

MAINTENANCE AND RELIABILITY OF AIRCRAFT TECHNOLOGY

ÚDRŽBA A SPOLAHLIVOSŤ LIETADLOVEJ TECHNIKY

Dušan Rýzek
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
dusan.ryzek@gmail.com

Martin Bugaj
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
martin.bugaj@fpedas.uniza.sk

Abstract

The paper deals with the maintenance and influencing the human factor in aircraft maintenance. The work is divided into three basic parts. In the first part of the paper, the aim was to describe the maintenance from a historical point of view, to describe the individual stages of maintenance and to summarize how to maintain the years of development. We also have specified individual types of maintenance, maintenance intervals. The most extensive part in the theory are the laws and regulations that must comply with when performing maintenance in the Slovak Republic. This part is indeed included, but we consider it important to mention it in the work. The second part of the paper is the analysis of accidents of commercial aircraft in commercial aviation for the last 3 years. The analysis contains 43 accidents, from which we came to a conclusion. In the first part of the analysis, we selected those accidents that occurred due to maintenance, and then from these accidents, we further determined which accidents occurred due to human error in maintenance. The aim was to determine whether the number of accidents in commercial aviation in civil aviation due to maintenance should increase or decrease, and subsequently, whether the number of accidents in terms of human factor in maintenance would increase or decrease. The last part so the conclusion is of course focused on the evaluation of the results of the analytical part and the declaration of whether we managed to meet the goal of the paper.

Keywords

Maintenance, reliability, human factor in maintenance

1. Úvod

Letecká doprava je štatisticky jednoznačne najbezpečnejšia doprava na svete. Aby sa dopracovalo letectvo k takýmto výsledkom prechádzalo dlhým vývojom, komplikovanými procesmi a veľmi dôležitá vec je, že sa letecké katastrofy dopodrobna vyšetrujú a na základe zisteného zlyhania, či už lietadla, alebo ľudského faktoru sa vyhodnotí záver a vieme tak predchádzať chybám, ktoré zapríčinili katastrofu. Približne 70% leteckých katastrof je zapríčinených ľudským faktorom a vo väčšine prípadov zo strany pilotov alebo dispečerov, nás však bude zaujímať výskyt pochybenia ľudského faktoru zo strany údržby. Takisto nás bude zaujímať aj vývoj všetkých nehôd spôsobených údržbou za posledné 3 roky v komerčnom letectve.

V súčasnej dobe je údržba lietadiel celá veda, ktorá obsahuje obrovské množstvo zákonov a nariadení, ktoré sa musia dodržiavať. Nebolo tomu vždy tak a preto je v diplomovej práci opísaný aj vývoj a jednotlivé etapy údržby. Legislatívna časť je pomerne obsihraná, avšak veľmi dôležitá.

Údržba lietadiel je veľmi podstatnou časťou letectva. Pilot si vždy pred letom vykoná predletovú kontrolu lietadla a skontroluje všetky potrebné náležitosti na vykonanie bezpečného letu, avšak stále sa musí spoliehať na to, že mechanici odvedli svoju prácu zodpovedne a lietadlo je plne schopné vykonať bezpečný let.

Dôvod, prečo som si vybral tému údržba a spoľahlivosť lietadlovej techniky je to, že údržba lietadiel je jednou z najdôležitejších častí v letectve. V teoretickej časti diplomovej práce si najprv vysvetlíme čo je údržba, aké typy údržby poznáme, v akých intervaloch sa údržba vykonáva, aké zákony a nariadenia sa musia dodržiavať pri vykonávaní údržby. Opíšeme, čo musí obsahovať program údržby a takisto aj čo musí spĺňať personál, aby mohol vykonávať údržbu lietadiel. Praktická časť práce je zameraná na analýzu a vyvodenie záveru, či má ľudský faktor v údržbe vplyv na spoľahlivosť lietadiel. Vyhodnotíme, či má počet leteckých katastrof zapríčinených ľudským faktorom v údržbe rastúcu alebo stúpajúcu tendenciu.

