM VÝVOJA ATM V EÚ A USA [15]	31
23. OBR. BEZPEČNOSTNÁ PRIORITA [7].....	33
24. OBR. NEHODY USA VOJENSKÝCH UAS ZA DOBU 100 000 LETOVÝCH HODÍN [16].....	34
25. OBR. PRENOS DÁT MEDZI UAS A OSTATNÝMI ZARIADENAMI [17]	38
26. OBR. KOMUNIKAČNÝ OKRUH UAS NA PRIAMU RÁDIOVÚ VIDITEĽNOSŤ [11].....	39
27. OBR. PRIAMY RÁDIOVÝ KOMUNIKAČNÝ OKRUH S VYUŽITÍM TRANSLAČNÝCH STANÍC [11]	40
28. OBR. NEPRIAME KOMBINOVANÉ SPOJENIE RPA A RPS [11].....	41
29. OBR. VÝSLEDKY BEZPEČNOSTNEJ ANALÝZY KOMUNIKAČNÝCH ARCHITEKTÚR PODĽA EUROCONTROL [17]	42
30. OBR. AR2 ARCHITEKTÚRA PRENOSU DÁT MEDZI UAS A ATC [18]	43
31. OBR. SPOJENIE RPA S RPS POMOCOU DATA LINKU [20]	45
32. OBR. VYUŽITEĽNÉ RÁDIOVÉ SPEKTRUM.....	46
33. OBR. PROCES HĽADANIA VHODNÉHO RÁDIOVÉHO PÁSMU PRE POUŽITIE U UAS [21].....	46
34. OBR. MOŽNÉ ŠÍRKY PÁSEM VYUŽITEĽNÉ PRE UAS [20]	47
35. OBR. KLASICKÁ NAVIGÁCIA A RNP NAVIGÁCIA [22]	49
36. OBR. LET POMOCOU RNAV [22].....	50
37. OBR. PRIMÁRNY (DOLE) A SEKUNDÁRNY RADAR (HORE)	52
38. OBR. ADS-B SCHÉMA [20].....	54
39. OBR. ADS- B PRENOS DÁT NA 1090 MHz [20]	55
40. OBR. FORMA VLNY PRENOSU SPRÁV ADS-B [20].....	57
41. OBR. VIACVRSTVOVÁ OCHRANA PILOTOVANÝCH LIETADIEL A UAS [24]	58

42. OBR. BEZPEČNOSTNÉ PRIESTORY SYSTÉMU S&A PRE UAS [24].....	59
43. OBR. POSTUP SYSTÉMU S&A [25].....	60
44. OBR. TABUĽKA POŽIADAVIEK NA S&A SYSTÉM [25]	61
45. OBR. ČINNOSŤ SYSTÉMU TCAS [26].....	62
46. OBR. TCAS ZOBRAZENIE	62
47. OBR. SCHÉMA SYSTÉMU TCAS [26]	63
48. OBR. ROZDIEL MEDZI TCAS A ACAS X [26]	63
49. OBR. ZÁKLADNÉ ČASTI RADARU [27]	65
50. OBR. SNÍMKA Z RADARU SAR Z VÝŠKY 400M S ROZLIŠENÍM 2,5"x2,5" (3GHz) [27].....	66
51. OBR. PRINCÍP ČINNOSTI 3D LASEROVÉHO RADARU (LIDAR) [28]	66
52. OBR. OBRAZ TANKU T-72 ZAKRYTÉHO STROMAMI VYTVORENÝ LIDAR ZARIADENÍM [28]67	
53. OBR. MINIATÚRNA EO KAMERA S ROZLIŠENÍM 640x512 PX A ROZMERMI 22MM X 22MMX 12MM [30].....	68
54. OBR. LASEROVÝ ŽIARIČ [30].....	68
55. OBR. KOMBINOVANÝ STABILIZOVANÝ EO /IR (SWIR, MWIR, LIDAR) SENZOR [30].....	69
56. OBR. ZÁZNAM EO KAMERY V ZÁVISLOSTI NA VZDIALENOSTI CIEĽA [29]	69
57. OBR. GRAF ZÁVISLOSTI VZDIALENOSTI CIEĽA A ZACHYTENÝCH PÍXELOV OD EO KAMERY [29]	69

