

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

---

Fakulta elektrotechnická  
Katedra výkonové elektroniky a strojů

# BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Osvětlení moderního letadla

Autor práce: **Milan Boháček**  
Vedoucí práce: **Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.**

---

2022

# ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická  
Akademický rok: 2021/2022

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE (projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Milan BOHÁČEK**  
Osobní číslo: **E18B0116P**  
Studijní program: **B2644 Aplikovaná elektrotechnika**  
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**  
Téma práce: **Osvětlení moderního letadla**  
Zadávací katedra: **Katedra výkonové elektroniky a strojů**

### Zásady pro vypracování

Popište problematiku osvětlení moderního letadla, a to vnějšího, eventuelně i vnitřního v závislosti na zvoleném typu.

1. Stručně představte dělení letadel do jednotlivých kategorií a popište Vámi zvolený stroj.
2. Popište příslušné normy ve Vámi zvolené letadlové kategorii a metodiku osvětlování zde užívanou s ohledem na druh provozu.
3. Vyjmenujte světelné zdroje, svítidla a systémy řízení použité v jednotlivých osvětlovacích systémech včetně napájecích zdrojů.
4. Diskutujte současný přístup v konfrontaci s historií s ohledem na užití moderní technologie a shrňte jejich výhody.



Prof. Ing. Václav Křes, CSc.  
vedoucí katedry

Prof. Ing. Zdeněk Pěrnout, Ph.D.  
děkan

V Plzni dne 8. října 2021


Rozsah bakalářské práce: **30 – 40**  
Rozsah grafických prací: **dle doporučení vedoucího**  
Forma zpracování bakalářské práce: **elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. Linda, Josef: Elektrické světlo 1, 2, 3. ZČU v Plzni, Plzeň 1993, 1994, 1995.
2. Habel, Jiří: Světlo a osvětlování. FCC Public, Praha 2013.
3. Sokanský, Karel, a kol.: Světelná technika. ČVUT v Praze, Praha 2011.

Vedoucí bakalářské práce: **Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.**  
Katedra elektroenergetiky

Datum zadání bakalářské práce: **8. října 2021**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **26. května 2022**

  
Západočeská univerzita v Plzni  
L.S.  
Fakulta  
elektrotechnická

**Prof. Ing. Zdeněk Peroutka, Ph.D.**  
děkan

  
**Prof. Ing. Václav Kůs, CSc.**  
vedoucí katedry

## **Abstrakt**

V této práci se zabývám problematikou osvětlování letadel. V první části je představeno dělení letadel do jednotlivých kategorií a popsán mnou vybraný letoun Cessna 172RG Cutlass. Dále je vypracován přehled aktuálně platné legislativy u nás a ve světě, včetně jejího historického vývoje. Součástí této kapitoly je také orientační soupis technických požadavků na jednotlivé osvětlovací systémy. Následuje vyjmenování jednotlivých světelných zdrojů, svítidel a v neposlední řadě napájecích zdrojů. Na závěr je uvedené shrnutí používaných moderních technologií s ohledem na historický vývoj včetně popsání jejich výhod a nevýhod.

## **Klíčová slova**

Letadlo, světlo, letecké předpisy, metodika osvětlování, historický vývoj, rozdělení letadel, napájecí zdroje, světelné zdroje, osvětlovací soustava, cessna 172.

## **Abstract**

The various aircraft categories are described in the first part together with the aircraft of my choice Cessna 172 Cutlass. Followed by a rundown of current regulations in Czech republic and world, together with historical development. Required technical parameters are also part of this chapter. In the next chapter all the various light sources are listed together with power supplies. A summary of different advantages and disadvantages of light sources is written at the end of the thesis.

## **Key Words**

Aircraft, lights, aircraft regulations, methodology of using lights, historical development, aircraft classification, power supplies, light source, illumination systems, cessna 172.

## **Poděkování**

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu práce doc. Ing. Karlu Noháčovi Ph.d. za odborné rady při zpracovávání bakalářské práce a metodické vedení. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Oldřichu Kroupovi za odborné konzultace a za zprostředkování exkurze.

