



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

LETECKÝ ÚSTAV

INSTITUTE OF AEROSPACE ENGINEERING

NÁVRH POSTUPŮ A SYSTÉMU ÚDRŽBY PRO KOMERČNÍ PROVOZ BEZPILOTNÍCH LETADEL VYCHÁZEJÍCÍ ZE SROVNÁNÍ SE SYSTÉMEM ÚDRŽBY LETOUNŮ V KOMERČNÍM PROVOZU (SEP, SP)

DESIGN OF THE PROCEDURES AND MAINTENANCE SYSTEM FOR THE COMMERCIAL
OPERATION OF UNMANNED AIRCRAFT BASED ON A COMPARISON WITH THE SYSTEM OF
MAINTENANCE OF AIRCRAFT IN COMMERCIAL OPERATION (SEP, SP)

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Viktor Barus

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

JUDr. Jaromír Hammer

BRNO 2020

Zadání bakalářské práce

Ústav: Letecký ústav
Student: **Viktor Barus**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Profesionální pilot
Vedoucí práce: **JUDr. Jaromír Hammer**
Akademický rok: 2019/20

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 bakalářské práce:

Návrh postupů a systému údržby pro komerční provoz bezpilotních letadel vycházející ze srovnání se systémem údržby letounů v komerčním provozu (SEP, SP)

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Letadlová technika provozovaná pro civilní účely, podléhá jasně definovaným legislativním a předpisovým pravidlům a požadavkům v oblasti zachování letové způsobilosti, vyžadujícím uplatňování stanovených postupů údržby. Analogicky jsou kladeny obdobné požadavky na provozovanou techniku v kategorii bezpilotních letadel.

Cíle bakalářské práce:

Cílem je navrhnout obecné zásady a principy systému údržby bezpilotních letadel provozovaných danou organizací, založeného na postupech uplatňovaných v provozu letounů civilního letectví (kategorií SEP, SP).

Seznam doporučené literatury:

Předpis L2 (2016): Pravidla létání L2, Praha MD ČR LIS

Předpis L6/II (2016): Provoz letadel L6/II, Praha MD ČR LIS

Předpis L8 (2013): Letová způsobilost letadel L8, Praha MD ČR LIS

KARAS, J., TICHÝ, T.: Drony, Computer Press, Brno 2016, ISBN 978-80-251-4680-4

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Jaroslav Juračka, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Letectvo sa dostáva do novej éry. Bezpilotné systémy sa čím viac zapájajú do komerčnej sféry civilného letectva a vytvárajú nové výzvy.

Táto rešeršná bakalárska práca sa zaoberá problematikou bezpilotných lietadiel a ich údržbou. Prvá kapitola tejto práce vysvetľuje ciele, dôležité pojmy a skratky. Druhá kapitola sa zameriava na bezpilotné letecké systémy (UAS), sumarizuje ich históriu, rozdelenie do jednotlivých kategórií a predpisy. V tretej kapitole je stručne vysvetlená údržba lietadiel a posledná kapitola práce predkladá postupy údržby aplikované na bezpilotné systémy v komerčnej prevádzke.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

Bezpilotné lietadlá, UAS, letectvo, dron, údržba, komerčná prevádzka

ABSTRACT

Aviation is entering a new era. Unmanned systems are increasingly more involved in the commercial sector of civil aviation and they are creating new challenges.

This bachelor's thesis deals with unmanned aircraft and their maintenance.

The first chapter of the thesis describes goals, important terms and abbreviations. The second chapter focuses on unmanned aircraft systems (UAS), summarizing their history, categorization and rules. The third chapter briefly explains the maintenance of aircraft and the last chapter presents the maintenance procedures applied to unmanned systems in commercial operation.

KEY WORDS

Unmanned aircraft, UAS, aviation, drone, maintenance, commercial operation

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

BARUS, Viktor. *Návrh postupů a systému údržby pro komerční provoz bezpilotních letadel vycházející ze srovnání se systémem údržby letounů v komerčním provozu (SEP, SP)*. Brno, 2020. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/125191>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Letecký ústav. Vedoucí práce JUDr. Jaromír Hammer.

ČESTNÉ PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že som svoju záverečnú prácu vypracoval samostatne pod vedením JUDr. Jaromíra Hammera, s použitím odbornej literatúry a zdrojov uvedených v zozname.

V Brne dňa 25.06.2020

.....
Viktor Barus

POĎAKOVANIE

Ďakujem JUDr. Jaromírovi Hammerovi za vedenie bakalárskej práce, za všetky cenné rady a pripomienky. Ďalej ďakujem všetkým vysokoškolským učiteľom z VUT FSI, ktorí ma učili, za odborné vedomosti a príjemný prístup. Rovnako ďakujem svojim najbližším za podporu.

OBSAH

1. ÚVOD	14
1.1 DÔLEŽITÉ POJMY A SKRATKY.....	15
2. BEZPILOTNÉ SYSTÉMY	18
2.1 HISTÓRIA, SÚČASNOSŤ A BUDÚCNOSŤ UAS	18
2.2 ROZDELENIE UAS	22
2.3 LEGISLATÍVA.....	26
3. ÚDRŽBA	29
3.1 HISTÓRIA ÚDRŽBY LIETADIEL	29
3.2 METÓDY ÚDRŽBY LETECKEJ TECHNIKY	32
3.3 PROGRAM ÚDRŽBY (KATEGÓRIA LIETADIEL SEP, SP)	36
4. ÚDRŽBA BEZPILOTNÝCH LIETADIEL	37
4.1 NÁVRH POSTUPOV A SYSTÉMU ÚDRŽBY PRE BEZPILOTNÉ LIETADLO PIPISTREL SURVEYOR	38
ZÁVER	46
ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV	47
ZOZNAM OBRÁZKOV A TABULIEK	51
ZOZNAM SKRATIEK A SYMBOLOV	52
PRÍLOHY	55
PRÍLOHA A – PŘEDPIS L2 DOPLNĚK X.....	55
PRÍLOHA B – PROGRAM ÚDRŽBY Z NARIADENIA (EÚ) Č. 1321/2014	56

1. ÚVOD

Lectvo bolo vždy spojené s inováciami a bezpečnosťou. Štvrtá priemyselná revolúcia nesie so sebou pre lectvo viaceré výzvy. Jednou z nich je implementácia bezpilotných systémov (UAS) do leteckej prevádzky pri zachovaní vysokej miery bezpečnosti. Základy bezpečnosti tvoria vhodne zvolené postupy, z ktorých sú veľmi dôležité postupy údržby. V tejto práci nájdete logicky usporiadané informácie o bezpilotných systémoch a ich údržbe.

Bezpilotné letecké systémy, známe ako drony, boli dlhé roky vyvíjané a používané hlavne armádou. Až začiatkom 21. storočia sa dostali UAS do civilnej sféry, vďaka uvoľneniu technológií a pravidiel. To spôsobilo, že trh bezpilotných lietadiel je najrýchlejšie rastúcim zo všetkých kategórií letectva. Rýchly rast je spôsobený cenovou dostupnosťou, relatívne jednoduchou ovládateľnosťou civilných UAS a ich širokou škálou pôsobnosti. UAS sa používajú na rôzne druhy podnikania (napr. letecké fotografovanie, filmovanie, doručovanie), na monitorovanie štátnych hraníc a chránených oblastí, na výskum a vo veľkej miere na nekomerčné osobné účely (napr. rekreačné lietanie). Veľké spoločnosti leteckého priemyslu ako Boeing, Airbus či Honeywell, ale tiež iné spoločnosti ako napríklad Uber v spolupráci s automobilkou Hyundai pracujú na bezpilotných lietadlách, ktoré by mali v budúcnosti prepravovať ľudí, hlavne vo veľkomestách v rámci tzv. UAM (Urban Air Mobility). Očakáva sa, že pole pôsobnosti UAS bude narastať, čo významne prispeje k modernizácii dopravy a k zníženiu uhlíkovej stopy. Podobne ako to bolo pri prvej priemyselnej revolúcii (parná energia), druhej (elektrická energia) a tretej (informačné technológie), tak sa bude meniť infraštruktúra a legislatíva aj pri nastávajúcej štvrtej priemyselnej revolúcii poháňanej novými objavmi, akými sú napr. umelá inteligencia alebo nanotechnológie. Napriek rozmachu UAS a potenciálnemu uzemneniu pilotov, ako sa už z časti stalo v armádnom sektore, údržba bude hrať naďalej významnú úlohu v zabezpečovaní prevádzkyschopnosti lietadiel.

Hlavným cieľom bakalárskej práce je návrh postupov a systému údržby pre komerčnú prevádzku konkrétneho bezpilotného lietadla. Vedľajšími cieľmi sú zhrnutie dostupných informácií a oboznámenie čitateľa s bezpilotnými systémami a leteckou údržbou.

V prvej kapitole nájdete okrem úvodu, vysvetlené dôležité pojmy a skratky.

Druhá kapitola sa zameriava na historický prehľad a kategorizáciu bezpilotných lietadiel a zhŕňa platné predpisy pre prevádzku UAS.

Tretia kapitola sa zaoberá prehľadom údržby lietadiel so zameraním na jednomotorové letúny.

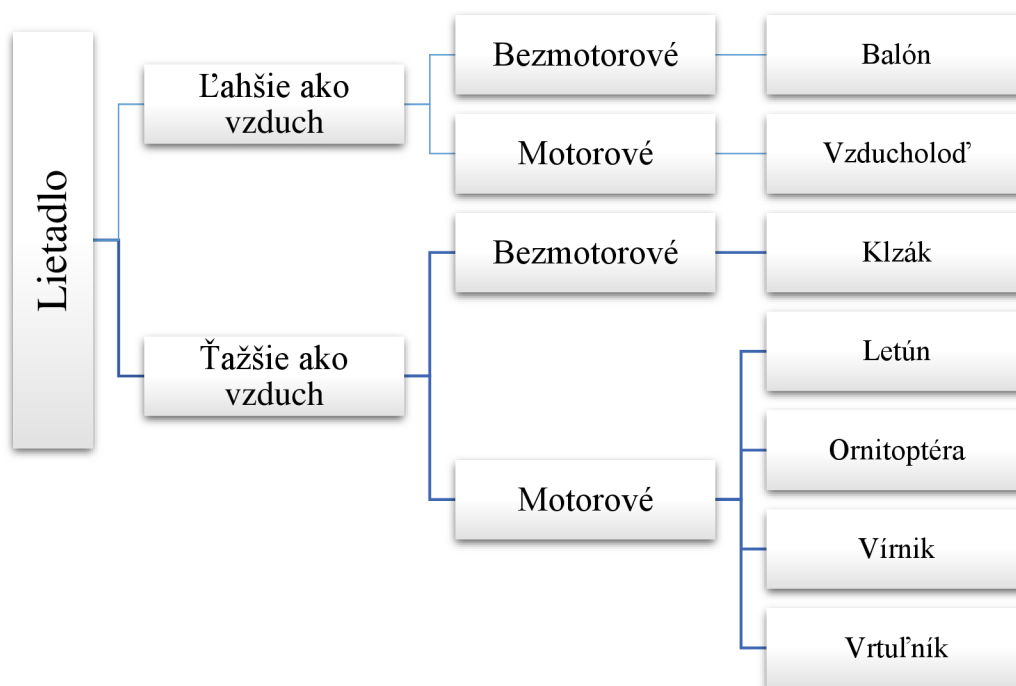
Štvrtá kapitola predstavuje návrh postupov a systému údržby pre bezpilotné systémy.

1.1 DÔLEŽITÉ POJMY A SKRATKY

Bezpilotné lietadlá a problematika, ktorou sa zaoberá táto práca sú spojené s viacerými pojmami a skratkami. Pre ich objasnenie slúži táto kapitola. Informácie som čerpal z [4], [9], [10], [11], [12], [13]. Súhrnný prehľad všetkých použitých skratiek nájdete na str. 52 v zozname skratiek a symbolov.

Lietadlo (Aircraft)

Zariadenie schopné pohybu v atmosfére následkom reakcií iných, ako sú reakcie vzduchu voči zemskému povrchu. V tabuľke 1.1 nájdete názorné základné rozdelenie lietadiel, ktoré platí aj pre bezpilotné lietadlá.



Tab. 1.1 Základné delenie lietadiel [13]

Aerostat (Aerostat)

Lietadlo ľahšie ako vzduch. Vztlak potrebný na let vyvíjajú aerostatické sily obklopujúceho ovzdušia (balón, vzducholod'). [7]

Aerodyn (Aerodyne)

Lietadlo ťažšie ako vzduch. Vztlak potrebný na let vzduchom sa získava pohybom nosnej plochy s vhodným aerodynamickým profilom. Nosná plocha je vzhľadom na trup lietadla nepohyblivá (letún) alebo pohyblivá (vrtuľník, vírník, ornitoptéra). [8]

Táto bakalárska práca sa primárne zameriava na motorové lietadlá ťažšie ako vzduch, špecificky na kategóriu letúne; ich definícia je nasledovná:

Letún (Aeroplane)

Motorové lietadlo ťažšie ako vzduch, ktorého vztlak potrebný na let vzniká pôsobením aerodynamických síl na nosné plochy, pričom tieto plochy zostávajú pri danej konfigurácii voči lietadlu nepohyblivé.

Takzvané drony sú v odbornej literatúre označované rôznymi skratkami, avšak s dobou sa ich definície a používanie mení, preto sa v tomto dokumente používa hlavne skratka UAS, ktorú aplikuje aj najnovšia legislatíva Európskej únie a pripravované právne dokumenty Medzinárodnej organizácie pre civilné letectvo (ICAO).

Bezpilotný systém – UAS (Unmanned Aircraft System)

Systém zložený z bezpilotného lietadla, riadiacej stanice a akéhokoľvek ďalšieho prvku nevyhnutného k umožneniu letu (napr. komunikačné spojenie alebo zariadenie pre vypúšťanie a návrat). Podľa EASA termín UAS nahrádza dnes už nepoužívaný termín UAV (Unmanned Aircraft Vehicles) a považuje sa za najvšeobecnejší pojem. Taktiež pomenovanie Dron používané širokou verejnosťou je ekvivalentné s odborným pojmom UAS. [3]

Bezpilotné lietadlo – UA (Unmanned Aircraft)

Jedná sa o všeobecný termín, ktorý popisuje všetky lietadlá určené k prevádzke bez pilota na palube. Radíme k nim autonómne lietadlá, diaľkovo riadené lietadlá alebo modely lietadiel.

Autonómne lietadlo (Autonomous aircraft)

Lietadlo spôsobilé lietať bez pilota, vybavené nezávislým systémom riadenia, ktorý neumožňuje zásah do riadenia letu osobou, ktorá ovláda autonómne lietadlo.

Diaľkovo riadené lietadlo – RPA (Remotely Piloted Aircraft)

Lietadlo spôsobilé lietať bez pilota a riadené osobou, ktorá ovláda diaľkovo riadené lietadlo z riadiacej stanice, ktorá nie je umiestnená na palube tohto lietadla. Zjednodušene UA riadené z diaľkovej riadiacej stanice. Všetky lietadlá z Tabuľky 1.1 môžu byť diaľkovo riadené.

Model lietadla (Model aircraft)

Lietadlo spôsobilé lietať bez pilota s motorom alebo bez neho, určené na letecký šport, rekreačné lietanie alebo súťažné účely a ktoré nie je vybavené zariadením umožňujúcim automatický let na určené miesto; v prípade voľného modelu nie je diaľkovo riadené iným spôsobom, ako za účelom ukončenia letu.

Dátové spojenie na riadenie a kontrolu letu – C2 link (command and control link)

Dátové spojenie medzi diaľkovo riadeným lietadlom alebo modelom lietadla a riadiacou stanicou na účel vykonania letu.

Systém diaľkovo riadeného lietadla – RPAS (Remotely Piloted Aircraft System)

Systém pozostávajúci z diaľkovo riadeného lietadla (RPA), riadiacej stanice (RPS) a akéhokoľvek iného prvku potrebného na vykonanie letu, najmä dátového spojenia na riadenie a kontrolu letu (C2 link), komunikačného spojenia a systémov a prvkov na vykonanie letu. Pojem RPAS tiež spadá pod UAS.

Prevádzka s priamym vizuálnym kontaktom – VLOS (Visual Line Of Sight operation)

Typ prevádzky UAS, v rámci ktorej je pilot na diaľku schopný bez použitia vizuálnych pomôcok iných, ako sú dioptrické okuliare alebo kontaktné šošovky udržiavať nepretržitý vizuálny kontakt s bezpilotným lietadlom a ktorá pilotovi na diaľku umožňuje ovládať dráhu letu bezpilotného lietadla vo vzťahu k iným lietadlám, ľuďom a prekážkam s cieľom vyhnúť sa zrážke.

Prevádzka mimo priameho vizuálneho kontaktu – BVLOS (Beyond Visual Line Of Sight operation)

Typ prevádzky UAS, ktorá sa nevykonáva v podmienkach VLOS.

Maximálna vzletová hmotnosť – MTOM (Maximum Take-Off Mass)

Maximálna hmotnosť bezpilotného lietadla vrátane užitočného zaťaženia a paliva podľa vymedzenia výrobcu alebo konštruktéra, pri ktorej možno prevádzkovať bezpilotné lietadlo.