Ďalším dôvodom, prečo som si vybral písanie diplomovej práce na túto tému je, že sa zaujímam aj o technickú stránku lietadiel a myslím si že, je veľmi dôležité aby piloti poznali svoje lietadlo aj po technickej stránke. Prínosom diplomovej práce je to, že zistíme, či má ľudský faktor v údržbe vplyv na spoľahlivosť lietadiel, či je opodstatnené, že pri vykonávaní údržby na lietadlách je potrebné dodržiavať skutočne obrovské množstvo zákonov a nariadení, ktoré sa neustále menia a inovujú. Je samozrejme, že správna údržba s dodržiavaním všetkých nariadení vo veľkej miere prispieva k spoľahlivosti lietadiel. Nás však bude zaujímať, či sa s vývojom údržby mení počet nehôd spôsobených údržbou a hlavným cieľom je zistiť vplyv ľudského faktora v údržbe.

2. Definícia údržby

Žiadne lietadlo nie je také tolerantné k zanedbávaniu, aby bolo bezpečné prevádzkovať ho pri absencii efektívneho programu inšpekcií a údržby.

Procesy, ktoré ovplyvňujú lietadlo, sú rastúce s vekom (napr. únava, opotrebenie a korózia), ako aj náhodné poruchy (napr. prasknutie pneumatiky, nadmerné zaťaženie konštrukcie).

Údržbu lietadla je možné definovať niekoľkými spôsobmi a nasledujúce informácie môžu pomôcť pochopiť rôzne aspekty: „Činnosti potrebné na obnovenie alebo údržbu položky v prevádzkyschopnom stave vrátane servisu, opravy, úpravy, generálnej opravy, kontroly a určenia stavu.“ [Slovník technických operácií World Airlines]

3. Vývoj údržby

Vývoj údržby má od samotných začiatkov rovnaké ciele ako súčasné ciele modernej údržby:

- Maximalizovať bezpečnosť letu = zaručiť vysokú kvalitu kompletnej výbavy lietadla
- Dodržiavať bezpečnostné predpisy a predchádzať ich porušovaniu. Súčasne optimalizovať disponibilitu lietadla = poskytovať čo najviac platených letových hodín s ohľadom na ich hospodárnosť
- Minimalizovať náklady na údržbu, primeraná úspora nákladov na mzdy, materiál a samotnú réžiu [1]

4. Generácie údržby

I. Generácia (1940-1960)

Oprav, keď sa pokazí. Najjednoduchší a najpoužívanější spôsob hlavne v začiatkoch letectva. Oprava nastala po pokazení danej súčiastky, alebo systému.

II. Generácia (1960-1990)

Plánovaná preventívna údržba – presne plánované údržby v časových intervaloch, alebo po určitom hodinovom nálete. Čím viac sa letectvo vyvíjalo, tým viac sa musela vyvíjať aj údržba lietadiel a boli na ňu kladené vyššie a vyššie požiadavky.

- Vyššia pohotovosť
- Väčšia životnosť
- Nižšie náklady

III. Generácia (1990 až po súčasnosť)

- Vyššia spoľahlivosť a pohotovosť
- Vysoká bezpečnosť
- Lepšia kvalita produkcie
- Nepoškodzovanie životného prostredia
- Dlhšia životnosť zariadení
- Vyššia efektívnosť nákladov

[1]

5. Čo je program údržby?

Program údržby je dokument obsahujúci požiadavky / úlohy údržby, ktoré je potrebné vykonať v lietadle, aby sa zabezpečilo zachovanie letovej spôsobilosti.

- a) Údržba sa organizuje v súlade s programom údržby lietadla.
- b) Program údržby lietadla a všetky jeho následné zmeny a doplnenia musí schváliť príslušný orgán.
- c) zmeny programu údržby lietadiel možno schváliť prostredníctvom postupu nepriameho schválenia. (nepriame schválenie ustanoví CAME a následne ho schváli úrad [1])

6. Filozofia údržby

- Cieľom je zachovávať a/alebo obnovovať funkčnosti systémov a konštrukcie lietadla
- Zachovanie funkčnosti systémov na základe bezpečnostných štandardov
- Požiadavky sú vždy stanovené výrobcom konkrétneho typu lietadla vzhľadom na zvolenú koncepciu údržby
- Koncepcia údržby obsahuje pravidlá, ako musí byť lietadlo udržiavané aby boli úplne splnené prevádzkové predpisy [1]