ZOZNAM TABULIEK

1. TAB. TECHNICKÉ ÚDAJE VUT 700 SPECTO.....	6
2. TAB. TECHNICKÉ ÚDAJE SILENT FALCON	7
3. TAB. X-47B TECHNICKÉ ÚDAJE	8
4. TAB. BAT TECHNICKÉ ÚDAJE.....	9
5. TAB. GLOBAL HAWK, TECHNICKÉ ÚDAJE	10
6. TAB. LANCASTER, TECHNICKÉ ÚDAJE	13
7. TAB. PREPISY PRE UAS	16
8. TAB. DELENIE UAS PODĽA L2 DODATKU X	22
9. TAB. OBJEMY PRENOSU DÁT PRE UAS.....	44
10. TAB. ŠTANDARDNÉ RNP HODNOTY	49

ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

- [1]**Úrad pro civilni letectví, L2 dodatok X. 2006.** *Pravidlá lietania*. Praha : Ministerstvo Dopravy České Republiky, 2006.
- [2]**www.avbs.cz, Asociace výrobcu bezpilotních systému. 2010.** VUT 700 Specto. *www.avbs.cz*. [Online] 20. Marec 2010. [Dátum: 04. Marec 2014.] <http://www.avbs.cz/index.php?page=download&kat=1>.
- [3]**Bento, Maria de Fatima. 2008.** *Unmanned Aerial Vehicles Overview*. s.l. : Portuguess Air Force Academy (PAFA), 2008.
- [4]**Falcon, Silent. 2014.** *Silent Falcon UAS Technologies*. [Online] 11. Február 2014. [Dátum: 18. Apríl 2014.] <http://www.silentfalconuas.com/Silent-Falcon.html>.
- [5]**Diego, Marcom San. 2014.** Bat Unmanned Aircraft System (UAS). *Northrop Grumman*. [Online] 05. Marec 2014. [Dátum: 26. Marec 2014.] <http://www.northropgrumman.com/Capabilities/BATUAS/Pages/default.aspx>.
Diego, Marcom San. 2014. Northrop Grumman X-47B UCAS. *Northrop Grumman*. [Online] 17. Apríl 2014. [Dátum: 25. Apríl 2014.]
- [6]**Northrop Grumman. 2012.** Northrop Grumman/GlobalHawk. *Northrop Grumman*. [Online] 2012.
- [7]**JAA/Eurocontrol. 2004.** EASA, UAV Task Force Final Report. *A Concept for European Regulations for Civil Unmanned Aerial Vehicles (UAVs)*. [Online] 11. Máj 2004. [Dátum: 25. Apríl 2014.] http://www.easa.europa.eu/system/files/dfu/NPA_16_2005_Appendix.pdf.
- [8]**Dean, Christopher. 2014.** Precision Hawk. *Precision Hawk*. [Online] 2014. [Dátum: 13. Apríl 2014.] <http://precisionhawk.com/>.
- [9]**Gambold, Keven A. 2011.** *Unmanned Aircraft System Acces to National Airspace*. North America : Technical and Air Safety Committee GAPAN, 2011.
- [10]**Cuerno-Rejado, Dr. Cristina.** *Integration of UAS in the civil airworthiness regulatory system: present and future*. Bristol : Bristol International UAV Systems Conference.
- [11]**ICAO. 2011.** ICAO. *Unmanned Aircraft Systems (UAS)*. [Online] 2011. [Dátum: 17. Apríl 2014.] www.icao.int. ISBN 978-92-9231-751-5.
- [12]**Reuber, Edgar. 2012.** EUROCONTROL SPECIFICATIONS FOR THE USE OF MILITARY REMOTELY PILOTED AIRCRAFT1 AS OPERATIONAL AIR TRAFFIC OUTSIDE SEGREGATED AIRSPACE. *Eurocontrol*. [Online] 01. Február 2012. [Dátum: 19. Január 2014.] <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/content/documents/single-sky/cm/civil-mil-coordination/cmac-rpa-specifications-v-2-0-20120201.pdf>.

[13]Haddon, David. 2009. <http://easa.europa.eu>. <http://easa.europa.eu/system>. [Online] 31. Júl 2009. [Dátum: 10. Máj 2014.] http://easa.europa.eu/system/files/dfu/E.Y013-01_%20UAS_%20Policy.pdf.