Údržba (Maintenance)

Znamená jednu z týchto činností alebo kombináciu týchto činností: generálna oprava, oprava, prehliadka, výmena, modifikácia alebo odstránenie porúch lietadla alebo komponentu s výnimkou predletovej prehliadky. [21]

Predletová prehliadka (Pre-flight inspection)

Znamená prehliadku vykonanú pred letom, aby bolo zabezpečené, že lietadlo je spôsobilé na plánovaný let. [21]

Porucha (Failure)

Je to jav, ktorý spočíva v ukončení schopností objektu plniť dané funkcie.

Spol'ahlivosť (Dependability)

Je to súhrnný pojem vlastností objektu, ktorý sa používa pre popis činiteľov ovplyvňujúcich spol'ahlivosť: bezporuchovosť, zaistenie údržby a udržiavateľnosť.

Bezporuchovosť (Reliability)

Schopnosť objektu plniť požadovanú funkciu v určitom časovom intervale a v určitých podmienkach.

Zaistenie údržby (Maintenance Support)

Definuje sa ako schopnosť organizácie (ktorá poskytuje údržbové služby) zaistiť prostriedky, ktoré sú potrebné pre údržbu podľa jej koncepcie.

Udržiavateľnosť (Maintainability)

Je definovaná ako schopnosť objektu za určitých podmienkach zostať alebo sa vrátiť do stavu, v ktorom plní požadované funkcie.

Životnosť (Durability)

Schopnosť daného objektu plniť svoju požadovanú funkciu až do dosiahnutia medzného stavu.

Prevádzka (Operating State)

Objekt v tomto stave plní svoju požadovanú funkciu.

Prestoj (Non-Operating State)

Objekt v tomto stave neplní svoju požadovanú funkciu.

Poruchový stav (Fault)

Je to stav objektu, ktorý je charakteristický neschopnosťou objektu plniť svoju funkciu.

Preventívna údržba (Preventive Maintenance)

Je to druh údržby, ktorá je vykonávaná v dopredu naplánovaných časových intervaloch, alebo je vykonávaná podľa predpísaných kritérií, zameriava sa na degradáciu materiálu.

Plánovaná údržba (Scheduled Maintenance)

Jedná sa o druh preventívnej údržby, ktorá je vykonávaná podľa dopredu staveného časového harmonogramu údržby.

Neplánovaná údržba (Unscheduled Maintenance)

Je to údržba, ktorá sa vykonáva až po zistení stavu objektu, neriadi sa podľa dopredu daného časového plánu.

Údržba po poruche (Corrective Maintenance)

Údržba, ktorá je vykonávaná po zistení poruchového stavu objektu, dáva objekt do stavu, v ktorom bol pred poruchou a v ktorom môže naplňať svoje funkcie.

Vyššie uvedené pojmy ohľadom stavu a údržby vychádzajú z [42]. Viac o údržbe nájdete v 3. kapitole. Najskôr sa ale oboznámme s bezpilotnými systémami, k čomu slúži nasledujúca druhá kapitola.

2. BEZPILOTNÉ SYSTÉMY

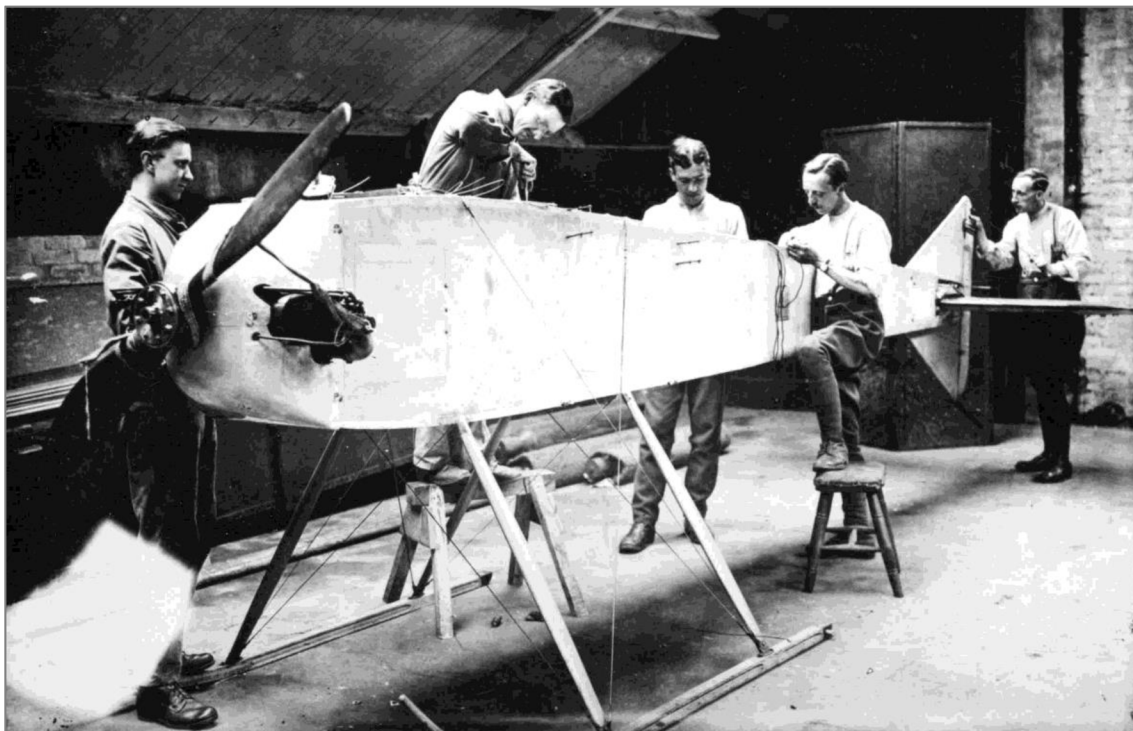
V kapitole 2. nájdete prierez históriou bezpilotných lietadiel s načrtnutím novej budúcnosti, rozdelenie UAS podľa rôznych používaných kategórií a platnú legislatívu pre Českú a Slovenskú republiku doplnenú o nové právne predpisy a nariadenia EÚ, ktoré onedlho nastúpia do platnosti.

2.1 HISTÓRIA, SÚČASNOSŤ A BUDÚCNOSŤ UAS

História bezpilotných lietadiel je dôležitou súčasťou histórie letectva. UA boli predovšetkým využívané na vojenské účely a zohrali významnú úlohu v oblasti výskumu.

Prvá zmienka o vojenskej aplikácii bezpilotného lietadla pochádza z roku 1849, kedy rakúsko-uhorská armáda útočila na Benátky. Vyslali približne 200 teplovzdušných balónov, ktoré mali namiesto koša s posádkou pripevnené výbušniny s časovanou rozbuškou. Jednalo sa o jedno z prvých leteckých bombardovaní, kedy po uplynutí nastaveného času spadla bomba na miesto, nad ktorým sa práve nachádzal bezpilotný balón. Táto metóda bombardovania nebola príliš efektívna, pretože neočakávaná zmena poveternostných podmienok zapríčinila, že väčšina balónov minula cieľ. Okrem vojenských účelov sa bezpilotné aerostaty v 19. storočí začali používať na skúmanie atmosféry, z čoho sa postupne vyvinuli meteorologické balóny, ktoré poznáme dnes. [2]

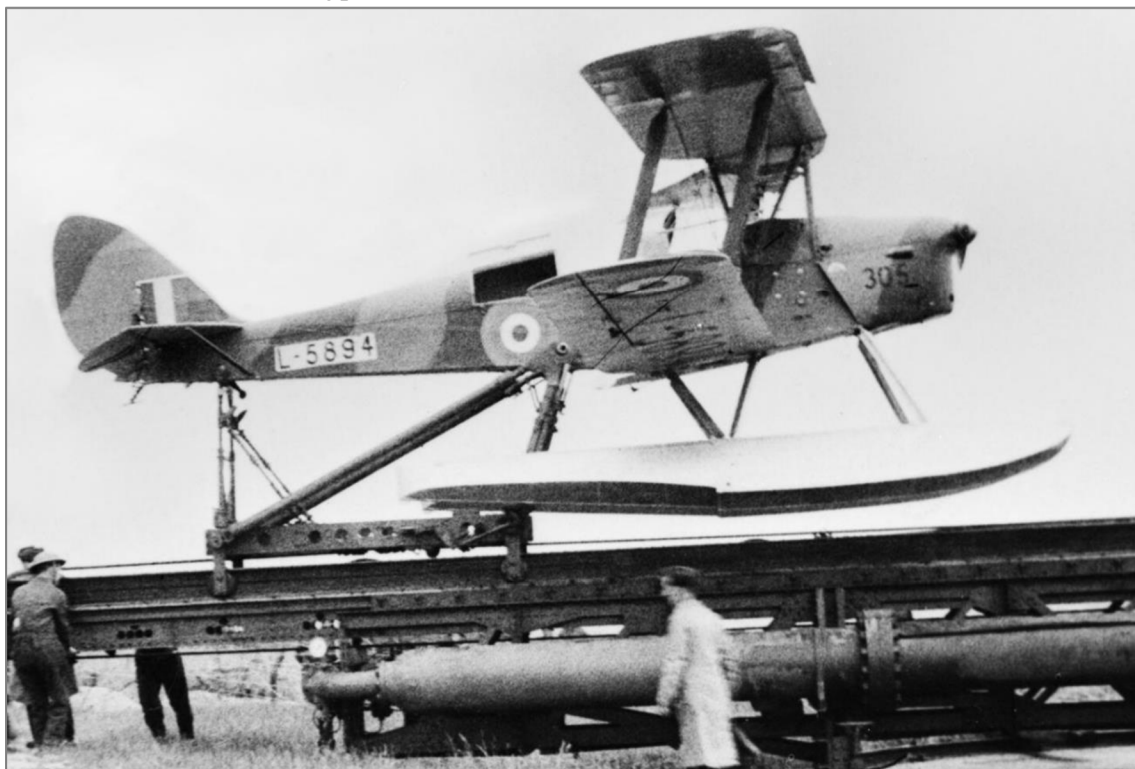
Údajne prvé UA ťažšie než vzduch, nazvané Aerial Target (Vzdušný cieľ), skonštruoval v roku 1916 anglický vynálezca Archibald Montgomery Low s tímom inžinierov z RAF (Royal Aircraft Factory). Jednoplošník Aerial Target mal slúžiť na obranu proti nemeckým vzducholodiam Zeppelin a ako lietajúca bomba. Prvý let sa konal 06.07.1917, kedy po takmer vertikálnom vzlete nasledoval pád. Ďalšie testy tiež skončili haváriou, až bol napokon projekt zrušený. [1][5][6]



Obr. 2.1 Stavba bezpilotného lietadla Aerial Target vo Farnborough, Spojené kráľovstvo [14]

Nasledovalo mnoho ďalších bezpilotných aerodynamov, ktoré mali primárne slúžiť ako diaľkovo riadené torpéda (napr. Kettering Bug), avšak prvá svetová vojna skončila skôr než mohli byť nasadené do boja. Prvým rádiom riadeným lietadlom, ktoré úspešne zvládlo všetky fázy letu (od štartu cez manévry až po pristátie), sa stal dňa 15.09.1924 americký hydroplán Curtiss F-5L. [14]

V Spojenom kráľovstve sa v 20. a 30. rokoch 20. storočia vyvíjali a testovali bezpilotné lietadlá slúžiace ako cvičné terče pre britskú armádu. Výsledkom tohto vývoja bola celodrevená bezpilotná verzia lietadla de Havilland Tiger Moth, známa ako Queen Bee. Vyrobených bolo 420 kusov (väčšina vo verzii s plavákmi; Obr. 2.2) a tento typ slúžil v armáde až do roku 1944.[14][15]



Obr. 2.2 Pripravy na štart UA de Havilland Queen Bee z vypúšťacieho zariadenia, Spojené kráľovstvo [16]

Po druhej svetovej vojne bolo použitých viacero prebytočných starších lietadiel ako bezpilotné cvičné terče pre nové zbraňové systémy. Niektoré boli vybavené muníciou a nasadené vo vojne v Kórei (napr. Grumman F6F-5K Hellcat). Začiatkom 50. rokov 20. storočia Američania skonštruovali prúdové, podzvukové UAS známe ako Ryan Firebee, ktoré boli určené k nácviku streľby a reakcií pilotov na riadené strely. V 60. rokoch boli tieto UAS upravené na prieskum a postupne bolo vyvinutých viac než 20 rôznych verzií modelu 147 Lightning Bug. Sérii vojenských bezpilotných lietadiel Ryan Firebee patrí významné miesto v histórii UAS, pretože sa s určitými modifikáciami používajú dodnes. [1][14]



Obr. 2.3 Vzlet bezpilotného systému Firebee (model BQM-34A), USA [17]

Výrazný pokrok v bezpilotných technológiách nastal od 70. rokov 20. storočia, kedy Izrael začal svoj vlastný výskum a vývoj. V roku 1973 skonštruovali UAS nazvané Tadiran Mastiff, ktoré ako prvé vysielalo operátorom obraz vo vysokom rozlíšení v reálnom čase. Práve vďaka implementácii systému data link je UAS Tadiran Mastiff považovaný mnohými vojenskými historikmi za prvý moderný vojenský dron. Podobné technológie a dizajn s dvoma nosníkmi chvostových plôch a tlačnou vrtľou boli použité a vylepšované izraelskou národnou leteckou výrobnou spoločnosťou IAI, ktorá vyprodukovala prieskumný UAS Scout a následne množstvo iných (napr. Pioneer, Heron, Searcher). Vojenské bezpilotné systémy určené na monitorovanie území sa osvedčili a začali čím viac nahradzovať prieskumné lietadlá s pilotom na palube. Príkladom úspešného nasadenia bezpilotného systému do vojnového konfliktu je AAI RQ-2 Pioneer, ktorý bol americkou armádou nasadený na viac než 300 prieskumných misií počas operácií v Perzskom zálive (1990-1991). [1][14][18]



Obr. 2.4 Bepilotný systém AAI RQ-2B Pioneer za letu, USA [19]

Zmena v používaní UAS nastala v novom tisícročí po teroristických útokoch z 11.09.2001 v Spojených štátoch amerických. Z pôvodne prieskumných UAS vznikli ozbrojené viacúčelové verzie s riadenými strelami, určené na boj proti terorizmu. Najznámejším predstaviteľom je MQ-1 Predator. [1]



Obr. 2.5 UAS General Atomics MQ-1 Predator vybavený riadenými strelami AGM-114 Hellfire, USA [20]

Úspešný vývoj moderných bezpilotných lietajúcich prostriedkov bol nielen v USA a Izraeli, ale tiež v Rusku, v Indii, v Číne a vo viacerých európskych štátoch. Medzi krajiny s rozvinutým leteckým priemyslom v oblasti bezpilotných lietadiel sa zaraďujú Francúzsko, Nemecko, Nórsko, Spojené kráľovstvo, Španielsko, Švajčiarsko, Švédsko, Taliansko a tiež Česká republika. Štáty bývalého východného bloku boli v minulosti zásobované sovietskou technikou a málokto mali vlastný vývoj. Rozšíreným typom bol prúdový bezpilotný prieskumný letún Tupolev Tu-143 Reis, ktorý mala vo výzbroji aj Československá ľudová armáda od roku 1985 a bol z výzbroje armád vyradený až po rozdelení republík. Česká armáda začala v roku 1994 testovať prieskumný UAS vlastnej konštrukcie nazvaný Sojka III, ktorý bol následne zaradený do výzbroje až do roku 2010. [1]

V súčasnosti niektoré armády disponujú vysoko efektívnymi bezpilotnými systémami na rôzne účely. Napríklad prúdový UAS RQ-4 Global Hawk funguje takmer úplne autonómne, diaľkovo ovládaný operátormi zo vzdialenosti aj niekoľko tisíc kilometrov. Počas prieskumnej misie dokáže zmapovať 100,000 km² terénu denne, čo je možné vďaka GPS a precíznym sensorom.

Na druhej strane existujú miniatúrne drony, ktoré môžu byť použité na špionáž alebo prieskum ťažko dostupných miest. Podrobnejšie rozdelenie UAS nájdete v nasledujúcej kapitole 2.2.

Vďaka vojenským technológiám, ktoré boli sprístupnené verejnosti, napr. globálnemu polohovaciemu systému (GPS) bez selektívnej dostupnosti (bez zanášania umelých chýb) a vďaka šikovnosti leteckých konštruktérov a modelárov sa UAS dostali aj do civilného sektora. V posledných rokoch používanie tzv. dronov v civilnom sektore narastá. Obľúbené sú predovšetkým kvadrokoptéry vybavené kamerami s možnosťou tvorby leteckých fotografií a nahrávania videí. V komerčnej sfére sa rozmáha trend doručovacích bezpilotných systémov. Príkladom je spoločnosť Zipline, ktorá svojimi dronmi prepravuje krv v Rwande a v Ghane v Afrike a počas pandémie COVID-19 zásobuje zdravotníckymi potrebami a ochrannými prostriedkami nemocnice v Severnej Karolíne v USA.

Odhaduje sa, že do roku 2022 celosvetový počet UAS dosiahne 35 miliónov kusov, z čoho 25% bude v Európe. Niektoré štúdie predpovedajú autonómne lietajúce prostriedky označované ako PAV (Personal Air Vehicle), ktoré budú prepravovať ľudí za každého počasia vo dne i v noci. Odborníci z firmy Airbus predpovedajú, že v roku 2035 bude vo vzduchu približne rovnaký počet lietadiel nad jedným veľkomestom ako množstvo denných komerčných pilotovaných letov nad Európou v ktoromkoľvek danom okamihu dňa.[22].