7. Predpisy a zákony, ktoré musia byť dodržiavané pri vykonávaní údržby v Slovenskej republike

1. Vychádzajú z medzinárodných zmlúv, ktoré sú súčasťou právneho poriadku SR

Dohoda o medzinárodnom civilnom letectve (Chicago Convention 07DEC1947)

Cyperská dohoda o vzniku JAA

2. Predpisy uverejňované Ministerstvom dopravy SR prostredníctvom Leteckej informačnej služby (LIS)

3. Predpisy rady "L"

Aplikácia medzinárodných štandardov a doporučených postupov ICAO

Štandardy a doporučené postupy (SARP's) sú uvedené v prílohách k DMCL (ICAO ANNEX 1-18)

4. Spoločné letecké predpisy (JAR)

Zavádzanie a uplatňovanie predpisov JAR bolo v krajinách EHS (EU) harmonizované nariadením Rady ES č. 3922/91 [3,4,6]

8. Vplyv údržby na spoľahlivosť lietadiel

Spoľahlivosť nie je možné podľa definície vyjadriť ako funkciu alebo číselnú hodnotu.

Definícia spoľahlivosti popisuje spoľahlivosť ako všeobecnú vlastnosť s ďalšími dielčimi vlastnosťami, pre ktoré sú definované číselné ukazovatele.

K numerickým výsledkom sa dá dopracovať až prostredníctvom výpočtu ukazovateľov, ktoré sú presne definované ku všetkým dielčím vlastnostiam spoľahlivosti výrobku.

Vlastnosťami spoľahlivosti sú napríklad: bezporuchovosť, životnosť, udržiavateľnosť, pohotovosť, diagnostikovateľnosť, skladovateľnosť, opraviteľnosť a pod.

Pre každú z dielčích vlastností sú definované charakteristické ukazovatele, ktoré majú vypovedajúcu číselnú hodnotu. [1]

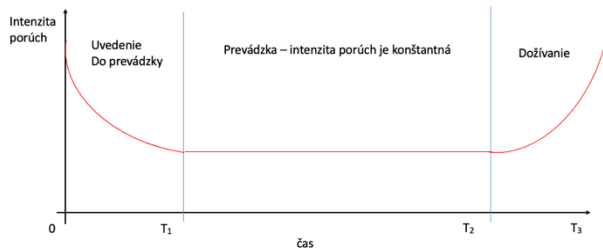
9. Spoľahlivosť a životný cyklus systémov

Manažment leteckých spoločností musí posudzovať prevádzku lietadiel (technických systémov z dlhodobého hľadiska).

Posudzujú sa hlavne náklady spojené:

- s obstaraním lietadla
- s prevádzkou lietadla
- s opravami, údržbou a aj likvidáciou

Takýto pohľad nazývame pojmom Náklady životného cyklu (Life Cycle Cost) – LCC [2]



Graf 1: Životný cyklus. Zdroj: [2].

Interval [0, T₁]

je obdobím častých porúch (zábehu), intenzita porúch však postupne klesá a spoľahlivosť technického systému sa zlepšuje.

V tejto fáze života sa prejavujú nedostatky spôsobené chybami v konštrukcii a pri výrobe.

Tieto skryté nedostatky sa pri prevádzkovom zaťažení rýchlo prejavujú vznikom porúch. U vyzretých konštrukcií (sériovo alebo hromadne vyrábaných) táto fáza takmer zaniká. [2]

Interval [T₁, T₂]

je obdobím normálneho života (prevádzka), intenzita porúch sa ustáli na približne konštantnej hodnote, využíva sa inherentná spoľahlivosť lietadla, poruchy vznikajú pôsobením náhodných udalostí.

Táto etapa je najdlhšia a uplatnením vhodného systému údržby ponúka možnosť značných úspor. [2]

Interval [T₂, T₃]

je obdobím dožívania a likvidácie.

Vplyvom opotrebenia a ďalších faktorov, ako je napríklad korózia a únavaové javy začne intenzita porúch narastať, lietadlo vykazuje častejší vznik porúch.

V určitom okamihu z ekonomického i technického hľadiska ďalšia prevádzka neúnosná a technický systém je zlikvidovaný. [2] [7]

10. Ľudský faktor v údržbe lietadiel

Ľudský faktor je jednou z bezpečnostných bariér, ktorá sa používa na prevenciu nehôd lietadla. Preto je otázkou, do akej miery je chyba spôsobená ľudským faktorom zahrnutá do podielu chýb, ku ktorým dôjde počas údržby lietadla.