[14]Huerta, Michael P. 2013. *Integration of Civil Unmanned Aircraft Systems (UAS) in the National Airspace System (NAS) Roadmap*. Washington, DC : U.S. Department of Transportation FAA, 2013.

[15]Euteneuer, Eric A. 2011. *UAS Insertion into Commercial Airspace: Europe and USA*. Toulouse, France : Honeywell, 2011.

[16]DeGarmo, Matthew. T. 2004. Mitre Corporation. *Mitre*. [Online] November 2004. [Dátum: 20. Máj 2014.] https://www.mitre.org/sites/default/files/pdf/04_1232.pdf.

[17]Ainley, Mike. 2009. Preliminary Impact Assesment on The Safety of Communications for UAS. EASA. [Online] 8. December 2009. [Dátum: 16. Máj 2014.] http://easa.europa.eu/system/files/dfu/Final_Report_EASA.2008-8_Vol_1.pdf.

[18]Clough, Adrian. 2009. Skybary. <http://www.skybrary.aero/>. [Online] 27. Júl 2009. [Dátum: 8. Máj 2014.] <http://www.skybrary.aero/bookshelf/books/800.pdf>.

[19]Timofeev, Valery. 2012. ITU. <http://www.itu.int/>. [Online] 2012. [Dátum: 2. Máj 2014.] http://www.itu.int/dms_pub/itu-r/oth/0C/04/R0C040000070001PDFE.pdf.

[20]SC-186, RTCA. *Minimum Operational Performance Standards for 1090 MHz Extended Squitter Automatic Dependent Surveillance – Broadcast (ADS-B) and Traffic Information Services – Broadcast (TIS-B)*. Washington, DC : RTCA.

[21]Henriksen, Steve. 2008. <http://ntrs.nasa.gov/>. <http://ntrs.nasa.gov/>. [Online] NASA, Február 2008. [Dátum: 27. Marec 2014.] <http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20080010686.pdf>.

[22]Filip Matejko, Ing. Stanislav Ďurčo, PhD. 2012. *Možnosti využitia senzorov založených na špecifických magnetických vlastnostiach mikrodrôtov pri určení smeru letu a polohy lietadla*. Košice : Technická Univerzita v Košiciach, Letecká Fakulta, 2012.

[23]Shea, Eric J. 2002. *AIR SURVEILLANCE FOR SMART LANDING FACILITIES IN THE SMALL TRANSPORTATION SYSTEM*. Blacksburg : Faculty of Virginia Polytechnic Institute and State University, 2002.

[24]S.B. Hottman, K.R. Hansen, and M. Berry. 2009. *Literature Review on Detect, Sense, and Avoid Technology for Unmanned Aircraft Systems*. Washington, DC : U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration, 2009.

[25]Mark Contarino, PhD. 2009. *All Weather S&A for UAS*. s.l. : LLC, 2009.
Mykel J. Kochenderfer, Jessica E. Holland, and James P. Chryssanthacopoulos. 2012. *Next-Generation Airborne Collision Avoidance System*. s.l. : Lincoln Laboratory Journal, 2012.

- [26] **Mykel J. Kochenderfer, Jessica E. Holland, and James P. Chryssanthacopoulos.** *Next-Generation Airborne Collision Avoidance System*. *Lincoln Laboratory Journal* [Online] 2012. [Dátum: 5. Máj 2014.]
- [27] **Y. K. Chan, V. C. Koo.** 2008. AN INTRODUCTION TO SYNTHETIC APERTURE. <http://www.jpier.org/>. [Online] 2008. [Dátum: 1. Máj 2014.] <http://www.jpier.org/PIERB/pierb02/03.07110101.pdf>.
- [28] **Fouche, Michael E. O'Brien and Daniel G.** 2006. Simulation of 3D Laser . <http://www.ll.mit.edu/>. [Online] 2006. [Dátum: 5. Máj 2014.] http://www.ll.mit.edu/publications/journal/pdf/vol15_no1/15_1simulation.pdf.
- [29] **Christopher Geyer, Debadeepta Dey, Sanjiv Singh.** 2009. *Prototype Sense-and-Avoid System for UAVs*. Pittsburgh : Carnegie Mellon University, 2009.
- [30] **FLIR Systems, Inc.** 2014. FLIR. *FLIR*. [Online] FLIR, 2014. [Dátum: 21. Máj 2014.] <http://www.flir.com/>.