Vývoj UAS urýchlil technologický pokrok v oblastiach batérií, motorov, sensorov, riadiacich jednotiek, ovládacích softwarov, komunikačných zariadení, závesných systémov a mnohých ďalších. Dostupnosť najnovších technológií umožňuje rýchlejší a lacnejší výskum, vývoj a výrobu, čo dáva možnosť väčšiemu počtu ľudí sa zapojiť do tohto odvetvia letectva, či už ako výrobca alebo ako konečný užívateľ. Pokiaľ bude tento trend pokračovať, vyzerá to tak, že transport bude zabezpečovaný efektívnejšie a ekologickejšie a jedného dňa sa naozaj dočkáme vysnívaných lietajúcich áut.



Obr. 2.6 Vízia budúcnosti od firmy Airbus [26]

2.2 ROZDELENIE UAS

Bezpilótné systémy sú vyrábané na rôzne účely, čomu odpovedá bohatá škála tvarov, veľkostí, hmotností a funkcií. Medzi súčasnými UAS vieme nájsť extrémne rozdiely. Od drobných, len niekoľko centimetrových, vážiacich pár gramov (napr. MAV Black Hornet) až po niekoľko tonové s rozpätím porovnateľným s komerčnými dopravnými letúňmi (napr. HALE MQ-4C Triton). Na jednej strane UAS, ktoré dokážu visieť na mieste nízko nad zemou a snímať okolie, na druhej UAS letiace rýchlosťou niekoľko tisíc kilometrov za hodinu na hranici vesmíru snímajúce rozsiahle územia. Táto podkapitola zhrňa najpoužívanejšie klasifikácie UAS.

Bezpilótné lietadlá sa rozdeľujú podľa základných charakteristík rovnako ako všetky ostatné lietadlá, čo už bolo spomenuté v prvej kapitole a znázornené v Tab. 1.1. Môžeme doplniť, že motorové aerodyny sa delia na lietadlá s pohyblivými nosnými plochami voči trupu (ornitoptéry, vírniky a vrtuľníky) a na lietadlá s nepohyblivými nosnými plochami voči trupu (letúne). Ornitoptéry, známe aj ako krídelníky, sú lietadlá s kývavými nosnými plochami, ktoré imitujú mávanie krídel živočíchov. Táto koncepcia sa používa u niektorých malých UAS. Vírniky a vrtuľníky sú aerodyny s rotujúcimi nosnými plochami (rotorom), pričom vírniky na rozdiel od vrtuľníkov nemajú rotor poháňaný motorom, ale pohon zabezpečuje tlačná alebo ťažná vrtuľa s vlastnou pohonnou jednotkou spôsobujúcou dopredný pohyb. Vrtuľníky, nazývané aj helikoptéry, môžu mať jeden alebo viac rotorov (multikoptéry). Najčastejšie používané multikoptéry v oblasti UAS sú so 4 rotormi (kvadroptéry), 6 (hexakoptéry) a 8 rotormi (oktokoptéry). Pri obvyklom uložení páneho počtu rotorov na ramenách vedľa seba sa zvyčajne susedné vrtule otáčajú opačným smerom pre zlepšenie letových charakteristík. So zvyšujúcim sa počtom rotorov stúpa miera bezpečnosti, stability a zabezpečenia úspešného dokončenia letu pri poškodení jedného z nich. Hlavnou výhodou vrtuľníkov je kolmý vzlet a pristátie, čo prináša úsporu potrebnej plochy na ich prevádzkovanie. Nevýhodou je menšia výdrž a dostup, oproti letúňom v podobnej kategórii, spôsobené vyššou hmotnosťou, energetickou náročnosťou a menej aerodynamicky čistými tvarmi. Kombináciou vlastností vrtuľníku a letúnu vznikol druh motorových lietadiel nazývaný konvertoplány. Tieto aerodyny sa počas horizontálneho letu a manévrov pri vyšších rýchlostiach väčšinou spoliehajú na vztlak z nepohyblivých nosných plôch a pri počiatkových a záverečných fázach letu na vztlak z pohyblivých nosných plôch, takže sú schopné kolmého štartu a pristátia, skrátene VTOL (z anglického Vertical Take-Off and Landing). Koncepcia konvertoplánov sa objavuje vo viacerých štúdiách budúcich bezpilótných prepravných prostriedkov použitých aj v rámci UAM, ako bolo spomínané v úvode.

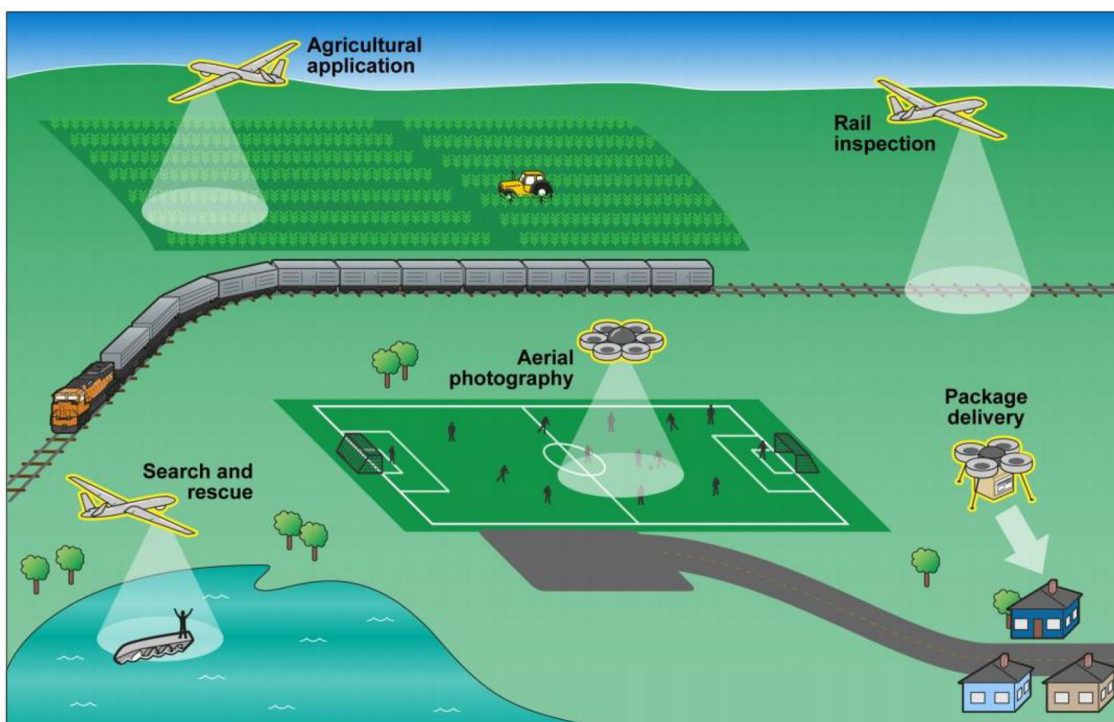
Okrem základného rozdelenia sa UAS rozdeľujú podľa viacerých kategórií, napr. podľa účelu, maximálnej vzletovej hmotnosti, rôznych výkonnostných parametrov alebo charakteru vykonávanej činnosti.

UAS rozdeľujeme podľa účelu na **civilné** a **vojenské**.

Na toto rozdelenie nadväzuje delenie podľa charakteru vykonávanej činnosti. Bezpilótné systémy môžu byť (inšpirované [29]):

- výskumné a vývojové
- prieskumné
- používané ako vzdušné ciele a návnady
- multifunkčné
- logistické
- bojové
- na civilné komerčné účely
- na civilné nekomerčné účely

Obrázok 2.7 zobrazuje príklady aplikácie UAS na civilné komerčné účely. Pri pohľade zľava doprava môžete vidieť použitie UAS na pátranie a záchranu, v poľnohospodárstve (napr. plašenie škodcov, chemický postrek alebo monitoring rastlinstva a živočíšstva), letecké fotografovanie, inšpekciu železničných tratí a doručovanie balíkov.



Obr. 2.7 Príklady použitia UAS na komerčné účely [27]

Delenie podľa charakteru vykonávanej činnosti je základom pri návrhu nových UAS. Hneď ako je zadané pole pôsobnosti bezpilotného systému, môžu konštruktéri navrhnuť nový typ s požadovanými parametrami. Pre motorové UAS je dôležitým bodom konštrukcie pohonná jednotka.

Podľa typu motoru sa UAS rozdeľujú nasledovne (údaje pochádzajú z [28], [29], [30]):

- **UAS so spaľovacím motorom**
 - Dvojdobý piestový (napr. Sachs SF 350 použitý v AAI RQ-2B Pioneer)
 - Štvordobý piestový (napr. Rotax 914F použitý v General Atomics MQ-1 Predator)
 - Wankelov (napr. UAV EL 801 použitý v AAI RQ-7 Shadow 600)
 - Turbovrtuľový (napr. Pratt & Whitney Canada PT6 použitý v IAI Heron TP)
 - Jednoprúdový (napr. Continental J69-T-29A použitý v Ryan Firebee BQM-34A)
 - Dvojprúdový (napr. Rolls Royce AE-3007H použitý v Northrop Grumman RQ-4 Global Hawk aj v Northrop Grumman MQ-4C Triton)
 - Scramjet - náporový motor so spaľovaním v nadzvukovom režime (napr. nedefinovaný Supersonic-Combusting Ramjet v Boeing X-51 Waverider)
- **UAS s elektrickým motorom**
 - Bezkartáčový jednosmerný (napr. Aveox 27/26/7 v AeroVironment RQ-11 Raven)
- **UAS s hybridným pohonom**
 - Spaľovací motor poháňajúci elektrické motory (napr. bezemisný spaľovací motor na tekutý vodík poháňajúci elektromotory v AeroVironment Global Observer)

U malých bezpilotných lietadiel sa vďaka nízkej hmotnosti a kompaktným rozmerom najčastejšie používa elektromotor. U väčších UA sa zatiaľ preferujú spaľovacie motory, hlavne štvordobé piestové a dvojprúdové pre vyššie rýchlosti. Vďaka dobrým vlastnostiam, akými sú napríklad vysoký pomer výkonu k hmotnosti, nízke vibrácie a nenáchylnosť na zmeny teploty pri rýchlom klesaní, sa používa aj Wankelov motor. Elektromotory sú u ťažších UA neefektívne kvôli vysokej váhe batérií potrebných na pohon motorov. V budúcnosti sa očakáva zlepšenie elektronických technológií a postupný prechod na nové, úspornejšie a tichšie elektrické alebo hybridné pohonné jednotky.

Podľa rýchlosti letu rozdeľujeme lietadlá na:

- Subsonické ($M < 0,8$)
- Transsonické ($0,8 < M < 1,2$)
- Supersonické ($1,2 < M < 5,0$)
- Hypersonické ($5,0 < M$)

Kde M je bezrozmerné Machovo číslo udávajúce pomer rýchlosti pohybu lietadla (pravou vzdušnou rýchlosťou - TAS) k rýchlosti zvuku v danom prostredí (lokálnej rýchlosti zvuku - LSS).

Vzorec na výpočet Machovho čísla je nasledovný:

$$M = \frac{TAS}{LSS} [-]$$

V tejto práci sa budeme ďalej zaoberať iba subsonickými lietadlami.

UA sa môžu ďalej deliť podľa hmotnosti. Najčastejšie sa spomína delenie podľa maximálnej vzletovej hmotnosti MTOM (Maximum Take-Off Mass) alebo MTOW (Maximum Take-Off Weight). U UAS sa častejšie používa MTOM, čo je konštantná hodnota, zahŕňajúca hmotnosť UA vrátane vybavenia, paliva, prevádzkových kvapalín a nákladu pred zahájením vzletu, na ktorú je dané lietadlo certifikované.[1] Doslovná definícia podľa najnovšieho predpisu EÚ je uvedená v prvej kapitole.

Súhrnné delenie je zobrazené v tabuľke 2.2, kde nájdete rozdelenie pre civilné aj vojenské UAS vychádzajúce z kategorizácie podľa medzinárodnej asociácie pre bezpilotné dopravné systémy AUVSI, doplnené o aktuálnejšie údaje z citovaných zdrojov. Okrem maximálnej vzletovej hmotnosti nájdete v tabuľke 2.2 jednotlivé kategórie a podkategórie, ktoré boli zavedené v armáde a postupne niektoré prenikajú do civilného sektora, maximálnu letovú výšku, vytrvalosť, dolet (niekde spomínaný aj ako dosah dátovej linky – data link range) a príklady úloh a predstaviteľov pre každú podkategóriu.

Existujú desiatky iných delení bezpilotných leteckých systémov, avšak pre potreby tejto práce sú najrelevantnejšie tie, ktoré sú spomínané v podkapitole 2.2. Ďalším dôležitým základom pre zafinovanie údržby je platná legislatíva UAS, ktorá je vysvetlená v nasledujúcej podkapitole 2.3.

Kategória	Podkategória (skratka)	Maximálna vzletová hmotnosť [kg]	Maximálna letová výška [m]	Vytrvalosť [hodiny]	Dolet [km]	Príklad	
						Úloha	Predstavitel' UAS
Malé UAS	Micro (MAV)	< 1,5	250	1	< 10	Prieskum interiéru budov, špiónáž, CBRN, výskum	Black Widow, FanCopter, Hornet, LADF, Microbat, MicroStar, Mite, Mosquito, WASP I
	Mini (SUAS)	< 25	150 - 300	< 2	< 10	Filmovanie a fotografovanie, meranie znečistenia, monitorovanie v poľnohospodárstve a doprave, prenos vysielania, EW	Aladin, Carolo P50, DragonEye, Mikado, Pointer II, Raven, YH-300SL, SensorCopter, Skorpio, Tracker
Taktické UAS	Close Range (CR)	25 - 150	3000	2 - 4	10 - 30	RSTA, detekcia mín, pátranie a záchrana, EW	Copter 4, Luna, Marti, Observer I, Phantom, Rmax II, RoboCopter 300, Prion, Silver Fox
	Short Range (SR)	50 - 250	3000	3 - 6	30 - 70	BDA, EW, RSTA, detekcia mín	EyeView, FireBird, Flyrt, Fulmar, Neptune, Pchela, Phoenix, Sojka III
	Medium Range (MR)	150 - 500	3000 - 5000	6 - 10	70 - 200	BDA, CBRN, detekcia mín, EW, RSTA	AeroStar, Eagle Eye, Extender, FireScout, Hunter, KZO, Pioneer, Ranger, UCAR
	Medium Range Endurance (MRE)	500 - 1500	5000 - 8000	10 - 18	> 500	BDA, CBRN, EW, prenos komunikácie, RSTA	E-Hunter, Falco, Seeker II, Shadow 600, Sperwer B, Watchkeeper
	Low Altitude Deep Penetration (LADP)	250 - 2500	50 - 9000	0,5 - 1	> 250	EW, RSTA	Carapas, CL 289, Nibbio
	Low Altitude Long Endurance (LALE)	15 - 25	3000	< 24	> 500	RSTA	Aerosonde MK III, Libellule, Insight, Penguin, ScanEagle
	Medium Altitude Long Endurance (MALE)	1000 - 1500	3000 - 9000	24 - 48	> 500	BDA, CBRN, EW, RSTA, preprava nákladu a zbraní, komunikačný prenos	Bateleur, Eagle 1, DarkStar, Heron TP, Dominator, Hermes 1500, Predator A
Strategické UAS	High Altitude Long Endurance (HALE)	2500 - 12500	9000 - 20000	24 - 48	> 2000	BDA, EW, RSTA, komunikačný prenos, predĺženie dosahu signálu, zaistenie bezpečnosti záujmových oblastí	Condor, Global Hawk, EuroHawk, Global Observer, Helios, Predator C, PathFinder plus, Raptor, Theseus, SensorCraft
	Stratospheric (STRATO)	> 2500	20000 - 30000	> 48	> 2000	Komunikačný prenos na veľké vzdialenosti, monitoring	Pegasus, Zephyr
	Exo-stratospheric (EXO)	TBD	> 30 000	TBD	TBD	Misie vo veľkých výškach, pseudosatelit	MAC-1, MarsFlyer
Špeciálne UAS	Lethal (LET)	250	3000 - 4000	3 - 4	300	Proti-radarové, protinámorné, proti-vzdušné, rôznorodé útočné misie	Cutlass, Harpy, Lark, MALI, Malura, Taifun
	Decoys (DEC)	150 - 250	50 - 5000	< 4	0 - 500	Zachytávanie a rušenie signálov, klamanie nepriateľa	Chukar, Flyrt, ITALD, MALD, Nulka
	Unmanned Combat Aerial Vehicle (UCAV)	> 1000	12000	2	1500	Bojové misie	Barracuda, Ghatak, nEUROn, Skat, Taranis, X-45, X-47B

Hodnoty uvedené v tabuľke sú prebrané z uvedených zdrojov a môžu sa líšiť od schválených noriem a pravidiel jednotlivých krajín.

Použitie skratky:

- BDA (z anglického Bomb Damage Assessment) znamená Vyhodnocovanie škôd spôsobených bombardovaním.
- CBRN (Chemical, Biological, Radiological and Nuclear defense) znamená obrana proti Chemickým, biologickým, rádiologickým a jadrovým hrozbám
- EW (Electronic Warfare) znamená Elektronická vojna.
- RSTA (Reconnaissance, Surveillance and Target Acquisition) znamená Sledovanie, prieskum a zameranie cieľa.
- TBD (To Be Determined/Defined) znamená Bude určené/definované v budúcnosti.