V organizácii s povolením na údržbu EASA, ktorá do svojho pracovného systému zahŕňa aj ľudský faktor, je tendenciou uplatňovať tento prístup nepretržitým monitorovaním a analýzou chýb v údržbe lietadiel. Takýmto prístupom sa dosahuje predchádzaniu, alebo znižovaniu výskytu neželaných udalostí, ako sú nehody, úrazy, a v širšom zmysle aj škody súvisiace s prevádzkou a údržbou lietadla. Výskum uvedený v tejto práci je výsledkom analýzy z pochybenie údržby za posledné tri roky. Spolu 41 jednotlivých nehôd a poskytuje prehľad o hlavných faktoroch chýb.

Neúmyselné chyby človeka pri údržbe lietadiel sa vyskytujú neustále. Odvetvie zaoberajúce sa touto problematikou sa nazýva Human Factor. Podľa definície je ľudským faktorom neúmyselná chyba v práci, ktorá vedie k okamžitému poškodeniu systému, alebo môže ísť o skrytú chybu, ktorá predstavuje potenciálne nebezpečenstvo pre technickú letovú spôsobilosť lietadla.

S ľudským faktorom sa dlho zaoberalo ako s odvetvím ergonomie a výlučne ako s časťou lekárskeho výskumu. Podrobnejšie analýzy viedli k poznaniu, že je potrebné študovať vzájomný vzťah ľudí, strojov, prostredia a výrobného procesu. Človek je kľúčovým faktorom vo výrobnom procese a v procese prevádzky technických prostriedkov, pretože dodáva objektu práce novú hodnotu. Ľudský faktor nie je dokonalý a zavádza do systému neúmyselné chyby. Je dôležité vyvinúť systém identifikácie chýb a neustále pracovať na prevencii chýb.

Zistilo sa, že takmer polovica nehôd bola spôsobená poruchou zariadenia, väčšina z nich bola výsledkom nedostatočnej údržby alebo monitorovacích programov.

Vyhlasenie o bezpečnostnej politike je definované v organizácii údržby a je podpísané zodpovednou osobou za riadenie organizácie (zodpovedný manažér).

Bezpečnostná politika sa plne uplatňuje v súlade s dokumentom ICAO „Pokyny pre ľudský faktor pre príručku údržby lietadiel“ (Doc 9859-AN / 474). Vrcholom politiky bezpečnosti pri údržbe v leteckej je netrestný systém hlásenia, čo znamená, že nebudú podniknuté žiadne kroky proti zamestnancovi, ktorý prostredníctvom systému hlásenia nebezpečenstva odhalí obavy o bezpečnosť, pokiaľ takéto sa nezistia zodpovedné pochybnosti, nezákonné činy, hrubá nedbanlivosť, alebo úmyselné nerešpektovanie predpisov alebo postupov.

11. Letecké nehody dopravných lietadiel od roku 2017 – 2020, ktoré sa stali na základe údržby

Z leteckých nehôd za posledné 3 roky sme analýzou zozbieraných informácií a preštudovaní dostupných oficiálnych záverečných správ vybrali tie nehody, ktoré sa stali na základe zlyhania údržby. Každú nehodu sme osobitne analyzovali a zo

záverečných správ sme vybrali tie nehody, ktoré sa stali na základe pochybenia alebo zlyhania údržby.

Za zlyhanie údržby považujeme:

- ak sa katastrofa stala na základe poškodenia súčiastky alebo časti lietadla, ktorú mala zabezpečiť údržba lietadla.
- nesprávna inštalácia komponentov
- nesprávne osadenie častí
- pochybenie v elektrickom zapojení
- zabudnuté náradie alebo súčiastka
- zlyhanie mazania
- nesprávne zabezpečenie kapotáží alebo krytov.
- nesprávne zabezpečenie palivových alebo olejových sústav

Za zlyhanie údržby nepovažujeme:

- systémové zlyhanie zariadení.