ZOZNAM PRÍLOH

A Príloha – špecifikácie VUT 700 Specto

Základné parametre:

- Vzletová hmotnosť MToW 20 kg
- Rameno chvostových plôch Avop = 1,31 m
- Sklon vztlakovej čiary CL= 5,02 deg⁻¹
- Výkon motora PPJ = 3,83kW
- Cestovná rýchlosť vC = 120 km/h
- Pádová rýchlosť vS = 46,5km/h
- Maximálna rýchlosť vNE = 250,6 km/h

Parametre krídla:

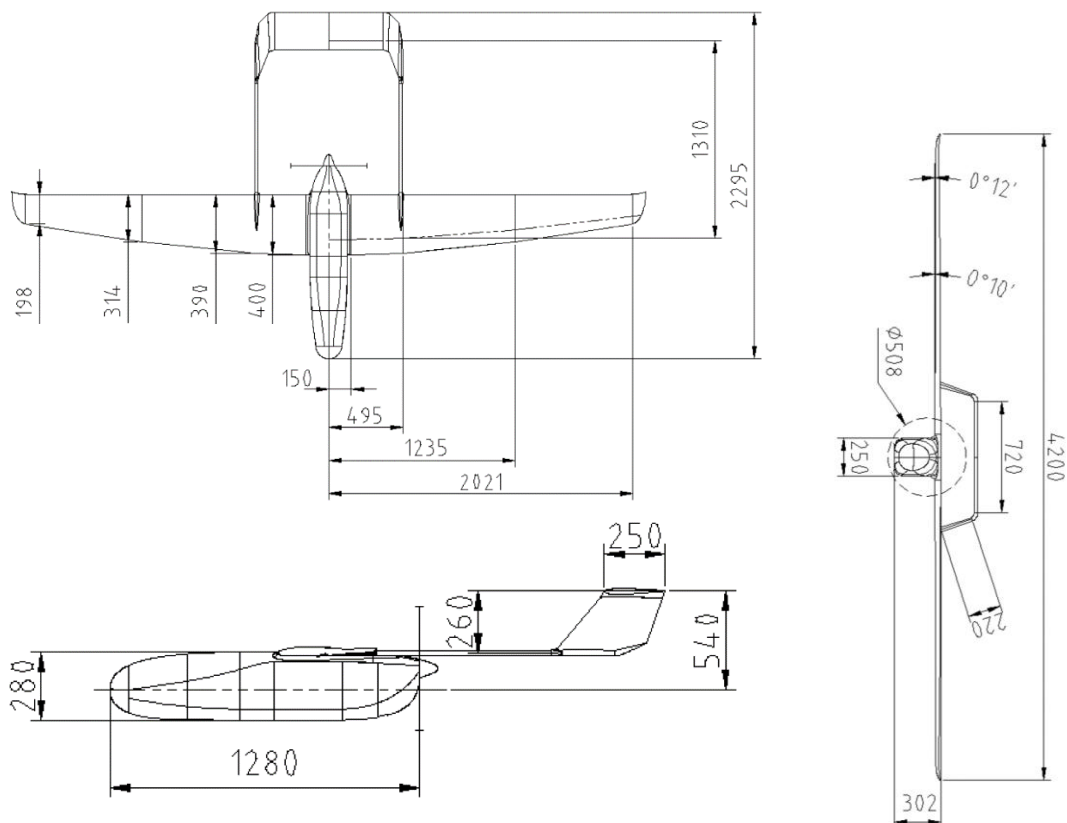
- Plocha krídla SK = 1,6 m²
- Rozpätie krídel b = 4200 mm
- Maximálny súčiniteľ vztlaku krídla (zasunuté klapky) CLmax = 1,2
- Max. súčiniteľ vztlaku krídla (vysunuté klapky) CLmax = 1,4715
- Sklon vztlakovej čiary krídla CLk = 5,209 deg⁻¹
- Dĺžka strednej aerodynamickej tetivy cSAT = 337 mm

Klapky:

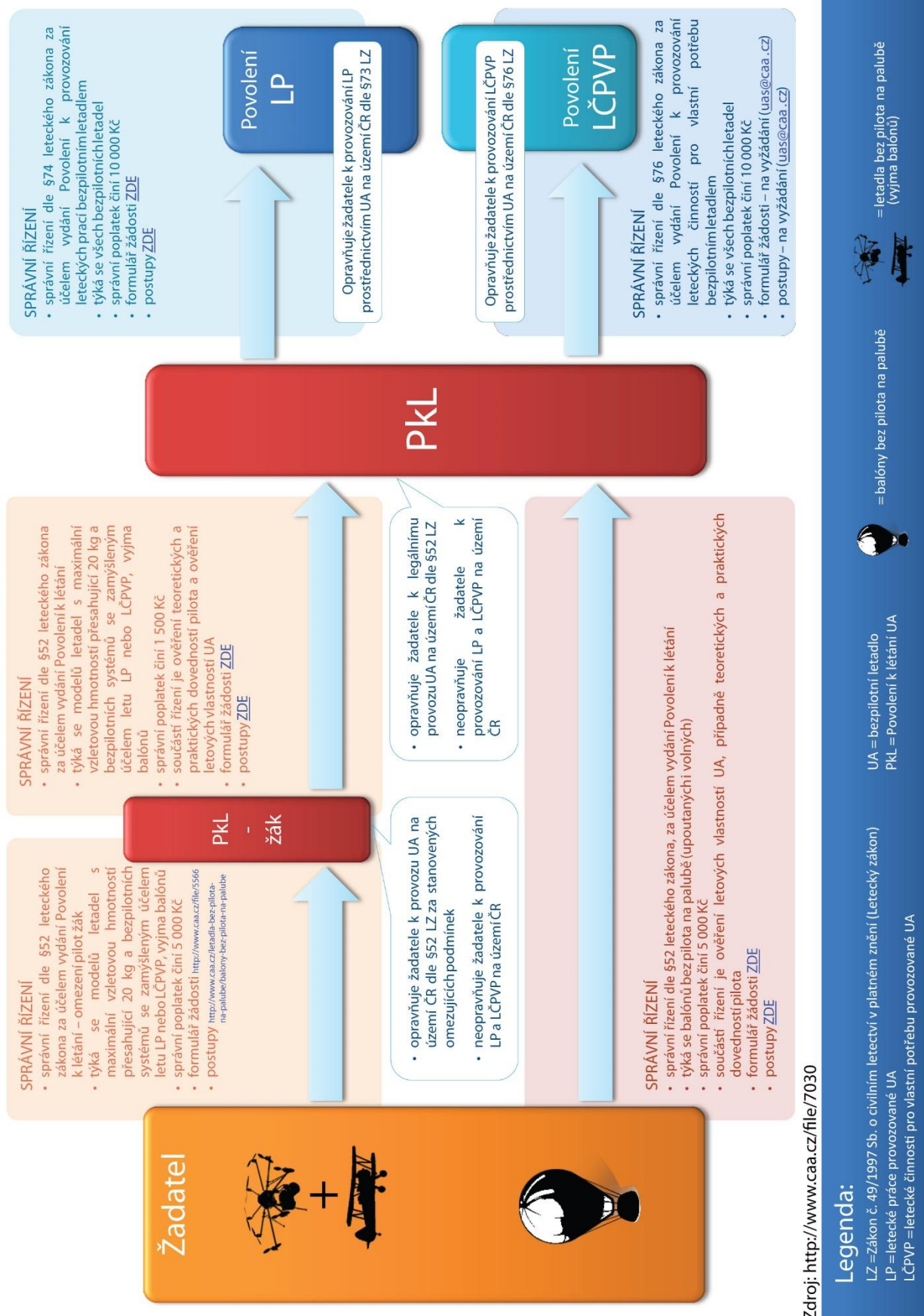
- Hĺbka klapiek hkl = 12,5 %c
- Max. výchylka klapiek δkl = +15°

Krídeltká:

- Hĺbka krídelka hkr = 12,5 %c
- Max. výchylka krídelok hore δkr-hore = -14 °
- Max. výchylka krídelok dole δkr-dole +9 °



PROCESNÍ SCHÉMA VYDÁVÁNÍ POVOLENÍ K LETECKÝM ČINNOSTEM PROVÁDĚNÝM BEZPILOTNÍMI LETADLY



C Příloha – Zoznam UAS registrovaných v ČR



LVV - Letecké veřejné vystoupení
RSL - Rekreační a sportovní létání
VEV - Výzkumné, experimentální a vědecké účely
LP - Letecké práce
LČPVP - Letecké činnosti pro vlastní potřebu