Tab. 2.2 Súhrnná kategorizácia UAS [23][24][25][28][29][30]

2.3 LEGISLATÍVA

Letectvo je dynamický odbor, ktorý sa neustále rozširuje s vývojom nových technológií. Na to, aby bola zachovaná dostatočná miera bezpečnosti je potrebná implementácia vhodných zákonov. Tieto zákony by mali reflektovať súčasný stav a myslieť aj do budúcnosti. Legislatívnu problematiku v oblasti civilného letectva zastrešuje Medzinárodná organizácia pre civilné letectvo (skrátene ICAO), ktorá vznikla už v roku 1944 na základe Chicagskeho dohovoru. ICAO vytvorilo tzv. annexy obsahujúce štandardy a doporučené postupy (skrátene SARPs), ktoré si implementujú členské štáty do svojej národnej legislatívy. Napríklad v českom zákonodarstve sú letecké predpisy L1 až L19 vytvorené na základe SARPs annexov ICAO.

Momentálne ICAO pracuje okrem iného aj na vytvorení predpisov pre UAS. Vytvorilo dokument „ICAO MODEL UAS REGULATIONS“ tvorený z 3 častí, a to Part 101, 102 a 149, ktoré mohli členské štáty pripomenkovať do konca februára 2020. V blízkej dobe by mala byť vydaná finálna verzia. V časti Part 101 týchto pripravovaných predpisov nájdeme všeobecné ustanovenia a prevádzkové pravidlá so zameraním na UA vážiace 25kg a menej. Dôležitým bodom tejto časti je, že všetky bezpilotné lietadlá (UA) by mali byť registrované. Part 102 sa zaoberá všetkými UA ťažšími než 25kg a tými, ktoré nespĺňajú požiadavky časti 101. Časť 102 tiež pojednáva certifikáciu pilotov a prevádzkovateľov UAS. Part 149 propaguje vytvorenie schválenej leteckej organizácie poverenej národným úradom pre civilné letectvo (CAA, napr. v Česku ÚCL) vykonávať určité úlohy. Takáto certifikovaná organizácia by mohla vykonávať dohľad nad bezpilotnými systémami a zastupovať CAA v konkrétnych úlohách, akými sú napr. licencovanie pilotov UAS, inšpekcia alebo vydávanie povolení pre UAS, čím by sa zabezpečilo rýchlejšie spracovanie a znížila pracovná záťaž inšpektorov CAA. [31]

Európska agentúra pre bezpečnosť letectva (EASA) úzko spolupracuje s medzinárodnými organizáciami ako ICAO a JARUS, s komunitami zaoberajúcimi sa bezpilotnými systémami a s bilaterálnymi partnermi, akým je napr. americká FAA. Vďaka vzájomnej spolupráci by mala byť legislatíva UAS podobná vo väčšine krajín sveta.

Od 1. júla 2020 mala vstúpiť do platnosti nová legislatíva Európskej únie, ktorá zavádza novoutvorenú klasifikáciu UAS, mení a dopĺňa predpisy. Hlavným cieľom je zjednotenie a sprehľadnenie pravidiel vo všetkých krajinách EÚ. Európska únia vidí v bezpilotnej sfére veľký potenciál, preto chce cez svoju agentúru pre bezpečnosť letectva (EASA) podporiť rozvoj bezpilotného odvetvia popri zachovaní bezpečnosti leteckej prevádzky, ľudí, ich súkromia a životného prostredia.

Dátum aplikácie nových pravidiel bol zmenený kvôli pretrvávajúcej celosvetovej pandémie na 31. decembra 2020 Vykonávacím nariadením komisie (EÚ) „2020/746 zo 4. júna 2020, ktorým sa mení vykonávacie nariadenie (EÚ) 2019/947, pokiaľ ide o odklad dátumov uplatňovania určitých opatrení v súvislosti s pandemiou COVID-19“. [12][32]

Hneď v druhom článku nariadenia 2019/947 z 24. mája 2019 o pravidlách a postupoch prevádzky bezpilotných lietadiel sa nachádza vymedzenie pojmov, medzi ktorými je hneď na prvom mieste stručná definícia bezpilotného leteckého systému (UAS), ktorá hovorí, že UAS „je bezpilotné lietadlo a vybavenie na jeho diaľkové ovládanie“. [12] Ďalej definuje pojmy ako sú napr. prevádzkovateľ bezpilotného leteckého systému, priama diaľková identifikácia alebo georeferenčný výstražný systém.

„**Prevádzkovateľ bezpilotného leteckého systému** („prevádzkovateľ UAS“) je akákoľvek právnická alebo fyzická osoba, ktorá prevádzkuje alebo zamýšľa prevádzkovať jeden alebo viacero UAS.“

„**Priama diaľková identifikácia** je systém, ktorý zabezpečuje lokálne vysielanie informácií o prevádzkovanom bezpilotnom lietadle, vrátane jeho označenia, aby sa umožnilo získanie týchto informácií bez fyzického prístupu k bezpilotnému lietadlu.“

„**Georeferenčný výstražný systém** je funkcia, ktorá na základe údajov od členských štátov odhalí možné narušenie obmedzení vzdušného priestoru a upozorní pilotov na diaľku, aby mohli prijať okamžité a účinné opatrenia s cieľom zabrániť tomuto narušeniu.“

Ostatné pojmy definované v tomto dokumente už boli zhrnuté v prvej kapitole alebo nie sú relevantné k téme tejto bakalárskej práce. Najdôležitejšou časťou nariadenia 2019/947 je definovanie 3 nových kategórií prevádzky UAS, ktoré nahradzujú staršie rozdelenie na komerčnú a nekomerčnú prevádzku UAS. Zhrnutie nových predpisov bolo publikované v dokumente od EASA, pod názvom „Easy Access Rules for Unmanned Aircraft Systems“, ktorý obsahuje nariadenia 2019/947 a 2019/945.

Tri hlavné kategórie prevádzky UAS:

- Otvorená (Open)
- Osobitná (Specific)
- Osvedčená (Certified)

Otvorená kategória, označovaná aj ako kategória s **nízkym rizikom**, je určená pre malé a ľahké UAS, ktoré nepredstavujú podstatnú hrozbu pri strate kontroly alebo havárii. Otvorená kategória má 3 subkategórie nazvané A1, A2 a A3 a na prevádzkovanie UAS v tejto kategórii netreba prevádzkové povolenie. Predpokladá sa prevádzka s priamym vizuálnym kontaktom (VLOS).

Pod subkategóriu A1 spadajú triedy:

- C0 a privátne postavené UAS s MTOM pod 250g
- C1 s MTOM pod 900g

Pod subkategóriu A2 patrí trieda:

- C2 určená pre UAS s MTOM menšou než 4kg

Pod subkategóriu A3 spadajú triedy:

- C3 s charakteristickým rozmerom menším než 3m a MTOM pod 25kg
- C4 (modely lietadiel) s MTOM menšou než 25kg
- privátne postavené UAS s MTOM menšou než 25kg

Osobitná kategória, označovaná aj ako kategória so **stredným rizikom**, platí pre UAS, ktoré nespádajú pod otvorenú kategóriu (napr. ak chce niekto použiť ľahký dron na komerčné účely) a kladie vyššie nároky. Požaduje sa certifikácia a patria pod túto kategóriu subkategórie C5 a C6, ktoré zatiaľ nie sú jasne definované. Na základe určenia miery rizika môžu byť do tejto kategórie zaradené aj UAS s MTOM nad 25kg a lietajúce mimo priameho vizuálneho kontaktu (BVLOS).

Osvedčená kategória, označovaná aj ako kategória s **vysokým rizikom**, platí pre väčšie a ťažšie UAS a také, ktoré prepravujú ľudí alebo nebezpečný náklad, prípadne lietajú nad zhromaždením ľudí, takže ich prevádzka predstavuje vyššie riziko spôsobenia škôd. V osvedčenej kategórii môžu UA lietať v riadených vzdušných priestoroch. Predpokladá sa, že niektoré detaily sa budú v tejto kategórii meniť so stúpajúcou prevádzkou vysokorizikových UAS, či už na prepravu osôb alebo tovaru.[4]

EÚ má ambície zaradiť bezpilotné systémy medzi ostatnú leteckú prevádzku. Dôležitým bodom bude registrácia UAS a ich vysielanie údajov (hlavne o polohe a výške – priama diaľková identifikácia) pre určené stanovišťa riadenia letovej prevádzky, ako aj aplikácia georeferenčného výstražného systému. Problematikou implementácie UAS medzi leteckú prevádzku, hlavne v riadených vzdušných priestoroch sa zaoberá európsky projekt Jednotného Európskeho Neba (Single European Sky – SES) zastrešený programom SESAR (Single European Sky ATM Research). SESAR má prinášať vhodné riešenia a inovovať infraštruktúru riadenia letovej prevádzky plošne v celej EÚ.[37]

V Českej republike je legislatíva bezpilotných systémov spísaná v Doplnku X predpisu L2. Nájde sa v nej niekoľko rozdielov v porovnaní so spomínanými novými predpismi od EASA. Hneď v úvode Doplnok X definuje bezpilotné lietadlo (UA) ako lietadlo určené k prevádzke bez pilota na palube a dodáva, že pre účely tohto doplnku sa pod pojmom UA rozumejú všetky bezpilotné lietadlá okrem modelov lietadiel s maximálnou vzletovou hmotnosťou nepresahujúcou 25kg, takže čiastočne upravuje definíciu UA. [9]

Výrazným rozdielom je delenie podľa MTOM, kde Doplnok X stanovuje 4 kategórie:

1. MTOM do maximálne 0,91 kg
2. MTOM od viac než 0,91 kg až pod 7 kg
3. MTOM od 7 kg do 25 kg
4. MTOM nad 25 kg

Celú tabuľku aj so všetkými ostatnými údajmi nájdete v *prilohe A*, ktorú nájdete na konci tohto dokumentu. ÚCL vytvorilo názorný prehľad základných požiadaviek na UAS, ktorý je zobrazený na obrázku 2.8.



Obr. 2.8 Prehľad základných požiadaviek na bezpilotné systémy v Česku [33]

Na Slovensku pre UAS platí „Rozhodnutie č. 2/2019 zo 14.11. 2019, ktorým sa určujú podmienky vykonania letu lietadlom spôsobilým lietať bez pilota a vyhlasuje zákaz vykonania letu určených kategórií lietadiel vo vzdušnom priestore Slovenskej republiky“ vydané slovenským Dopravným úradom, ktoré sa odkazuje na nariadenia EÚ, takže obsah je na rozdiel od českého Doplnku X takmer totožný s publikáciou od EASA. Rovnako klasifikuje triedy C0 až C4, avšak nedefinuje 3 kategórie prevádzky (Otvorená, Osobitná, Osvedčená). Namiesto toho používa kategórie prevádzky A a B, kde A má veľa spoločného s Otvorenou kategóriou. Kategória B zahŕňa UAS s MTOM väčšou ako 25kg, prevádzku v noci, v riadenom vzdušnom priestore alebo lietanie v rozdielnej vzdialenosti od nezúčastnených osôb než je definované v kategórii A. Na konci rozhodnutia, v Článku 12, Dopravný úrad zakazuje vykonávanie letu vo vzdušnom priestore Slovenskej republiky autonómnym lietadlám a UA s MTOM presahujúcou 150kg.[12]

S nástupom nových európskych predpisov do platnosti by sa mali rozdiely v legislatíve čo najviac zmenšiť, aby bola možná aj medzinárodná prevádzka UAS, hlavne v rámci EÚ.

Pre jednomotorové UAS v komerčnej prevádzke, pre ktoré je v tejto práci načrtnutý plán údržby, by momentálne kvôli legislatíve nemohli byť v niektorých štátoch prevádzkované, napr. v Slovenskej republike pre limitáciu MTOM na 150kg. V rámci plánovanej celoeurópskej legislatívy by tieto stroje spadali do tzv. Osvedčenej kategórie a riadili sa platnými predpismi pre danú kategóriu.

3. ÚDRŽBA

Údržba je kritickým komponentom pri zachovávaní letuschopnosti lietadiel a udržiavaní vysokej miery bezpečnosti. Táto kapitola je písaná s účelom uvedenia čitateľa do problematiky spojenej s údržbou, podobne ako druhá kapitola priblížila to najpodstatnejšie z oblasti bezpilotných systémov. V 3. kapitole nájdete stručnú históriu leteckej údržby rozdelenú podľa generácií, metódy údržby leteckej techniky a prehľad programu údržby so zameraním na jednomotorové letúne.

3.1 HISTÓRIA ÚDRŽBY LIETADIEL

Táto podkapitola zhrňa postupy údržby lietadiel od obdobia spred 1. svetovej vojny až po súčasnosť. Treba však poznamenať, že súčasná údržba sa podstatne odlišuje od údržby dôb minulých. Pri písaní histórie údržby lietadiel som čerpal informácie primárne z [35].

Údržbu lietadiel budeme chronologizovať podľa jednotlivých etáp – podľa tzv. **generácii údržby**, ktoré rozdeľujeme na 3 základné:

1. generácia údržby
2. generácia údržby
3. generácia údržby

Prvá generácia údržby:

Letecká technika už po uplynutí niekoľkých rokov od prvého letu bratov *Wrightovcov* (1903) zaznamenala obrovský rozmach. Konštrukcia lietadiel bola síce jednoduchá, ale napriek tomu obsahovala všetky potrebné komponenty na zabezpečenie letu – krídla sprostredkujúce vztlak, trup, chvostové plochy, piestový motor poháňajúci vrtuľu a iné. Práve pre túto jednoduchú konštrukciu sa málo závažné poruchy odstraňovali po pristátí alebo behom letu (ak to bolo možné). V horších prípadoch závažných porúch, ktoré sa nedali opraviť hneď, mal let katastrofálne následky, často fatálne. Pre zníženie počtu nehôd a zvýšenie bezpečnosti sa postupne začali vyvíjať jednoduché programy na údržbu spojenú s leteckou technikou.

Táto generácia trvala až do obdobia 2. svetovej vojny. Stručne by sa dalo poznamenať, že práve v prvej generácii údržby prevládala stav, kedy sa opravy a iná údržba lietadiel vykonávali až po pristátí.

Druhá generácia údržby:

Táto generácia nastupuje hneď po 2. svetovej vojne. Práve v tom období nastal veľký pokrok v oblasti letectva (aj vďaka vzniku prúdového motoru). Pokojne by sme túto etapu mohli nazvať počiatkom civilného letectva.

Vojnou poznačená infraštruktúra Európy sa stala rodiskom globálnej komerčnej leteckej dopravy. Začalo sa lietať na väčšie vzdialenosti, vyššie a vyššou rýchlosťou. Dokonca sa zvýšila aj miera dostupnosti leteckej prepravy pre bežných ľudí (na rozdiel od dôb 1. svetovej vojny, kedy bolo letectvo len pre vybranú elitu).

Metódy údržby, ktoré vznikali počas 2. svetovej vojny sa postupne menili, zefektívňovali a upravovali na komerčné využitie. Ak lietadlo nebolo možné opraviť hneď alebo sa následkom bojov poškodilo, vzlietnuť už nemohlo. Údržba behom tejto doby bola rovnako významná ako bojová činnosť. Postupne sa lietadlá stávali zložitejšími a komplexnejšími strojmi. Používali sa rôzne preventívne opatrenia, výmeny systémov, konštrukcie, komponentov. Tým vznikali rôzne systémy na kontrolu a plánovanie práce. Počas týchto rokov prevládala tzv. **Hard-Time** metóda údržby.

Od roku 1950, ako vstúpilo prvé prúdové dopravné lietadlo na trh (de Havilland Comet), letecké spoločnosti museli zdokonaľiť svoje postupy, nakúpiť novú potrebnú techniku a hlavne zaučiť mechanikov na nový typ lietadla (neskôr dvojprúdový) a navigačnej techniky.

Tretia generácia údržby:

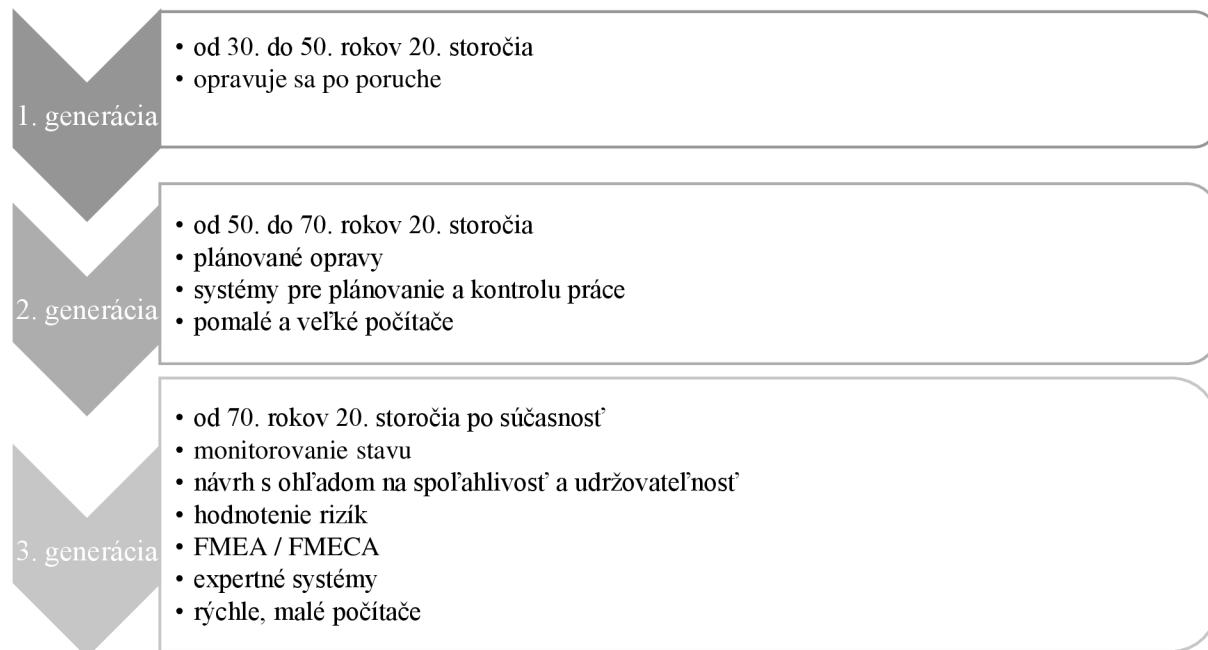
Táto tretia generácia hlavne prichádza s pokrokom veľkých dopravných lietadiel, ako napríklad Boeing 747 Jumbo Jet (B747), Lockheed L-1011 TriStar, McDonnell Douglas DC-10 a iné.