Takisto však zlyhanie údržby obsahuje aj ľudský faktor v údržbe. V prvej analýze sú teda nehody, ktoré sa stali kvôli zlyhaniu údržby. Následne z tejto analýzy pochybení údržby prejdeme na druhú analýzu a budeme posudzovať nehody z hľadiska ľudského faktora v údržbe. Zistíme tak, či stúpa počet leteckých nehôd spôsobených údržbou a následne či stúpa podiel ľudského faktora v údržbe k leteckým katastrofám. Domnievame sa však, že analýzy nehôd z roku 2020 budú značne ovplyvnené celosvetovou korona krízou keďže sa vykonalo podstatne menšie množstvo letov.

Zo 41 nehôd, ktoré sa stali za posledné 3 roky v komerčnom letectve sme analýzou zo záverečných správ nehôd zistili, ktoré nehody sa stali na základe zlyhania údržby a teda spĺňajú vyššie uvedené podmienky. V tejto časti práce rozdelíme vybrané nehody na 2 skupiny.

1.skupina: Nehody, ktoré sa stali zlyhaním napr. súčiastky (nehody, ktoré nezapríčinil ľudský faktor v údržbe)

2.skupina: Nehody, ktoré zapríčinil ľudský faktor v údržbe

12. Vyhodnotenie výsledkov analýz

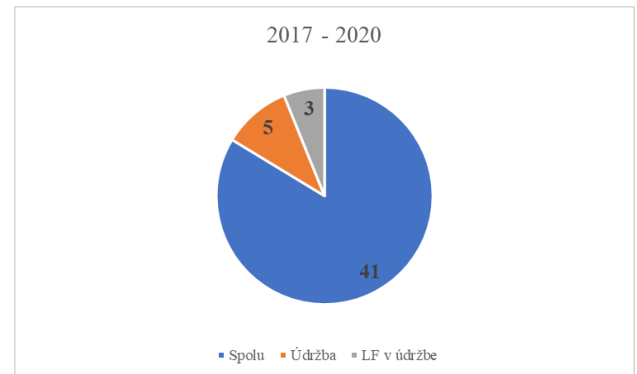
Z analýz leteckých nehôd dopravných lietadiel v komerčnom letectve za posledné 3 roky (2017-2020) sme zistili nasledovné:

Z celkového počtu nehôd (41) rozoberaných v našej analýze, sa 5 stalo na základe pochybenia údržby, resp. zlyhania súčiastky a 3 nehody sa stali pochybením ľudského faktora v údržbe. Na základe získaných informácií z overených a dostupných zdrojov môžeme konštatovať, že počet leteckých nehôd zapríčinených údržbou je minimálny, avšak stále sa vyskytujú, takisto ako podiel ľudského faktora v údržbe. Takisto musíme konštatovať, že prísne bezpečnostné normy, zákony a nariadenia, ktoré sa neustále inovujú a rozširujú a môžeme tvrdiť, že aj sprísňujú, majú svoje opodstatnenie. Jednotlivé zákony a nariadenia sme priblížili v teoretickej časti práce. Z leteckých nehôd, ktoré sa stali môžeme vidieť, že je veľmi dôležité dodržiavať všetky potrebné náležitosti a to sa týka letectva ako celku, nie len údržby. Nedodržiavanie, alebo porušovanie predpisov

úmyselne, alebo neúmyselne vie spôsobiť veľmi vážne následky, ktorým sa snažíme vyvarovať a úplne minimalizovať, aby sa letectvo mohlo naďalej pýšiť titulom najbezpečnejšej dopravy na svete.

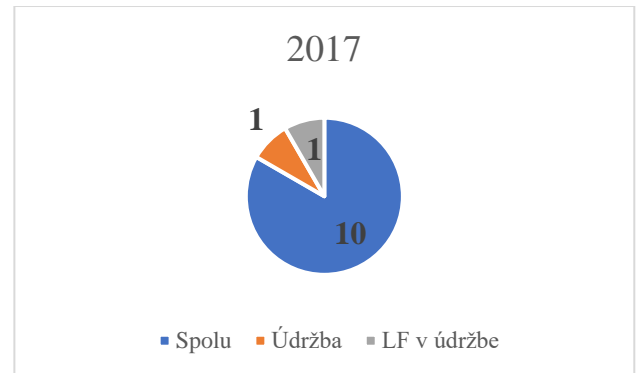
V grafoch môžeme vidieť graficky znázornené výsledky nášho výskumu, ktorý sme vykonali na základe 2 analýz.