Úřad pro civilní letectví

Seznam evidovaných bezpilotních letadel

Aktualizováno dne: 23. 4. 2014

Kategorie	Typ / Označení	Poznávací značka	Držitel Povolení	Deklarovaný účel	Povolení k létání platné do	Omezení	Poznámka
Balón B3 plynový	Meteorologický balón	OK-X001B	ČHMÚ	meteo. účely	10.5.2014	Kinetická energie při dopadu užitečného zatížení nesmí překročit 33,9 J	Provoz v souladu s AIP ENR 5.3 - 1
Pozemní letoun	Optoelektron	OK-X001H	VTÚLaPVO	VEV	15.5.2014	Omezení pouze na provoz v dohledu pilota Zákaz využití automatického režimu	
Pozemní letoun	Cessna 150 Aerobat	OK-X001L	Petr Henčl	RSL	28.5.2014	omezení žák; viz povolení	Zákaz účasti na LVV; Zvýšené limity dle ust. čl. 16 g) i/ii/iii, Doplnku X, L2 v hodnotách 75m/150m/250m
Pozemní letoun	Zlín Z-142	OK-X001C	Miroslav Tuček	RSL	7.6.2014	viz povolení	
Pozemní letoun	Piper J-3 (NC-4251)	OK-X001D	Miroslav Nedorost	RSL	7.6.2014	viz povolení	
Kluzák	Kirby kite	OK-X001E	Miroslav Nedorost	RSL	7.6.2014	viz povolení	
Pozemní letoun	Sky master F9F Cougar	OK-X001M	Radek Suk	RSL	7.6.2014	viz povolení	
Pozemní letoun	Jak-12 A	OK-X001K	Rudolf Helmer	RSL	10.6.2014	viz povolení	
Kluzák	Tulák	OK-X001F	Luděk Demczak	RSL	11.6.2014	viz povolení	
Pozemní letoun	Piper PA-18	OK-X001G	Luděk Demczak	RSL	11.6.2014	viz povolení	
Pozemní vrtulník - hexakoptéra	DJI S 800	OK-X002I	VERTIKAL s.r.o.	LP	8.7.2014	viz povolení	není povoleno provádění LP
Pozemní vrtulník - hexakoptéra	Helicam kopter	OK-X002E	Bc. David Šachl	LP	10.7.2014	viz povolení	není povoleno provádění LP
Balón B6	Balón B6	OK-X003Q	ENVIRTA CZ s.r.o.	meteo. účely	31.7.2014	viz povolení	
Pozemní vrtulník - hexakoptéra	DJI S800	OK-X002V	Miroslav Rusiňák s.r.o.	LP	7.8.2014	viz povolení	není povoleno provádění LP
Letoun - deltakřídlo	Delta křídlo	OK-X002R	Aerodata s.r.o.	LP	8.8.2014	viz povolení	není povoleno provádění LP
Pozemní letoun	L-39 Albatros	OK-X001I	Zdeněk Hůlka	RSL	14.8.2014	viz povolení	
Pozemní letoun	Zlín Z-50LS	OK-X001J	Zdeněk Hůlka	RSL	14.8.2014	viz povolení	
Pozemní letoun	Bellanca Super Decathlon	OK-X003G	Ing. Jindřich Muška CSc.	RSL	21.10.2015	omezení žák; viz povolení	Zákaz účasti na LVV; Zvýšené limity dle ust. čl. 16 g) i/ii/iii, Doplnku X, L2 v hodnotách 75m/150m/250m
Pozemní letoun	BIVOL	OK-X002X	Miloš Svoboda	RSL	18.11.2015	viz povolení	
Balón B2	volný balón	OK-X003M	ČVUT v Praze, FBMI	RSL	17.12.2015	viz povolení	