Práve pri B747 a pri jeho vývoji sa zistilo, že časová a ekonomická náročnosť údržby bola v porovnaní s náročnosťou predošlých letúnov obrovská. Predtým bežne využívané metódy údržby sa zrazu stali nevhodnými. Spoločnosť Boeing sa spolu s ďalšími operátormi dohodla na nových metódach údržby lietadiel B747 - táto skupina bola označená ako tzv. **Maintenance Steering Group (MSG)**. Postupy údržby boli založené na tzv. **Reliability Centered Maintenance (RCM)**, voľne prekladaná ako údržba zameraná na bezporuchovosť alebo bezporuchová údržba.

Tieto postupy sa neustále menia a inovujú. Začínajú sa taktiež postupne implementovať aj do letúnov, ktoré zaradujeme do nižšej kategórie než už vyššie spomínaný B747.

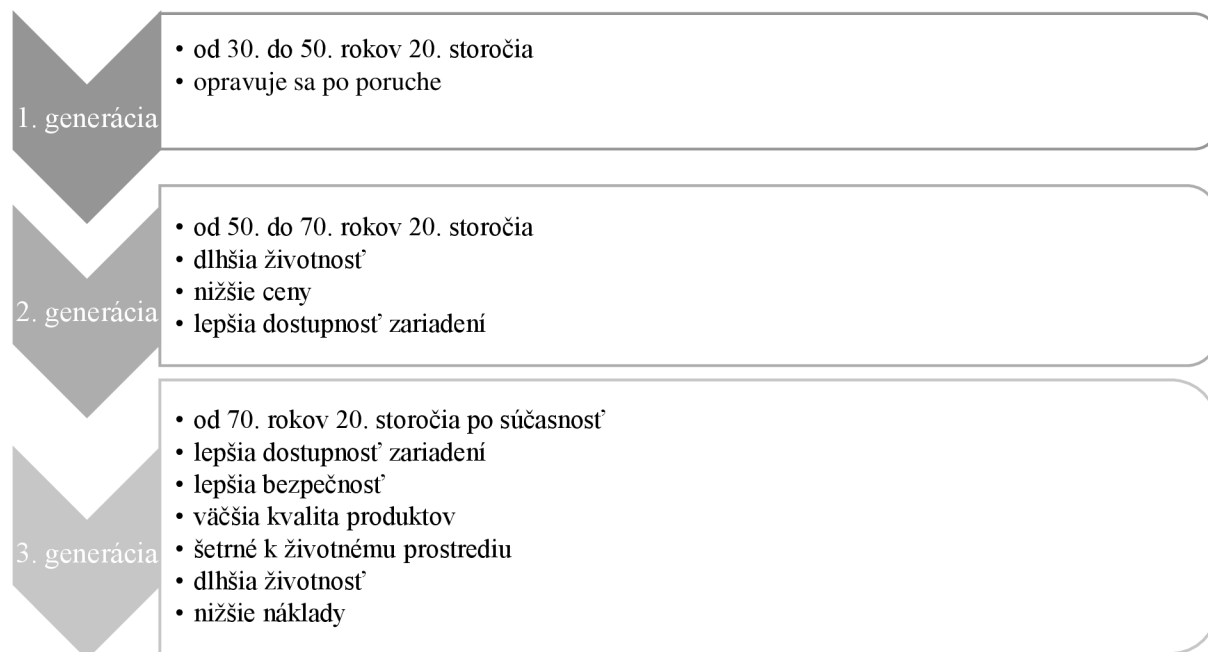
Na tabuľkách nižšie je chronologicky ilustrovaný vývoj údržby počas jednotlivých generácií a ich následný dopad na stav lietadla. Informácie som čerpal z [34].

Vývoj údržby v jednotlivých generáciách:



Tab. 3.1 Vývoj údržby v jednotlivých generáciách

Vplyv údržby na vývoj lietadiel počas generácií:

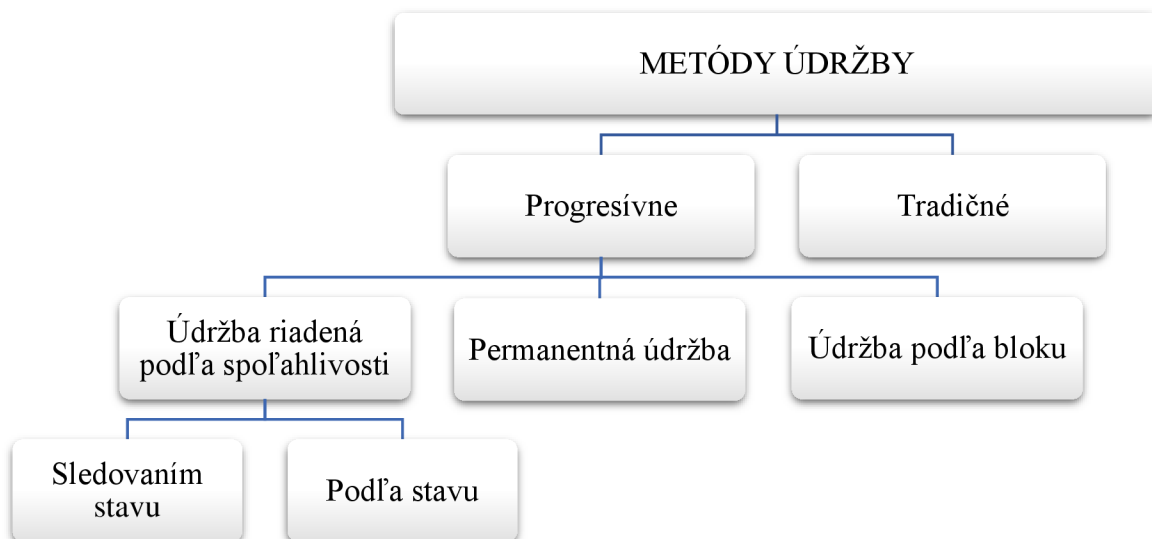


Tab. 3.2 Vplyv údržby na vývoj lietadiel počas generácií

3.2 METÓDY ÚDRŽBY LETECKEJ TECHNIKY

Počas vývoja údržby leteckej techniky sa vyvinulo zopár všeobecných metód, s ktorými sa môžeme stretnúť aj v súčasnej dobe. Metóda Hard-Time prevládala predovšetkým v minulosti. V súčasnosti však letectvo disponuje progresívnejšími a efektívnejšími metódami údržby. Informácie v tejto podkapitole vychádzajú z [35] a ostatných citovaných zdrojov.

Základné delenie metód údržby ilustrujú nasledovné diagramy:



Tab. 3.3 Základné delenie metód údržby



Tab. 3.4 Základné delenie metód údržby podľa závislosti

METÓDY ÚDRŽBY NEZÁVISLÉ NA STAVE:

Pri vykonávaní týchto metód nie je zohľadnený skutočný stav objektu, ktorý je udržiavaný. Údržbárske práce sú uskutočnené aj v prípade, kedy je objekt v poriadku. Metódy údržby nezávislé na stave sa vykonávajú v periodicky sa opakujúcich intervaloch. Túto metódu používame v prípade, ak opotrebovanie častí a komponentov je závislé na čase. Metóda sa vyznačuje vysokými nákladmi, presnosťou a veľkými prestojmi lietadiel. Čerpám informácie predovšetkým z [35].

a) Tradičná metóda údržby (Hard-Time)

Hlavná myšlienka metódy je založená na pevne stanovených periodicky sa opakujúcich intervaloch. Patrí medzi prvé metódy, ktoré sa zaoberajú periodicitou údržby. V dnešnej dobe sa s touto metódou stretávame hlavne vo všeobecnom letectve a taktiež u komponentov, pri ktorých je náročné predpovedať životnosť.

Medzi výhody tejto metódy patrí fakt, že prehliadky údržby sú jednoduché, častokrát len vizuálne a sú dané pevne stanovenými intervalmi.

Medzi nevýhody patrí vysoká náročnosť, či už časová alebo ekonomická.

V súčasnosti sa Hard-Time metóda používa pri výmene agregátov, po uplynutí technickej životnosti alebo po poruche, taktiež pri nenáročných kontrolách a u preventívnych prehliadok.

b) Údržba podľa blokov

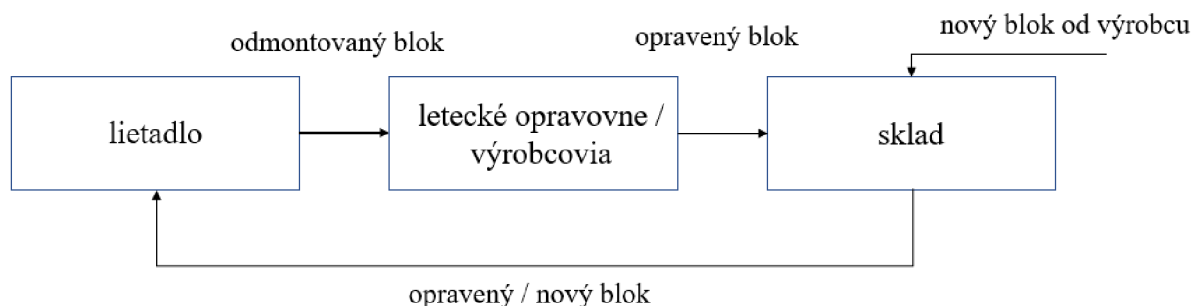
Táto metóda spočíva v skutočnosti, že lietadlo je rozdelené do funkčných blokov, ktoré sa z neho dajú demontovať a následne preskúšať. Blok sa dá ďalej rozobrať na jednotlivé súčiastky (tie môžu byť buď opraviteľné, alebo nie). V súčasnosti sa metóda teší veľkej obľube a rozšírenosti, dá sa skombinovať aj s metódami závislými na stave.

Príkladom tejto blokovej údržby je pohonná jednotka, ktorá sa v rámci generálnej opravy (GO) demontuje z určitého lietadla a rozoberie. Zatiaľ čo prebieha GO, na dané lietadlo je namontovaná iná pohonná jednotka (náhrada funkčného bloku), takže lietadlo môže naďalej vykonávať svoju činnosť s vymeneným novým „blokom“ (inak by bolo kvôli GO motoru uzemnené).

Dôležitou výhodou metódy je významné zníženie prestoja lietadiel, a rýchle obnovenie prevádzky. Nevýhodou môže byť fakt, že nesprávne zostavenie komponentov (montáž) vedie k vzniku rôznych porúch.

Predpoklady pre zavedenie metódy:

- 1) *Rozdelenie lietadla do blokov už počas návrhu*
 - a. Podľa účelu bloku
 - b. Podľa agregátov
- 2) *Konštrukčne technologická schopnosť lietadla*
 - a. Ľahký prístup k blokom
 - b. Jednoduchá vymeniteľnosť
 - c. Zjednotenie a normalizácia
 - d. Použitelnosť kontrolnej meniacej techniky



Tab. 3.5 Schéma údržby podľa bloku [36]

c) **Permanentná údržba**

Podstatou permanentnej údržby je rozdelenie procesov komplexnejších opráv do menších nezávislých čiastočných činností.

Pomocou tohto procesu je omnoho kratšia doba prevoja lietadla, čo predstavuje značnú výhodu. Nevýhodou tejto metódy je nutnosť personálu, ktorý je špeciálne zaškolený, či už na vykonávanie generálnych opráv alebo pri opravách na nižších stupňoch údržby. Medzi ďalšiu nevýhodu patria vysoké nároky na plánovanie prác personálu.

METÓDY ÚDRŽBY ZÁVISLÉ NA STAVE:

Tieto metódy sa opierajú o poznatky parametrov spoľahlivosti (napr. pravdepodobnosť poruchy) jednotlivých komponentov a celkov. Metódy údržby nezávislé na stave sa opierajú o chovanie a vlastnosti súčiastok behom prevádzky. Základ metódy je založený na teórii spoľahlivosti, pravdepodobnostných predpovediach a teórii diagnostiky.

a) **Metóda údržby podľa stavu (On Condition)**

Táto metóda spočíva na periodickej alebo nepretržitej kontrole stavu objektu. Na kontrolu stavu objektu využíva monitorovacie prístroje. Technický stav objektu sa charakterizuje pomocou vlastností ako teplota, tlak, otáčky, a iné. Zmeny tohto technického stavu sa určujú porovnaním prepísaných a skutočných vlastností (parametrov) objektu. K vykonaniu opravy príde vtedy, ak namerané parametre prekročia mieru tolerancie.

Výhodou metódy je, že údržba prebieha len vtedy, ak je to naozaj nutné. Je veľmi efektívna – ako časovo, tak aj v spotrebe materiálu na náhradné diely.

Nevýhodou je skutočnosť, že diagnostické zariadenia sú častokrát veľmi drahé a zložité na obsluhu.

b) **Metóda sledovaním stavu (Condition monitoring)**

Metóda údržby sledovaním stavu sa používa v takých systémoch a komponentoch, kde nie je možné použiť predchádzajúce metódy. Táto metóda sa využíva pri prvkoch, u ktorých sa nedá stanoviť životnosť. Súčasti pracujú až do poruchy, následkom ktorej musia byť opravené alebo vymenené. Ak sa jedná o drobnú poruchu môže byť prvok naďalej používaný, avšak musí byť častejšie kontrolovaný. Dôležitou skutočnosťou však je, že porucha nesmie mať za následok ohrozenie bezpečnosti letu.

Všetky spomenuté metódy údržby sú v súčasnosti aplikované u lietadiel všeobecného letectva, niektoré viac, niektoré menej. Keďže témou bakalárskej práce sú jednomotorové letúne s piestovým motorom (kategória SEP), ktoré spadajú do GA, tak niektorá (alebo viaceré) zo spomínaných metód údržby by mohla byť vhodná aj pre údržbu bezpilotných lietadiel.

Najprv by bolo vhodné ešte spomenúť moderné metódy údržby, ktoré sa používajú hlavne u veľkých dopravných lietadiel, no razia si cestu aj do GA.

Údržba zameraná na bezporuchovosť – RCM (Reliability Centered Maintenance)

Táto metóda údržby sa zameriava na čo najvyššiu efektívnosť preventívnej údržby jednotlivých komponentov, kde využíva stromy logického rozhodovania. RCM sa používa okrem letectva aj v iných odvetviach, napr. v chemickom a energetickom priemysle. V letectve sa častejšie stretnete so skratkou MSG (z anglického Maintenance Steering Group), ktorá je založená na RCM metódach len špecifikovaná na letecké odvetvie.

MSG (Maintenance Steering Group)

Kvôli zvyšujúcim sa nárokom na efektívnosť údržby lietadla bola vytvorená skupina MSG, ktorej hlavnou náplňou bolo vypracovať metódy údržby pre letún B747. Táto metóda prešla postupným vývojom od **MSG-1**, ktorá pozostávala z údržby Hard-Time a údržby podľa stavu. V tejto metóde sa po prvý krát použili rozhodovacie diagramy pri vývoji a údržbe lietadla.

V roku 1970 bola požiadavka použiť metódu MSG aj na iný typ lietadla, než ako na B747. Vznikol tak druhý nový typ metódy **MSG-2**. Táto metóda obsahovala postupy údržby monitorovaním stavu a úpravy použiteľnosti.

Avšak **MSG-2** obsahovala viaceré nedostatky ako napríklad: zložitosť riadenia a organizácie, nedostatočné informácie na rozlíšenie druhu údržby (z bezpečnostných alebo ekonomických hľadísk). V roku 1972 sa mierne pozmenila na verziu EMSG (európska verzia MSG). **MSG-2** má tzv. *procesne orientovanú logiku údržby*.

Posledná tretia verzia **MSG-3** (v roku 1979) upravovala nedostatky, ktoré sa našli popri používaní **MSG-2**. Od doby vzniku je nepretržite aktualizovaná a dopĺňovaná.

MSG-3 má na rozdiel od **MSG-2** *úlohovo orientovanú logiku údržby* – údržba je rozdelená na konkrétne úlohy.

Jednotlivé úlohy sú zoradené podľa nákladov (od najnižších po najvyššie). V závislosti dopadu poruchy vyberáme konkrétne úlohy.