V prvom grafe vidíme štatistiku leteckých nehôd dopravných lietadiel v komerčnom letectve. Analyzovali sme 41 nehôd a zistili sme, že 5 nehôd bolo zapríčinených zlyhaním údržby resp. súčiastky a 3 nehody boli spôsobené ľudským faktorom v údržbe.



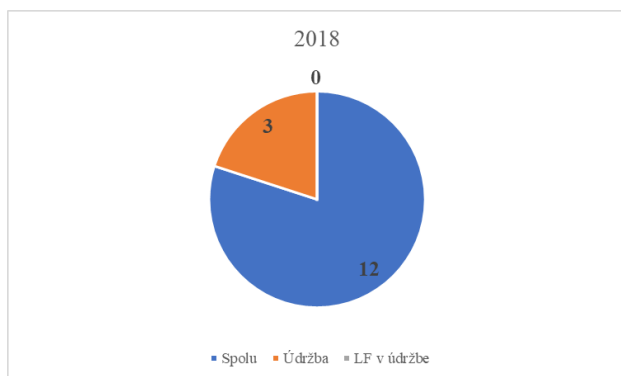
Graf 1: 2017-2020. Zdroj: Autori.

V druhom grafe máme znázornené nehody v roku 2017, z celkového počtu 10 sme analýzou zistili, že 1 nehoda bola zapríčinená údržbou resp. zlyhaním súčiastky a 1 nehoda sa stala zlyhaním ľudského faktora v údržbe.



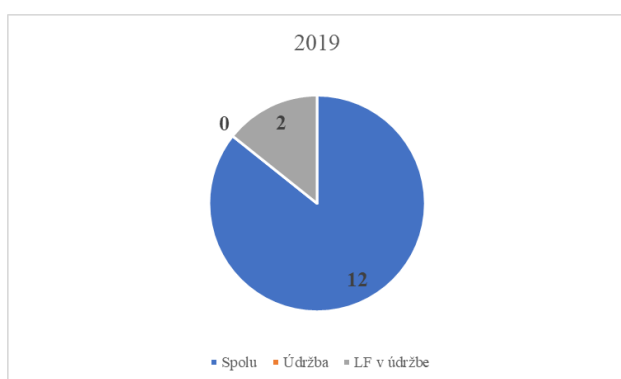
Graf 2: 2017. Zdroj: Autori.

V treťom grafe máme znázornené nehody, ktoré sa stali v roku 2018. Z celkového počtu 12 nehôd sa 3 stali na základe zlyhania údržby, resp. súčiastky a ani jedna nehoda nebola spôsobená ľudským faktorom čo je veľmi pozitívny aspekt.



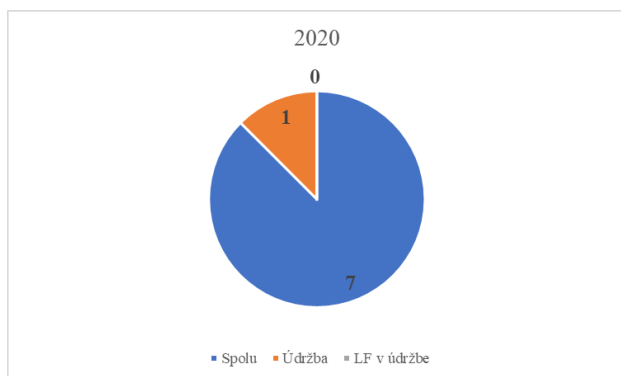
Graf 3: 2018. Zdroj: Autori.

V štvrtom grafe máme znázornený rok 2019, z celkového počtu 12 nehôd, sa 2 nehody stali na základe zlyhania ľudského faktora v údržbe.



Graf 4: 2019. Zdroj: Autori.