Pokračovanie na ďalšej strane

Kategorie	Typ / Označení	Poznávací značka	Držitel Povolení	Deklarovaný účel	Povolení k létání platné do	Omezení	Poznámka
Kluzák	Fafnir	OK-X001N	Jindřich Stejskal	RSL	14.8.2014	viz povolení	
Pozemní letoun	FI 156 Storch	OK-X001R	Jaroslav Vévoda	RSL	28.8.2014	viz povolení	
Pozemní letoun	HAES 400 V1.6 / EL	OK-X002H	evolving systems consulting s.r.o.	LP, LČPVP	29.8.2014	omezení žák; viz povolení	není povoleno provádění LP / LČPVP
Pozemní vrtulník - oktokopty	OKTOKOPTER	OK-X002B	Filip Brázdil	LP, LČPVP	29.8.2014	viz povolení	není povoleno provádění LP / LČPVP
Pozemní vrtulník - hexakoptéra	DJI S 800	OK-X002G	Tomáš Eder	LP, LČPVP	1.9.2014	viz povolení	není povoleno provádění LP / LČPVP
Pozemní letoun	Challenger II	OK-X001Q	Tomáš Dvořák	RSL	6.9.2014	viz povolení	
Pozemní letoun	Me 109 G	OK-X001S	Josef Kreidl	RSL	6.9.2014	viz povolení	
Pozemní letoun	F 4U 1 Corsair	OK-X001T	Josef Kreidl	RSL	6.9.2014	viz povolení	
Pozemní letoun	Sokol	OK-X002L	VTÚLaPVO	VEV	6.10.2014	omezení žák; viz povolení	
Pozemní vrtulník	CUBE-Y6	OK-X002M	VTÚLaPVO	VEV	6.10.2014	omezení žák; viz povolení	
Pozemní vrtulník - hexakoptéra	MK Hexa XL	OK-X003A	VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ	LP, LČPVP	7.10.2014	omezení žák; viz povolení	není povoleno provádění LP / LČPVP
Pozemní vrtulník - oktokopty	GeoCopter	OK-X002A	GEODIS spol. s r.o.	LP	30.10.2014	viz povolení	není povoleno provádění LP
Pozemní vrtulník - oktokopty	MK-OktoXL	OK-X002F	Jiří Brož - A-net Liberec s.r.o.	LP, LČPVP	3.11.2014	viz povolení	není povoleno provádění LP / LČPVP
Pozemní vrtulník - oktokopty	Cinestar 8	OK-X002K	Šimon Nosek	LP	4.12.2014	viz povolení	není povoleno provádění LP
Pozemní vrtulník - kvadrokoptéra	DJI Phantom	OK-X002P	Petr Rathouský	LP	4.12.2014	viz povolení	není povoleno provádění LP
Pozemní letoun	Manta 2	OK-X003C	VTÚLaPVO	VEV	6.1.2015	omezení žák; viz povolení	
Pozemní vrtulník - hexakoptéra	PHOTOCOPTER	OK-X001U	Jiří Pištěk	LP	18.2.2015	viz povolení	není povoleno provádění LP
Pozemní letoun	MAVinci	OK-X003N	UpVision s.r.o.	LP	24.2.2015	omezení žák; viz povolení	není povoleno provádění LP
Pozemní vrtulník - kvadrokoptéra	Microdrones md4-200	OK-X001X	Techniserv spol. s r. o.	LČPVP	3.3.2015	viz povolení	není povoleno provádění LČPVP
Pozemní vrtulník - hexakoptéra	DJI F550	OK-X002S	Martin Hrazdírka	LČPVP	5.3.2015	omezení žák; viz povolení	není povoleno provádění LČPVP