Obecné úlohy vyberané pri údržbe sú nasledovné:

1. *Bežná kontrola* (napr. mazanie) – patrí medzi údržbu na zachovanie funkcie stroja
2. *Vizuálna kontrola* (prevádzková) – cieľom tejto kontroly je zistiť plnenie funkcie zariadenia alebo zistiť jeho poruchu
3. *Funkčná kontrola* (inšpekcia) – kontroluje kvantitatívne vlastnosti zariadenia
4. *Rekonštrukcia* – k navráteniu zariadenia do požadovaného stavu je nutná výmena komponentov, alebo ich renovácia
5. *Vyradenie* – zariadenie sa po uplynutí životnosti vyradí z prevádzky

Okrem rozdielu v logike údržby, máme pri **MSG-2** a **MSG-3** podstatný rozdiel aj v analýze.

Analýza **MSG-2** má charakter „od spolu nahor“ – analyzuje sa od jednotlivých súčastí až po samotný stroj (výrobok). **MSG-3**, má však opačný spôsob analýzy: „od vrchu dolu“ – analyzuje sa od výrobku po jednotlivé súčasti.

3.3 PROGRAM ÚDRŽBY (KATEGÓRIA LIETADIEL SEP, SP)

Jednomotorové lietadlá s piestovým motorom (kategória SEP – Single Engine Piston aircraft) s jedným pilotom na palube (kategória SP – Single Pilot) spadajú pod legislatívu všeobecného letectva, kde je najpoužívanejšou metódou údržby tzv. Hard time. V praxi to znamená, že tieto letúne majú v programoch údržby jasne definované počty hodín, po ktorých musí byť vykonaná stanovená údržba. V rámci údržby chápeme vykonanie istej modifikácie, prehliadky, výmeny, opravy ako aj generálnej opravy za cieľom nájdania a odstránenia porúch, zabezpečenia alebo zlepšenia funkčnosti i zachovania spoľahlivosti a úžitkovej hodnoty lietadla.

Program údržby je jednou z dôležitých podmienok pre získanie oprávnenia na vykonávanie komerčnej činnosti. Rozsah servisných prác je pri využívaní lietadla na letecké práce (komerčné účely) vyšší než pri nekomerčnom použití, čo nariaďuje predpis. Každý rok musí byť lietadlo podrobené odbornej inšpekcii zo strany národného leteckého úradu, na základe čoho je obnovovaná letová spôsobilosť. V rámci programu údržby sú predpísané intervaly jednotlivých úkonov, najčastejšie v rozmedzí každých 50,100 alebo 200 odlietaných hodín. Pravidlom býva, že čím viac letových hodín do údržby, tým je údržba komplexnejšia.

Údržbové organizácie CAMO a CAO sa zaoberajú zabezpečovaním letuschopnosti lietadiel a každá má vlastnú predpisovú časť a to Part-CAMO a Part-CAO.

- CAMO (z anglického Continuing airworthiness management organisation) rieši všetky typy lietadiel a prevádzky
- CAO (z anglického Combined – continuing airworthiness management and/or maintenance – organisation) sa zaoberá nekomplexnými lietadlami a leteckými dopravicami bez licencie

Legislatíva prevádzky letúnov všeobecného letectva sa nachádza v leteckom predpise L6/II a ich údržba je pojednávaná v Hlave 8 - ÚDRŽBA LETÚNOV. [11] Tento dokument sa odkazuje na nariadenie komisie EÚ, ktoré bolo nahradené novším s názvom „NARIADENIE KOMISIE (EÚ) č. 1321/2014 z 26. novembra 2014 o zachovaní letovej spôsobilosti lietadiel a výrobkov, súčastí a zariadení leteckej techniky a o schvaľovaní organizácií a personálu zapojených do týchto činností“, ktorého znenie obsahuje aj PART M (Požiadavky pre zachovanie letovej spôsobilosti), PART 66 (Osvedčujúci personál), PART 145 (Oprávnené organizácie k údržbe) a PART 147 (Požiadavky na výcvikové organizácie) od EASA. [21]

Časť tohto nariadenia, ktorá hovorí o programe údržby, nájdete v *Prilohe B*.

Dôležitým faktom o programe údržby je, že musí obsahovať úlohy a intervaly údržby, hlavne tie, ktoré sa vymedzili ako povinné v pokynoch pre zachovanie letovej spôsobilosti. Údržba vykonaná v období medzi plánovanou údržbou sa zapisuje do technického denníku lietadla, známeho ako ATL (z anglického Airplane Technical Log), ktorý by mal byť pri každom lete na palube lietadla.

Lietadlá všeobecného letectva kategórie SEP majú najčastejšie program údržby rozdelený na jednotlivé funkčné celky ako trup, kabína, krídla, chvostové plochy, podvozok, motor a ďalšie. Rozdelené môžu byť aj systémy na elektrické, pneumatické, hydraulické a ostatné systémy. V každom celku je niekoľko komponentov, pre ktoré je predpísaný istý typ údržby a časový interval. V poslednej kapitole si predstavíme konkrétny plán údržby pre UAS, ktorý vychádza z kategórie SEP.

4. ÚDRŽBA BEZPILOTNÝCH LIETADIEL

Bezpilotné letecké systémy predstavujú nové výzvy týkajúce sa údržby. Momentálne neexistuje žiadna oficiálna všeobecná príručka alebo predpis o tom, ako vykonávať údržbu týchto strojov. Plán údržby momentálne predpisujú len niektorí výrobcovia UAS špeciálne pre svoj produkt. Tým, že legislatíva bezpilotných systémov nie je hotová, ale len v štádiu kompletizácie a predpisy na ich údržbu sú nejasné, tak užívatelia dnešných UAS často vykonávajú údržbu podobne ako tomu bolo v počiatkoch leteckej údržby, t.j. po lete/oprava po poruche, ak je to ešte možné. Z toho vyplýva, že kvalita údržby je priamo závislá od skúseností a kompetencií užívateľa/mechanika. Štúdie ukazujú, že nedostatočná údržba sa považuje za jednu z najbežnejších príčin systémového zlyhania UAS, ako odkazuje Martinetti s kolektívom (2018) v ich odbornom článku.[40]

V dnešnej dobe väčšina používaných UAS na komerčné účely zapadá do váhovej kategórie do 25kg, takže pre okolie predstavujú malé alebo maximálne stredné riziko. Údržba týchto strojov je zatiaľ riešená predovšetkým odporúčaniami výrobcov, keďže nie je striktné regulovaná predpismi, ako už bolo spomínané. Málokteré UAS v komerčnej sfére dnes majú nad 150kg, takže by spadali do kategórie s vysokým rizikom. Avšak je veľmi pravdepodobné, že vysokorizikové, ťažké UAS budú s rokmi násobne pribúdať. Je nevyhnutné zlepšiť údržbu v bezpilotnom odvetví letectva a zistiť, aké sú vhodné postupy a metódy údržby pre bezpilotné systémy za účelom zaistenia bezpečného prevádzkového prostredia.

Ako vhodný kandidát sa javí údržba zameraná na bezporuchovosť (RCM), ktorá je obľúbená aj pri údržbe inej než leteckej techniky. Odvodenu metódu údržby MSG-3 pre UAS základne skúmal vedecký tím z Portugalska, ktorý ju popisuje vo svojom odbornom článku a v závere hodnotí, že je vhodné získať viac reálnych dát na jej zlepšenie a aplikáciu.[41]

Keď opomenieme pozemnú časť bezpilotných systémov ako sú riadiace stanice alebo vypúšťacie zariadenia, tak bezpilotné lietadlo môžeme rozdeliť na jednotlivé celky / systémy. Možné rozdelenie by bolo na systém konštrukcie, pohonný systém a elektrické systémy podobne ako u bežných lietadiel GA, no doplnený o systémy pre zabezpečovanie automatického letu, navigačné systémy, komunikačné a prípadne aj pozorovacie systémy. Pre každý druh UAS môže byť toto rozdelenie čiastočne iné a je najlepšie špecifikovať rozdelenie na konkrétny stroj. V nasledujúcej podkapitole je predstavený návrh postupov a systému údržby pre konkrétne bezpilotné lietadlo.

4.1 NÁVRH POSTUPOV A SYSTÉMU ÚDRŽBY PRE BEZPILOTNÉ LIETADLO PIPISTREL SURVEYOR

Pre účely návrhu systému údržby bezpilotného lietadla bol vybraný letún Pipistrel Surveyor. Jedná sa o typ UAS, ktorý sa vyrába vo viacerých variantoch a je schopné vykonávať plejádu funkcií. Konštrukcia bezpilotného systému Surveyor vychádza z úspešného ľahkého športového lietadla Pipistrel Virus SW 121. Momentálne vo svete lieta takmer 200 kusov tohto UAS aj v podobe upravenej verzie OPV (voliteľne pilotovaného lietadla). Okrem rôznych komerčných firiem tento typ využíva napríklad Národný úrad pre letectvo a vesmír v USA (NASA), Ministerstvo vnútra Slovenskej republiky alebo Ministerstvo obrany Čínskej ľudovej republiky. Surveyor vie byť použitý na denné aj nočné úlohy, medzi ktoré patria napr. monitorovanie hraníc a strategických objektov, prieskumné misie, rušenie signálov, lokalizovanie pytlíakov a nepovolených aktivít v národných parkoch a iných chránených oblastiach alebo sledovanie cestnej premávky. Súkromné firmy ich využívajú napríklad na letecké snímkovanie, 2D a 3D skenovanie terénu (vytváranie modelov a kartografických podkladov), kontrolu vedenia vysokého napätia, potrubí, ale aj na zber rôznych údajov (mera znečistenia vzduchu alebo dosah signálov).



Obr. 4.1 UAS Pipistrel Surveyor [39]

Slovenský výrobca Pipistrel ponúka 6 modelov tohto UAS, rozdelených podľa dostupnosti a výdrže:

- 1) LASE (Low Altitude Short Endurance) s nízkym dostupom a malou vytrvalosťou
- 2) LAME (Low Altitude Medium Endurance) s nízkym dostupom a strednou vytrvalosťou
- 3) MASE (Medium Altitude Short Endurance) so stredným dostupom a malou vytrvalosťou
- 4) MAME (Medium Altitude Medium Endurance) so stredným dostupom a strednou vytrvalosťou
- 5) MALE (Medium Altitude Long Endurance) so stredným dostupom a dlhou vytrvalosťou
- 6) HALE (High Altitude Long Endurance) s vysokým dostupom a dlhou vytrvalosťou

Pre nízky dostup výrobca udáva maximálnu výšku 12000 ft (3 657 m), pre stredný 18000 ft (5 486 m) a pre vysoký 30000 ft (9144 m).

Výdrž Pipistrel definuje do 4 hodín pre LASE, do 6 h pre LAME, do 5h pre MASE, do 15 h pre MAME, do 24 h pre MALE a do 20 h pre HALE, pre let cestovnou rýchlosťou okolo 110 kt (204 km/h). Pri úspornejších režimoch letu sa vytrvalosť zvyšuje vzhľadom k úspore paliva, napr. u modelu MALE výrobca uvádza výdrž až 33 hodín.

Pre podrobnejšiu analýzu bol vybraný model MASE bezpilotného systému Pipistrel Surveyor.

ZÁKLADNÉ ÚDAJE:	
Model:	MASE
Rozpätie krídel	10,7 m
Odnímateľné konce krídla	nie
MTOM	600 kg (pri 4,0g)
MZFW	555 kg
Objem paliva	2 x 50 litrov na každú nádrž
Podvozok	typ s príďovým podvozkom
Certifikovaný motor	Rotax 912 S3, 100 hp, 2 karb., prevodovka motora V3 a regulátor otáčok
Vrtuľa	MTV-33-1-A / 170-200, 2 listá, certifikovaná EASA, hydraulická, konštantných otáčok
Základná certifikácia	Štruktúra a systémy EASA CS-LSA, modifikácie delta od základnej línie podľa ASTM F2245

Tab. 4.1 Základné údaje [39]

VÝKONY A LIMITY:	
Model:	MASE
Maximálna výška	18000 ft
Typická prevádzková výška	2000 -12000 ft
Cestovná rýchlosť	120-130 KTAS
Úsporná rýchlosť	70-90 KIAS
Vytrvalosť pri cestovnej rýchlosti	až 5 hodín
Vytrvalosť pri úspornej rýchlosti	až 8 hodín
Rýchlosť pri nárazoch vetra (prienik turbulencie)	120 KCAS
Obmedzenie rýchlosti letu so zariadením prenášaným na externých závesoch	108 KCAS

Tab. 4.2 Výkony a limity [39]

Navrhovaný plán údržby modelu MASE bezpilotného lietadla Pipistrel Surveyor je zobrazený v nasledujúcich tabuľkách. Ako modelový príklad som si vybral tradičnú metódu údržby spojenú s pravidelnými kontrolami. Vychádzam z dostupných údajov od výrobcu a niekoľko rokov v praxi osvedčeného plánu údržby. Aplikácia pokročilejšej metódy MSG-3 by nebola adekvátne, keďže nie sú dostupné dáta poruchovosti jednotlivých komponentov a bakalárska práca vychádza z programu údržby kategórie SEP, kde sa používa aplikovaná metóda. [38]

Legenda:

- Č Čistenie – odstraňovanie nečistôt (vykonáva prevádzkovateľ)
- GO Generálna oprava (vykonáva len autorizovaný mechanik)
- K Kontrola – vizuálna kontrola, či je všetko na správnom mieste a kontrola správnej funkcie (vykonáva prevádzkovateľ)
- L Lubrikácia – namazanie všetkých určených častí a miest pomocou vhodného maziva (vykonáva prevádzkovateľ)
- ŠK Špeciálna Kontrola - meranie, overovanie tolerancií a funkčnosti (vykonáva len autorizovaný mechanik)
- V Výmena – náhrada označených častí bez ohľadu na stav (nenáročné výmeny môže vykonávať prevádzkovateľ, ostatné autorizovaný mechanik)

	Denne	5 hodín	50 hodín	100 hodín	200 hodín	500 hodín	1000 hodín	10000 hodín
TRUP							ŠK	GO
Stav povrchu a štruktúry	K						ŠK	
Ložisko ovládacieho tiahla výškového kormidla				K		ŠK		
Upevňovacie body vzpier podvozku		K	K	ŠK				
Dvere, pánty	K	K		ŠK	L			
Laná a závesy smerového riadenia		K	K			ŠK		

Tab. 4.3 Trup

	Denne	5 Hodín	50 hodín	100 hodín	200 hodín	500 hodín	1000 hodín	10000 hodín
KRÍDLA A CHVOSTOVÉ PLOCHY							ŠK	GO
Stav povrchu a štruktúry	K				ŠK			
Výchylky bez voľností	K			ŠK				
Ložiská - puzdrá pohyblivých častí	K					ŠK		
Svetlá	K							
Samolepiaca tesniaca páska	K	K			ŠK			
Horizontálne uchytenie chvosta	K	K		ŠK				
Vypúšťacie otvory	Č							

Tab. 4.4 Krídla a chvostové plochy

	Denne	5 hodín	50 hodín	100 hodín	200 hodín	500 hodín	1000 hodín	10000 hodín
KABÍNA							ŠK	GO
Ovládacie prvky, prístrojové vybavenie	K	K	K	ŠK				
Vôľa v riadení	K	K		ŠK				
Pitot-statické prístroje	K	kontrolovať ročne						
Sklenené povrchy: čisté, pripevnené	K	K			ŠK			
Stav nitov	K					ŠK		
Bezpečnostné pásy a úchytné body	K			ŠK				
Záchranný padákový systém, aktivačný mechanizmus	K					ŠK		
Konektory krídel: palivové, elektrické	K	K		ŠK				
Skrutky a čapy	K	K		ŠK				
Hlavné úchyty krídel, prepojenie ovládania		K		ŠK				

Tab. 4.5 Kabína

	Denne	5 hodín	50 hodín	100 hodín	200 hodín	500 hodín	1000 hodín	10000 hodín
PODVOZOK								GO
Pneumatiky	K	Meniť podľa stavu alebo každých 5 rokov						
Hlavná vzpera príďového podvozku	K	K		ŠK				
Os kolies a kolesá				K				
Hydraulické brzdové vedenie	K			ŠK			V	
Brzdová kvapalina	K				ŠK	V (po 500 h. alebo 5 r.)		
Brzdové kotúče					ŠK	V (podľa stavu)		
Kolesové ložiská			K		ŠK	V		
Hlavné uchytenie kolesa			K			V		
Kryty kolies	K	K	K					

Tab. 4.6 Podvozok

	Denne	5 hodín	50 hodín	100 hodín	200 hodín	500 hodín	1000 hodín	10000 hodín
OVLÁDANIE (L každých 200 hodín alebo ročne)								V
Všeobecné voľnosti	K	K		ŠK				
Tiahla	K			L		ŠK		
Systém smerového riadenia (poškodenie, kalibrácia, správne fungovanie)	K	K		K				
Laná riadenia kormidla	K			ŠK				
Skrutky, viditeľné ložiská (chvost, trup)				ŠK				
Ťažko dostupné ložiská (krídla, pod podlahou kabíny)						L+ŠK		
Závesy krídel, výškového a smerového kormidla				ŠK				
Rovnomerné vysúvanie spojlerov a ich plynulý pohyb	K			ŠK		L+ŠK		
Tuhosť pružín spojlerov	K		L					
Rukoväť klapiek	K			ŠK				
Vyváženie			K	V (káble každých 500 h.)				
Pružiny: klapky, smerové kormidlo, el. vyváženie, hlavná upevňovacia skrutka stabilizátora				L	K	V		