V poslednom grafe môžeme vidieť nehody v roku 2020, ako sme spomínali tento rok bol ovplyvnený korona krízou a zaznamenali sme rapidný pokles letov, no napriek tomu sme analýzou zistili, že z celkového počtu 7 nehôd sa iba jedna stala na základe pochybenia údržby, resp. zlyhania súčiastky a ani jedna nehoda nebola spôsobená ľudským faktorom v údržbe. Nehoda, ktorá sa stala v roku 2020 bola špecifická keďže zlyhalo palivové čerpadlo, tak sme túto nehodu zaradili do zlyhania údržby. Avšak ako sme spomínali v analýze, ak by pilot vypúšťal palivo podľa postupov mohlo sa predísť vzniknutým škodám. Spúšťacím aspektom v tejto nehode však bolo zlyhanie súčiastky a preto sme túto nehodu zaradili do zlyhania údržby.



Graf 5: 2020. Zdroj: Autori.

13. Záver

Údržba lietadiel je neoddeliteľnou súčasťou letectva a dovolíme si tvrdiť, že patrí k jednej z najdôležitejších častí. Čiastkových cieľov diplomovej práce bolo niekoľko: opísať údržbu z historického hľadiska a popísať jednotlivé etapy údržby, čo sme vykonali v teoretickej časti. Následne bolo cieľom opísať zákony, nariadenia, bezpečnostné normy, čo všetko musí spĺňať personál na vykonávanie údržby, čo sme takisto vykonali v teoretickej časti. Následne sme sa oboznámili s metódami, ktoré sme využívali pri písaní práce a túto časť sme vykonali v druhej časti práce a teda v metodike. Potom sme prešli na najdôležitejšiu časť a teda výskum, kde sme primárne využili analýzy a z overených a oficiálnych zdrojov, vo väčšine prípadov zo záverečných správ sme sa dopracovali k hlavnému cieľu a tým je zistiť, či má ľudský faktor v údržbe vplyv na spoľahlivosť lietadiel a zároveň, akú tendenciu má výskyt nehôd spôsobených údržbou. Zvolili sme si interval posledné 3 ukončené roky, avšak posledný rok a teda rok 2020 bol značne poznačený korona krízou. Z výsledkov vyplýva, že z 41 nehôd sa 5 stalo na základe zlyhania údržby a 3 pochybením ľudského faktora v údržbe. Hodnotíme, že tieto čísla sú veľmi pozitívne, avšak samozrejme ideálne by to bolo, keby je údržba v 100% stave, avšak tento stav nie je reálne dosiahnuť, keďže minimálne výskyt pochybenia ľudského faktora bude vždy. Všetky pochybenia sa snažia minimalizovať, aby sa dosiahla čo najvyššia spoľahlivosť. V diplomovej práci sa nám podarilo splniť všetky určené ciele a veríme, že si nájde svoje uplatnenie najmä v ľudskom faktore v údržbe, ale takisto aj celkovo v údržbe, keďže v teoretickej časti sme sa venovali údržbe ako celku. Do budúcnosti sa určite budú stále inovovať a dopĺňať zákony a nariadenia, lebo po každej nehode sa vyvodzuje záver, aby sa predchádzalo katastrofám, čo je veľmi pozitívny aspekt a preto veríme, že čísla sa budú znižovať na minimálne hodnoty. Takisto aj technológie postupujú milovými krokmi a to je ďalším pozitívom na znižovanie nehôd spôsobených zlyhaním údržby.

Referencie

- [1] Technická údržba lietadiel 1, 2, Ing. Ján Rostaš, PhD.
- [2] Úvod do priemyselného inžinierstva, 2016, doc. Ing. Miroslav Rakyta, PhD. a Ing. Miroslav Fusko
- [3] https://aim.lps.sk/eAIP/eAIP_SR/AIP_SR_valid/html/LZ1-GEN-1.6-sk-SK.html
- [4] <http://letectvo.nsat.sk/letova-sposobilost/udrzbove-organizacie/udrzba-pre-annex-ii-lietadla/>
- [5] <http://letectvo.nsat.sk/wp-content/uploads/sites/2/2014/07/L-8-Letová-sposobilosť-lietadiel1.pdf>
- [6] <http://web.tuke.sk/lf-klp/Vagner%20Juraj/LP%20I/Sposobilost%20personalu/L1.pdf>
- [7] NOVÁK, A., NOVÁK SEDLACKOVÁ, A., KANDERA, B. and LUSIAK, T., 2020. Flight inspection with unmanned aircraft, Transport Means - Proceedings of the International Conference 2020, pp. 589-593.