Pokračovanie na ďalšej strane

Kategorie	Typ / Označení	Poznávací značka	Držitel Povolení	Deklarova- ný účel	Povolení k létání platné do	Omezení	Poznámka
Pozem ní vrtulník - hexakoptéra	GEODRONE C6	OK-X003E	UpVision s.r.o.	LP	9.3.2015	viz povolení	není povoleno provádění LP
Pozem ní vrtulník - hexakoptéra	HexaFly	OK-X003D	První letecká internetová škola, s.r.o.	LP	17.3.2015	viz povolení	
Pozem ní vrtulník - hexakoptéra	DJI S 800	OK-X003H	Jiří Kadala	LP, LČPVP	2.4.2015	viz povolení	není povoleno provádění LP / LČPVP
Pozem ní vrtulník - hexakoptéra	DJI S 800	OK-X003L	Mendelova univerzita v Brně	LČPVP	6.4.2015	omezení žák; viz povolení	není povoleno provádění LČPVP
Pozem ní vrtulník - hexakoptéra	Robodrone Kingfisher	OK-X003X	Robodrone Industries s.r.o.	LP	7.4.2015	omezení žák; viz povolení	není povoleno provádění LP
Pozem ní letoun	Easy UAV	OK-X002C	G4D s.r.o.	LP	21.4.2015	viz povolení	není povoleno provádění LP
Pozem ní vrtulník - hexakoptéra	Hexacopter	OK-X002D	G4D s.r.o.	LP	21.4.2015	viz povolení	není povoleno provádění LP
Kluzák	Hols der Teufel	OK-X001O	Luděk Demczak	RSL	1.5.2015	viz povolení	
Pozem ní letoun	Zeppelin Staaken R.V.	OK-X002J	Miroslav Horsák	RSL	20.6.2015	viz povolení	
Pozem ní vrtulník	Mi-24 Hind	OK-X002O	Kamil Šim on	RSL	20.6.2015	viz povolení	

D Príloha – Zoznam parametrov najznámejších UAS

UAV	Weight (kg)	Payload (kg)	Endurance (hr)	Range (km)	Ceiling (m)	Speed (km/h)	Wing Span (m)	Wing Loading (kg/m ²)	Engine	Power(kW)	Cost
Pioneer	125	64	5	373	4,572	175	5	34	two-stroke	22	\$ 650,000.00
Predator	1,020	600	20	740	7,920	217	15	89	piston engine	78	\$ 1,700,000.00
Global Hawk	11,600	900	30	22,000	20,000	636	35	199	turbofan		\$ 20,000,000.00
Darkstar	3,900	454	12	925	19,800	464	21	74	turbofan		
Hunter	800	226	15	200	6,100	222	7	152	push and pull diesel		\$ 1,200,000.00
Outrider	227	50	3	200	4,570	203	4	72	UEL Rotary	31	
Shadow	149	75	5	125	4,270	204	4	79	UEL Rotary	28	\$ 325,000.00
Fire Scout	1,159	90	6	400	6,086	231	9	69	rolls royce allison	315	\$ 1,800,000.00
Predator B	4,500	3,000	24	1,500	15,200	405	20	83	turboprop	670	
Neptune	36	10	4	75	2,440	156	2	74	2-stroke piston	11	
Dragon Drone	41	11	3	148	3,048	160	2	22	piston engine		
LEWIK	364	91	8	1,600	4,572	278	5	117	puller prop		
Finder	26	6	10	648	4,570	70	3	28	Piston		
Dragon Eye	2	0	1	5	305	65	1	5	Twin Electric motors		\$ 35,000.00
FPASS (Desert Hawk)	3	1	1	10	300	92	1	18	Electric Motor		
A 160	818	136	30	4,625	9,144	225	11	18	piston engine	300	
SilentEyes	5	2	0	122	7,620		1	93			
Dragon Warrior	91	11	1	90	5,486	185	3	66	Twin Electric	29	
GNAT	516	63	40	4,818	8,000	130	11	74	Rotax Piston	60	
Silver Fox	12	0	9	41	3,657	203	2	34	1-cylinder		
Heron	1,087	227	40	3,300	10,000	207	17	70	4 stroke turbo	115	
Phoenix	177	50	4	100	2,700	155	6	32	waa 342	19	
RPO Midjet	45	20	4	100		150	2		Two Stroke	11	
Pointer	4		1	2	300	73	3	6	electric motor	0	
X-45	3,636	681	3	920	10,668	950	10	79	Honeywell		
X-50	811	91	4	400	3,048	741	4	212	Turbofan		
Creaserelle	120	35	6	59	3,353	246	3	9	Piston	20	
Raven	84	17	4	100	4,267	204	3	57	Electric	10	\$ 250,000.00
Luna	40	10	4	80	4,000	160	4	40	Electric Motor	5	
Spewer	350	45	5	193	5,182	256	4	146	pusher prop	53	\$ 3,000,000.00
Seeker	255	50	12	200	4,877	222	7	29	Piston		
Shadow 600	273	41	14	200	4,877	190	7	88	Rotary	39	
Brevel	150		4	80	3,962	150			1-piston	16	
Cypher	136	20	3	30	1,524	148			rotary piston	39	
Javelin	9	1	1			101			electric		