Tab. 4.7 Ovládanie

	Denne	5 hodín	50 hodín	100 hodín	200 hodín	500 hodín	1000 hodín	10000 hodín
VRTUĽA A VRTUĽOVÝ KUŽEL					ŠK	GO		
Stav povrchu	K							
Upevňovacie skrutky					V			
Vrtuľové puzdrá/ložiská					V			
Uhol nábehu vrtule	K				ŠK			
Vyváženie vrtule	K				ŠK			

Tab. 4.8 Vrtuľa a vrtuľový kužel

	Denne	5 hodín	50 hodín	100 hodín	200 hodín	500 hodín	1000 hodín	10000 hodín
MOTOR	Postupujte podľa manuálu výrobcu motoru ROTAX.							
Štvortaktný motor ROTAX (generálna oprava každých 1500 hodín)			Od sériového čísla motora 4404718 (podľa výrobcu)					
Skrutky krytu motoru	K	K		K				
Upevnenie motoru	K	K		ŠK				
Tlmiče na motorových ložiach a ostatné gumené časti		K		ŠK		V (každých 500 h. alebo 5 r.)		
Vzduchový filter	K	K		Č		ŠK		
Svorky, spojky a konektory, hadice, držiak chladiča	K	K		ŠK				
Výfukový tlmič	K	K		ŠK		ŠK		
Pružiny výfukového potrubia a ochrana pred ohňom	K	K		ŠK		V		
Škrtiaca klapka, sýtič, reduktor				ŠK		V		

Tab. 4.9 Motor

	Denne	5 hodín	50 hodín	100 hodín	200 hodín	500 hodín	1000 hodín	10000 hodín
OVLÁDANIE MOTORU								GO
Drôtené laná sýtiča a škrtiacej klapky	K	K		ŠK		V		
Páky	K			ŠK				
Riadiaca jednotka	K			ŠK				

Tab. 4.10 Ovládanie motoru

	Denne	5 hodín	50 hodín	100 hodín	200 hodín	500 hodín	1000 hodín	10000 hodín
PALIVOVÝ SYSTÉM	GO (každých 1000 h. alebo 5 r.)							
Všeobecný únik	K	K		ŠK				
Voda vo vnútri palivového filtra	K							
Palivový filter		Č	Č	Č		V		
Uzávery palivovej nádrže krídla	K							
Tesniaci krúžok palivovej nádrže				V (každých 500 h. alebo 5 r.)				
Palivové ventily a netesnosti	K							

Tab. 4.11 Palivový systém

	Denne	5 hodín	50 hodín	100 hodín	200 hodín	500 hodín	1000 hodín	10000 hodín
ELEKTROINŠTALÁCIA							ŠK	V
Batérie	K	K		ŠK				
Tekutiny batérií		K	K	ŠK				
Kabeláž a konektory prístrojov		K		K				
Kabeláž a konektory automatického riadenia	K	K		ŠK				
Riadiaca jednotka	K	K		ŠK				
Navigačné, pozičné a pristávacie svetlá	K	K						
Poistky		K		K				

Tab. 4.12 Elektroinštalácia

	Denne	5 hodín	50 hodín	100 hodín	200 hodín	500 hodín	1000 hodín	10000 hodín
OLEJOVÉ A VODNÉ ROZVODY				GO (každých 500 h. alebo 5 r.)				
Hladina oleja a chladiacich kvapalín	K	K						
Únik oleja a chladiacich kvapalín	K	K						
Motorový olej (a filter)	(podľa príručky motora)							
Hladina chladiacej kvapaliny	(podľa príručky motora)							
Hadice	K	K				V		
Chladič	K	K						
Tlakový uzáver chladiča	(podľa príručky motora)							

Tab. 4.13 Olejové a vodné rozvody

	Denne	5 hodín	50 hodín	100 hodín	200 hodín	500 hodín	1000 hodín	10000 hodín
ROZVODY PITOT-STATICKEHO SYSTÉMU							ŠK	GO
Kontrola rozvodov pitotovej trubice		K		K				
Nastavenie prístrojov	K	K						
Stav pitotovej trubice (čistá, pevne pripevnená)	K	K						
Celý pitot-statický systém		K		K				

Tab. 4.14 Rozvody pitot-statického systému

Jednotlivé tabuľky zobrazujú systémové celky ako trup, krídla a chvostové plochy, kabína, podvozok, motor a tak ďalej, pod ktorými sa nachádzajú dôležité komponenty na údržbu. Pre každý komponent je definovaný druh údržby alebo vhodné postupy k zabezpečeniu prevádzkyschopnosti pri vhodnej miere bezpečnosti.

Postupy a systém údržby sú pre komerčnú prevádzku UAS v danom prípade veľmi podobné s postupmi a systémom údržby jednomotorového lietadla s posádkou na obchodné účely. Zložitejšie a obsiahnejšie riešenie danej problematiky môže byť námetom pre nasledujúcu diplomovú prácu.

ZÁVER

Údržba UAS je komplexná problematika, ktorá by mohla byť spracovaná do niekoľkých kníh. V mojej bakalárskej práci som sa snažil zhrnúť to najpodstatnejšie z dotknutej problematiky.

V úvode boli stanovené ciele, vysvetlené dôležité pojmy a skratky z oblasti bezpilotných lietadiel a údržby. Nasledoval prehľad bezpilotných systémov, kde sme zistili, akým dlhým a komplexným vývojom UAS prešli a ako sa postupne dostali do civilnej a komerčnej sféry. V pokračovaní druhej kapitoly boli definované najpoužívanejšie rozdelenia podľa rôznych kategórií, adekvátne k práci. Záverom druhej kapitoly o bezpilotných systémoch bola časť legislatívy, ktorá predstavila platné predpisy, hlavne v Európskej únii, konkrétnejšie v Česku a na Slovensku. Ďalej poukázala na momentálne rozdiely a pravdepodobné pokračovanie zjednocovania predpisov v EÚ.

Tretia kapitola predstavila údržbu. V prvej podkapitole údržby boli spomenuté jednotlivé generácie spojené s historickým vývojom, ktoré ukázali dôležitosť tohto odvetvia. Druhá podkapitola zadefinovala používané metódy údržby leteckej techniky, od jednoduchých až po zložité. Program údržby lietadiel kategórie SEP, SP a s ním spojené pojmy tvorili obsah poslednej podkapitoly tejto sekcie.

Údržba bezpilotných lietadiel je prezentovaná v poslednej, štvrtej kapitole. Hlavným cieľom bakalárskej práce bol návrh postupov a systému údržby bezpilotných lietadiel, ktorý je vypracovaný v prvej a rovnako poslednej podkapitole. Bola predstavená tradičná metóda údržby s pravidelnými kontrolami pre konkrétny model UAS Pipistrel Surveyor. Toto bezpilotné lietadlo môže byť použité na rôzne účely v komerčnej prevádzke, ako napríklad na monitorovanie poľnohospodárskej pôdy na rozsiahlych územiach alebo prepravu nákladu. Postupy a systém údržby je pomerne jednoduchý vzhľadom na zvolený typ UAS. Keďže bola zvolená téma komerčnej prevádzky kategórie jednomotorových lietadiel s piestovým motorom a jej porovnanie s použitím postupov do bezpilotného sektoru, je preukázané, že tieto postupy sú aplikovateľné. Je jasné, že pri menších UAS by bola údržba ešte viac zjednodušená, keďže klesá počet súčiastok a tiež spoločenské riziko.

Hlavný cieľ práce ako aj vedľajšie, ktoré si brali za úlohu oboznámiť čitateľa s problematikou bezpilotných lietadiel a údržby, boli v rámci limitácie rozsahu a časových možností naplnené. Detailnejšie pokračovanie by bolo možné spracovať v ďalšej akademickej práci vyššieho stupňa.

Pri zrode letectva stála túžba ľudí vidieť svet z vtácej perspektívy. Postupným vývojom technológií prestal byť pohľad na krajinu z výšky výsadou aviatikov a túto možnosť dostali všetci. S nástupom novovytvorených pravidiel a rozvojom UAS bude letectvo iné ako ho doposiaľ poznáme. Je dôležité, aby aj v budúcnosti ľudia zainteresovaní v letectve dohliadali na bezpečnosť, presadzovali efektívnejšie a ekologickejšie spôsoby dopravy, no pri tom nestratili pôvodné nadšenie z lietania.

ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV

- [1] KARAS, Jakub a Tomáš TICHÝ. Drony. Brno: Computer Press, 2016. ISBN 978-80-251-4680-4.
- [2] MURPHY, Justin D. Military Aircraft, Origins to 1918: An Illustrated History of Their Impact [ebook]. Santa Barbara (California): ABC-CLIO, 2005 [cit. 2020-04-19]. ISBN 1-85109-493-8.
- [3] EURÓPSKA ÚNIA. EASA's perspective on Drones: On Air, Issue 11 - EASA and the world of Drones [online]. 2016 [cit. 2020-04-19]. Dostupné z: <https://www.easa.europa.eu/newsroom-and-events/news/easas-perspective-drones>
- [4] EURÓPSKA ÚNIA. Easy Access Rules for Unmanned Aircraft Systems (Regulations (EU) 2019/947 and (EU) 2019/945). EASA, 2020. Dostupné také z: <https://www.easa.europa.eu/document-library/general-publications/easy-access-rules-unmanned-aircraft-systems-regulation-eu>
- [5] 1910s & 1920s. UAV universe [online]. [cit. 2020-04-19]. Dostupné z: <https://sites.google.com/site/uavuni/1910-s>
- [6] Flexing Fledgling Wings at Farnborough. In: ENGINEERS AT WAR [online]. [cit. 2020-04-19]. Dostupné z: <http://engineersatwar.imeche.org/features/royal-aircraft-factory>
- [7] Aerostat [online]. Encyclopaedia Beliana, ISBN 978-80-89524-30-3. [cit. 2020-04-19]. Dostupné na internete: <https://beliana.sav.sk/heslo/aerostat>
- [8] Aerodyn [online]. Encyclopaedia Beliana, ISBN 978-80-89524-30-3. [cit. 2020-04-19]. Dostupné na internete: <https://beliana.sav.sk/heslo/aerodyn>
- [9] ČESKÁ REPUBLIKA. LETECKÝ PŘEDPIS: PRAVIDLA LÉTÁNÍ L 2. Praha: MINISTERSTVO DOPRAVY ČESKÉ REPUBLIKY, 2019. Dostupné také z: https://aim.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-2/data/print/L-2_cely.pdf
- [10] SLOVENSKO. Rozhodnutie č. 2/2019 zo 14.11. 2019, ktorým sa určujú podmienky vykonania letu lietadlom spôsobilým lietať bez pilota a vyhlasuje zákaz vykonania letu určených kategórií lietadiel vo vzdušnom priestore Slovenskej republiky. Bratislava: Dopravný úrad SR, 2019. Dostupné také z: <http://nsat.sk/wp-content/uploads/2019/11/R2-2019.pdf>
- [11] SLOVENSKO. L 6 PREVÁDZKA LIETADIEL: II. ČASŤ VŠEOBECNÉ LETECTVO LETÚNY [online]. In: . Letecká informačná služba Slovenskej republiky, 2008. Dostupné také z: <https://aim.lps.sk/web/index.php?fn=204&lng=sk&sess=jgKd8hRSra5conHS2bruuCCKvxMIH72CCHIDFBJ&doc=1026>
- [12] EURÓPSKA ÚNIA. VYKONÁVACIE NARIADENIE KOMISIE (EÚ) 2019/947 z 24. mája 2019 o pravidlách a postupoch prevádzky bezpilotných lietadiel. In: EUR-lex [právny informačný systém]. Brusel: Úrad pre vydávanie publikácií Európskej Únie, 2019, L 152/45. Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SK/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019R0947&from=EN>
- [13] ICAO. Doc 10019, Manual on Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAS) [ebook]. ICAO, 2015 [cit. 2020-05-08]. ISBN 978-92-9249-718-7.
- [14] KEANE, John a Stephen CARR. A Brief History of Early Unmanned Aircraft. Johns Hopkins APL Technical Digest [online]. 2013, 32(3), 558-571 [cit. 2020-05-11]. ISSN 0270-5214. Dostupné z: <http://search.proquest.com/docview/1686429474/>
- [15] The DH82 Queen Bee V4760: The Queen Bee Autoflight Technology [online]. [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: <http://www.n5490.org/V4760/Technology/Technology.html>

- [16] Winston Churchill and the Secretary of State for War waiting to see the launch of a de Havilland Queen Bee radio-controlled target drone, 6 June 1941. H10307.jpg. In: Wikimedia Commons, the free media repository [online]. [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Winston_Churchill_and_the_Secretary_of_State_for_War_waiting_to_see_the_launch_of_a_de_Havilland_Queen_Bee_radio-controlled_target_drone,_6_June_1941._H10307.jpg
- [17] A BQM-34A Firebee I target drone is launched. In: Wikimedia Commons [online]. [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: https://commons.wikimedia.org/wiki/Ryan_Firebee#/media/File:BQM-34A_Firebee_I_1.JPEG
- [18] Tadiran Mastiff. Wikipedia, the free encyclopedia [online]. [cit. 2020-05-13]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Tadiran_Mastiff
- [19] RQ-2B pioneer uav. In: Wikimedia Commons [online]. [cit. 2020-05-14]. Dostupné z: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:RQ-2B_pioneer_uav.jpg
- [20] MQ-1 Predator unmanned aircraft. In: Wikimedia Commons [online]. [cit. 2020-05-14]. Dostupné z: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:MQ-1_Predator_unmanned_aircraft.jpg
- [21] Úradný vestník Európskej únie, L 362, 17. decembra 2014: NARIADENIE KOMISIE (EÚ) č. 1321/2014 z 26. novembra 2014 o zachovaní letovej spôsobilosti lietadiel a výrobkov, súčastí a zariadení leteckej techniky a o schvaľovaní organizácií a personálu zapojených do týchto činností. Luxembursko: Úrad pre vydávanie publikácií Európskej únie, 2020. ISSN 1977-0790. Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SK/TXT/HTML/?uri=CELEX:02014R1321-20200324&from=SK>
- [22] European Drone Investment - Advisory Platform. In: Európska komisia [online]. 17 October 2019 [cit. 2020-05-17]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/drone_investment_advisory_platform_hand_out.pdf
- [23] DALAMAGKIDIS, Konstantinos, Kimon P. VALAVANIS a Les A. PIEGL. On Integrating Unmanned Aircraft Systems into the National Airspace System: Issues, Challenges, Operational Restrictions, Certification and Recommendations [online]. Second Edition. New York: Springer Science & Business Media, 2012 [cit. 2020-05-20]. ISBN 978-94-007-2479-2. Dostupné z: DOI:10.1007/978-94-007-2479-2
- [24] BENTO, Maria de Fátima. Unmanned Aerial Vehicles: An Overview. Inside GNSS [online]. 2008, , 54-61 [cit. 2020-05-20]. Dostupné z: <https://www.insidegnss.com/auto/janfeb08-wp.pdf>
- [25] VAN BLYENBURGH, Peter. UAS ATM Integration Workshop EUROCONTROL Brussels, Belgium May 8, 2008: UNMANNED AIRCRAFT SYSTEMS UNMANNED AIRCRAFT SYSTEMS The Current Situation The Current Situation. In: Internet Archive [online]. May 8, 2008 [cit. 2020-05-20]. Dostupné z: https://web.archive.org/web/20091228225642/http://www.acrtucson.com:80/Presentations_n_Publications/pdf/6_UVS_International.pdf
- [26] IMAGINE OUR CITIES IN 2030. In: *Airbus* [online]. [cit. 2020-05-22]. Dostupné z: <https://www.airbus.com/company/history/airbus50/day19.html>
- [27] Examples of Potential Commercial Unmanned Aerial Systems Operations. In: United States Government Accountability Office [online]. USA, July 2015 [cit. 2020-05-21]. Dostupné z: <https://www.gao.gov/assets/680/671907.pdf>

- [28] Unmanned Aircraft Systems Roadmap 2005-2030 [online]. USA: United States Department of Defense, 2005 [cit. 2020-05-22]. Dostupné z: https://fas.org/irp/program/collect/uav_roadmap2005.pdf
- [29] Fuel Cells and Other Emerging Manportable Power Technologies for the NATO Warfighter – Part II: Power Sources for Unmanned Applications [online]. Neuilly-sur-Seine Cedex, France: NATO SCIENCE AND TECHNOLOGY ORGANIZATION, 2014 [cit. 2020-05-22]. ISBN 978-92-837-0210-8. Dostupné z: [https://www.sto.nato.int/publications/STO%20Technical%20Reports/STO-TR-SET-173-Part-II/\\$\\$TR-SET-173-Part-II-ALL.pdf](https://www.sto.nato.int/publications/STO%20Technical%20Reports/STO-TR-SET-173-Part-II/$$TR-SET-173-Part-II-ALL.pdf)
- [30] Unmanned Aircraft System (UAS) Service Demand 2015 - 2035: Literature Review & Projections of Future Usage [online]. Cambridge, MA: U.S. Department of Transportation, 2013 [cit. 2020-05-22]. Dostupné z: <https://fas.org/irp/program/collect/service.pdf>
- [31] *Model UAS Regulations: INTRODUCTION TO MODEL UAS REGULATIONS AND ADVISORY CIRCULARS* [online]. Montreal, Canada: ICAO, 2020 [cit. 2020-06-20]. Dostupné z: <https://www.icao.int/safety/UA/UAID/Pages/Model-UAS-Regulations.aspx>
- [32] EURÓPSKA ÚNIA. VYKONÁVACIE NARIADENIE KOMISIE (EÚ) 2020/746 zo 4. júna 2020, ktorým sa mení vykonávacie nariadenie (EÚ) 2019/947, pokiaľ ide o odklad dátumov uplatňovania určitých opatrení v súvislosti s pandemiou COVID-19. In: *EUR-lex [právny informačný systém]*. Brusel: EURÓPSKA KOMISIA, 2020, L 176/13. Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SK/TXT/PDF/?uri=CELEX:32020R0746&from=EN>
- [33] Přehled základních požadavků na bezpilotní systémy. In: *Úřad pro civilní letectví* [online]. Praha: Úřad pro civilní letectví [cit. 2020-06-20]. Dostupné z: <https://www.caa.cz/provoz/letadla-bez-pilota-na-palube/prehled-zakladnich-pozadavku-na-bezpilotni-systemy/>
- [34] MOUBRAY, J. Reliability-centred maintenance. 2nd ed. Oxford: ButterworthHeinemann, 2007, 423 s. ISBN 07-506-3358-1
- [35] KOŠTIAL, R. *Plán prohlídek a údržby draku malého dopravního letounu s využitím moderních přístupů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 198 s. Vedoucí dizertační práce doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D..
- [36] Král, M.: Provoz a údržba letecké techniky II. Brno: VA AZ, 1987, 172 s.
- [37] *U-space* [online]. Brusel: SESAR, 2020 [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: <https://www.sesarju.eu/U-space>
- [38] Service and Repair manual: applies to Sinus 503, Sinus 582 in Sinus 912 equipped with Rotax 503, Rotax 582 and Rotax 912 engines (all TW and NW versions) and Virus 912 equipped with Rotax 912 engine (all TW in NW versions) [online]. Pipistrel, 2005 [cit. 2020-05-25].
- [39] Pipistrel Surveyor. In: Pipistrel [online]. [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: <https://www.pipistrel-aircraft.com/aircraft/surveillance/customized-airborne-platforms/#tab-id-1>
- [40] MARTINETTI, Alberto, Erik Jan SCHAKEL a Leo A.M. VAN DONGEN. Flying asset Framework for developing scalable maintenance program for unmanned aircraft systems (UAS). *Journal of Quality in Maintenance Engineering* [online]. 2018 [cit. 2020-06-20]. DOI: 10.1108/JQME-12-2016-0073. Dostupné z: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/JQME-12-2016-0073/full/pdf?title=flying-asset-framework-for-developing-scalable-maintenance-program-for-unmanned-aircraft-systems-uas>

[41] GONÇALVES, Paula, José SOBRAL a Luis FERREIRA. Establishment of an initial maintenance program for UAVs based on reliability principles. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology: An International Journal* [online]. 2017 [cit. 2020-06-20]. DOI: 10.1108/AEAT-09-2014-0146. ISSN 1748-8842. Dostupné z: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/AEAT-09-2014-0146/full/pdf?title=establishment-of-an-initial-maintenance-program-for-uavs-based-on-reliability-principles>

[42] ČSN IEC 50(191): Medzinárodný elektrotechnický slovník. Kapitola 191: Spoľahlivosť a akosť služieb. Praha: Český normalizační institut, September 1993. 168 s.

ZOZNAM OBRÁZKOV A TABULIEK

Obrázky:

- Obr. 2.1 Stavba bezpilotného lietadla Aerial Target vo Farnborough, Spojené kráľovstvo
- Obr. 2.2 Prípravy na štart UA de Havilland Queen Bee z vypúšťacieho zariadenia, Spojené kráľovstvo
- Obr. 2.3 Vzlet bezpilotného systému Firebee (model BQM-34A), USA
- Obr. 2.4 Bepilotný systém AAI RQ-2B Pioneer za letu, USA
- Obr. 2.5 UAS General Atomics MQ-1 Predator vybavený riadenými strelami AGM-114 Hellfire, USA
- Obr. 2.6 Vízia budúcnosti od firmy Airbus
- Obr. 2.7 Príklady použitia UAS na komerčné účely
- Obr. 2.8 Prehľad základných požiadaviek na bezpilotné systémy v Česku
- Obr. 4.1 UAS Pipistrel Surveyor

Tabuľky:

- Tab. 1.1 Základné delenie lietadiel
- Tab. 2.2 Súhrnná kategorizácia UAS
- Tab. 3.1 Vývoj údržby v jednotlivých generáciách
- Tab. 3.2 Vplyv údržby na vývoj lietadiel počas generácii
- Tab. 3.3 Základné delenie metód údržby
- Tab. 3.4 Základné delenie metód údržby podľa závislosti
- Tab. 3.5 Schéma údržby podľa bloku
- Tab. 4.1 Základné údaje
- Tab. 4.2 Výkony a limity
- Tab. 4.3 Trup
- Tab. 4.4 Krídla a chvostové plochy
- Tab. 4.5 Kabína
- Tab. 4.6 Podvozok
- Tab. 4.7 Ovládanie
- Tab. 4.8 Vrtuľa a vrtuľový kužel
- Tab. 4.9 Motor
- Tab. 4.10 Ovládanie motoru
- Tab. 4.11 Palivový systém
- Tab. 4.12 Elektroinštalácia
- Tab. 4.13 Olejové a vodné rozvody
- Tab. 4.14 Rozvody pitot-statického systému

ZOZNAM SKRATIEK A SYMBOLOV

ATL	Airplane Technical Log	Technický denník lietadla
BDA	Bomb Damage Assessment	
	Vyhodnocovanie škôd spôsobených bombardovaním	
BVLOS	Beyond Visual Line Of Sight operation	Prevádzka mimo priameho vizuálneho kontaktu
CAA	Civil Aviation Authority	Úrad pre civilné letectvo
CAMO	Continuing airworthiness management organization	
	Organizácia pre riadenie zachovania letovej spôsobilosti	
CAO	Combined – continuing airworthiness management and/or maintenance – organisation	
	Kombinovaná organizácia pre riadenie zachovania letovej spôsobilosti	
CBRN	Chemical, Biological, Radiological and Nuclear defense	
	Obrana proti chemickým, biologickým, rádiologickým a jadrovým hrozbám	
CR	Close Range	UAS na krátke vzdialenosti
DEC	Decoys	UAS používané na klamanie nepriateľa
EASA	European Union Aviation Safety Agency	Európska agentúra pre bezpečnosť letectva
EÚ	European union	Európska únia
EW	Electronic Warfare	Elektronická vojna
EXO	Exo-stratospheric	Exo-stratosferický UAS
FAA	Federal Aviation Administration	Dozor nad civilným letectvom USA
FMEA	Failure Mode and Effects Analysis	Analýza možného výskytu a vplyvu vád
FMECA	Failure Mode, Effects and Criticality Analysis	
	Analýza kritickosti, možného výskytu a vplyvu vád	
ft	feet	stopy (rozmerová jednotka)
GA	General Aviation	Všeobecné letectvo
GO	Overhaul	Generálna oprava
GPS	Global Positioning system	Globálny polohovací systém
h	hour	hodina (jednotka času)
HALE	High Altitude Long Endurance	UAS pre vysoké výšky s dlhou vytrvalosťou
hp	Horse Power	konská sila (jednotka výkonu)
IAI	Israel Aerospace Industries	Izraelská letecká výrobná spoločnosť
ICAO	International Civil Aviation Organization	Medzinárodná organizácia pre civilné letectvo
JARUS	Joint Authorities for Rulemaking on Unmanned Systems	
	Spoločné orgány pre tvorbu predpisov o bezpilotných systémoch	
KIAS	Indicated air speed in knots	Indikovaná vzdušná rýchlosť v uzloch
KTAS	True air speed in knots	Pravá vzdušná rýchlosť v uzloch
LADP	Low Altitude Deep Penetration	Taktický UAS s malou vytrvalosťou
LALE	Low Altitude Long Endurance	UAS pre nízke výšky s dlhou vytrvalosťou
LAME	Low Altitude Medium Endurance	UAS pre nízke výšky so strednou vytrvalosťou
LASE	Low Altitude Short Endurance	UAS pre nízke výšky s malou vytrvalosťou

LET	Lethal	Bojový/útočný UAS
LSS	Local Speed of Sound	Lokálna rýchlosť zvuku
m	meter	meter (rozmerová jednotka)
M	Mach number	Machovo číslo
MALE	Medium Altitude Long Endurance	UAS pre stredné výšky s dlhou vytrvalosťou
MAME	Medium Altitude, Medium Endurance	UAS pre stredné výšky so strednou vytrvalosťou
MASE	Medium Altitude Short Endurance	UAS pre stredné výšky s krátkou vytrvalosťou
MAV	Micro Aerial Vehicle	Mikro UAS
MR	Medium Range	UAS so stredným doletom
MRE	Medium Range Endurance	UA so strednou vytrvalosťou
MSG	Maintenance Steering Group	Riadiaca skupina údržby
MTOM	Maximum Take-Off Mass	Maximálna vzletová hmotnosť (konštantná)
MTOW	Maximum Take-Off Weight	Maximálna vzletová hmotnosť
MZFW	Maximum Zero Fuel Weight	Maximálna hmotnosť bez paliva
napr.	for example	napríklad
OPV	Optionally Piloted Vehicle	Voliteľne pilotované lietadlo
PAV	Personal Air Vehicle	Osobné letecké vozidlo
RAF	Royal Aircraft Factory	Kráľovská letecká továrň
RCM	Reliability Centred Maintenance	Údržba zameraná na bezporuchovosť
RPA	Remotely Piloted Aircraft	Diaľkovo riadené lietadlo
RPAS	Remotely Piloted Aircraft System	Systém diaľkovo riadeného lietadla
RPS	Remote Pilot Stations	Vzdialená pilotná stanica
RSTA	Reconnaissance, Surveillance and Target Acquisition	
	Sledovanie, prieskum a zameranie cieľa	
SARPs	Standards and Recommended Practices	Štandardy a Doporučené Postupy
SES	Single European Sky	Jednotné Európske Nebo
SESAR	Single European Sky ATM Research	
	Výskum riadenia letovej prevádzky Jednotného Európskeho Neba	
SR	Short Range	UAS s malým doletom
STRATO	Stratospheric UAS	Stratosférický UAS
SUAS	Miniature / Small UAS	Miniatúrne / malé UAS
TAS	True Air-Speed	Pravá vzdušná rýchlosť
TBD	To Be Determined / Defined	Bude určené / definované
tzv.	so called	takzvaný
UA	Unmanned Aircraft	Bezpilotné lietadlo
UAM	Urban Air Mobility	Mestská letecká mobilita
UAS	Unmanned Aircraft System	Bezpilotný systém
UAV	Unmanned Aircraft Vehicle	Bezpilotné lietadlo
UCAV	Unmanned Combat Aerial Vehicle	Bojové letecké vozidlo bez posádky
ÚCL	Czech CAA	Úrad pre civilné letectvo

VLOS	Visual Line Of Sight operation	Prevádzka s priamym vizuálnym kontaktom
VTOL	Vertical Take-Off and Landing	Lietadlá schopné štartovať a pristávať vertikálne

PRÍLOHY

PRÍLOHA A – PŘEDPIS L2 DOPLNĚK X

Tabulka 1 (viz ust. 16)										
ř.	maximální vzletová hmotnost	≤ 0,91 kg		> 0,91 kg a < 7 kg		7 – 25 kg		> 25 kg		bezpilotní letadlo provozované mimo dohled pilota
		rekre- ačně spor- tovní	výdělečné, experimen- tální, výzkumné	rekre- ačně spor- tovní	výdělečné, experimen- tální, výzkumné	rekreačně sportovní	výdělečné, experimen- tální, výzkumné	rekreačně sportovní	výdělečné, experimen- tální, výzkumné	
-	účel použití ----- požadavek									
1	evidence letadla	ne	ano	ne	ano	ne	ano	ano	ano	ano
2	evidence pilota	ne	ano	ne	ano	ne	ano	ano	ano	ano
3	praktický a teoretický test pilota	ne	ano	ne	ano	ne	ano	ano	ano	ano
4	povolení k létání	ne	ano	ne	ano	ne	ano	ano	ano	ano
5	povolení k provádění LP a LČPVP	nelze	ano	nelze	ano	nelze	ano	nelze	ano	nelze
6	označení UA: ID štítek / ID štítek + pozn. značka	ne / ne	ano / ano	ano / ne	ano / ano	ano / ne	ano / ano	ano / ne	ano / ano	ano / ano
7	min. ve vzdálenosti (m): vzlet, přistání / osoby, stavby / osídlený prostor	bezpečná	bezpečná	bezpečná	bezpečná	bezpečná, ale minimálně 50/100/150	bezpečná, ale minimálně 50/100/150	bezpečná, ale minimálně 50/100/150	bezpečná, ale minimálně 50/100/150	bezpečná, ale minimálně 50/100/150
8	pojištění: běžný provoz / LVV (mil. Kč)	ne / 0,25	dle nař. č. 785/2004 ¹	ne / 1	dle nař. č. 785/2004 ¹	ne / 3 od 20 kg dle nař. č. 785/2004 ¹	dle nař. č. 785/2004 ¹	dle nař. č. 785/2004 ¹	dle nař. č. 785/2004 ¹	dle nař. č. 785/2004 ¹
9	dozor	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ano	ano	ne
10	„failsafe“ systém	ne	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano
11	provozní příručka UAS	ne	ano	ne	ano	ne	ano	ne	ano	ne
12	hlášení událostí	ne	ano	ne	ano	ne	ano	ano	ano	ano

Zdroj [9]

PRÍLOHA B – PROGRAM ÚDRŽBY Z NARIADENIA (EÚ) Č. 1321/2014

„M.A.302 Program údržby lietadla

- a) Údržba každého lietadla musí byť zorganizovaná v súlade s programom údržby lietadla.
- b) Program údržby lietadla a následné jeho zmeny sú schvaľované príslušným orgánom.
- c) ► M8 Keď zachovanie letovej spôsobilosti lietadla riadi organizácia CAMO alebo CAO, alebo ak vlastník a organizácia CAMO alebo CAO uzavreli obmedzenú zmluvu v súlade s ustanovením M.A.201 písm. i) bodom 3, program údržby lietadla a jeho zmeny možno schváliť postupom nepriameho schválenia. V takomto prípade dotknutá organizácia CAMO alebo CAO stanoví postup nepriameho schválenia ako súčasť príručky pre riadenie zachovania letovej spôsobilosti (CAME) uvedenej v ustanovení CAMO.A.300 prílohy Vc alebo v ustanovení M.A.704 tejto prílohy, alebo ako súčasť kombinovanej príručky pre letovú spôsobilosť (CAE) uvedenej v ustanovení CAO.A.025 prílohy Vd a schváli ho príslušný orgán zodpovedný za uvedenú organizáciu CAMO alebo CAO. ◀
Postup nepriameho schválenia sa použije len v prípade, že dotknutá organizácia CAMO alebo CAO je pod dohľadom členského štátu registrácie lietadla, pokiaľ nebola uzatvorená písomná zmluva v súlade s ustanovením M.1 bodom 3, ktorou sa prenáša zodpovednosť za schválenie programu údržby lietadla na príslušný orgán zodpovedný za organizáciu CAMO alebo CAO.
- d) Program údržby lietadla musí byť preukázateľne v súlade s:
1. pokynmi, ktoré vydal príslušný orgán;
 2. pokynmi na zachovanie letovej spôsobilosti:
 - i. vydanými držiteľmi typového osvedčenia, obmedzeného typového osvedčenia, doplnkového typového osvedčenia, schválenia postupu väčšej opravy, schválenia ETSO alebo iného príslušného schválenia vydaného podľa prílohy I (časť 21) k nariadeniu č. (EÚ) č. 748/2012;
 - ii. zahrnutými v technických podmienkach osvedčovania uvedených v ustanovení 21.A.90B, prípadne 21.A.431B prílohy I (časť 21) k nariadeniu (EÚ) č. 748/2012.
- e) Odchylné od písmena d) sa vlastník alebo organizácia, ktorá riadi zachovanie letovej spôsobilosti lietadla, môže odchyliť od pokynov uvedených v písmene d) bode 2 a navrhnúť v programe údržby lietadla odstupňované intervaly na základe údajov získaných z dostatočného počtu overení vykonaných v súlade s písmenom h). Nepriame schválenie nie je povolené na účely odstupňovania úloh súvisiacich s bezpečnosťou. Vlastník alebo organizácia, ktorá riadi zachovanie letovej spôsobilosti lietadla, môže takisto navrhnúť ďalšie pokyny v programe údržby lietadla.
- f) Program údržby lietadla obsahuje podrobnosti o každej údržbe, ktorá sa má vykonať, vrátane početnosti a akýchkoľvek konkrétnych úloh týkajúcich sa typu a špecifickosti prevádzky.
- g) V prípade zložitých motorových lietadiel, keď je program údržby lietadla založený na logike riadiacej skupiny pre údržbu (maintenance steering group) alebo na monitorovaní stavu, musí program údržby lietadla zahŕňať program spoľahlivosti.
- h) Program údržby lietadla sa pravidelne reviduje a v prípade potreby sa zodpovedajúcim spôsobom mení. Týmto revíziami sa zabezpečí, aby program údržby lietadla bol aj naďalej aktuálny a platný vzhľadom na prevádzkové skúsenosti a pokyny príslušného orgánu, pričom sa zohľadňujú nové a/alebo upravené pokyny na údržbu, ktoré vydali držiteľia typového osvedčenia a doplnkového typového osvedčenia a ktorákoľvek iná organizácia, ktorá uverejňuje takéto údaje v súlade s prílohou I (časť 21) k nariadeniu (EÚ) č. 748/2012.“ [21]