# Obsah

Úvod.....	- 1 -
1 Historie pravidel pro osvětlování letadel.....	- 2 -
2 Kategorie letadel.....	- 4 -
2.1 Typy pohonu .....	- 4 -
2.2 Letouny.....	- 6 -
3 Cessna 172.....	- 8 -
3.1 Cessna 172RG Cutlass .....	- 8 -
3.1.1 Osvětlení .....	- 9 -
3.1.2 Elektrické systémy .....	- 10 -
4 Letecké předpisy.....	- 12 -
4.1 Předepsané technické parametry .....	- 16 -
5 Rozdělení světelných zdrojů.....	- 19 -
5.1 Viditelnost pilota .....	- 19 -
5.2 Viditelnost letadla .....	- 21 -
5.3 Osvětlení pro speciální účely .....	- 23 -
5.4 Shrnutí.....	- 24 -
6 Světelné zdroje .....	- 26 -
6.1 Žárovky .....	- 26 -
6.1.1 Halogenové žárovky .....	- 27 -
6.2 LED diody .....	- 27 -
6.3 Výbojky.....	- 28 -
6.3.1 Nízkotlaké výbojové zdroje (zářivky) .....	- 29 -
6.3.2 Vysokotlaké výbojové zdroje .....	- 29 -
7 Elektrické systémy.....	- 30 -
7.1 Přenosové soustavy .....	- 31 -
7.2 Elektrické zdroje .....	- 32 -
8 Zhodnocení .....	- 36 -
9 Závěr.....	- 38 -

Seznam obrázků a tabulek .....	- 39 -
Literatura.....	- 41 -



## Seznam symbolů a zkratek

<b>Značka</b>	<b>Popisek</b>	<b>Jednotka</b>
$P$	Výkon	Watt
$U$	Elektrické napětí	Volt
$I$	Elektrický proud	Ampér
$I$	Svítivost	Kandela
$I_e$	Efektivní svítivost	Kandela
$t_{1,2}$	Čas	Sekunda
$T$	Teplota	Stupně celsia
$f$	Frekvence	Hertz
$p$	Tlak	Pascal

## Úvod

Osvětlení letadla je jednou z jeho nejdůležitějších částí, slouží jak ke sdělování informací vnějším pozorovatelům o směru, pozici a stavu letadla, tak k zajištění bezpečnosti během startu, přistání či pojíždění po letištní ploše. Historicky se setkáváme s různými způsoby jejího provedení od klasických žárovek po moderní LED technologie.

Nutnost umístění těchto světel není však u všech letadel stejná, odvíjí se převážně od typu letadla a jeho konstrukce. U velkých dopravních letadel nalezneme například osvětlení svíslé ocasní plochy s logem provozovatele, které slouží pro ulehčení identifikace na letištní ploše či formační osvětlení, používané na armádních letounech.

Cílem této práce je popsat problematiku vnějšího osvětlení moderního letadla a její historii, představit jednotlivé kategorie letadel a popsat platné předpisy a metodiku osvětlování. Zmapování světelných zdrojů, popsání elektrických systémů zde užívaných, včetně napájecích zdrojů. Následně jejich zhodnocení s ohledem na historii a shrnutí jejich výhod.

Součástí této práce je také popsání konkrétního letadla, za tímto účelem bylo zvoleno letadlo Cessna 172RG z důvodu jeho velkého rozšíření v leteckých školách a použití při výcviku na roli dopravního pilota.

Dle mého názoru představuje osvětlovací soustava jednu z nejdůležitějších částí letounu. Se stále zvyšující se hustotou letecké dopravy se zvyšuje také riziko kolizí, převážně pak v blízkosti letišť. Světelné zdroje tak s řadou jiných systémů představují nepostradatelnou roli v předcházení leteckým haváriím.

## 1 Historie pravidel pro osvětlování letadel

Řada zvyklostí a pravidel byla s příchodem letecké dopravy jednoduše převzata z oblasti námořnictví, kde byly již tyto zásady zavedeny a nebyl tedy důvod přicházet s novými. Jako příklad lze uvést udávání rychlosti v uzlech, či měření vzdálenosti v námořních mílich. Obdobně to bylo i s pravidly pro osvětlení letadel.

Potřeba nějaké formy osvětlení lodních plavidel nastala s příchodem parníků během 19. století. Díky použití parních motorů byli tyto lodě schopné dosahovat vyšších rychlostí a zbavit se závislosti na povětrnostních podmínkách. Zvýšením plavební rychlosti však došlo ke zvýšení rizika kolize při zhoršených viditelnostních podmínkách. Z tohoto důvodu bylo potřeba vybavit lodě nějakou formou osvětlení.

Historicky první nařízení týkající se osvětlování lodí bylo vydané v roce 1838 ve Spojených státech Amerických a nařizovalo všem parníkům, plujících od západu slunce až do východu, být osvětleny jedním nebo více světly. Barva, viditelnost či místo umístění však nebyli specifikovány.[1] Brzy na to v roce 1846 přijalo Spojené království právní předpis, který umožňoval hodnosti *Lord High Admiral of the United Kingdom* vydávat předpisy, které by vyžadovaly vybavení všech lodí poháněných párou světly.[2]

O dva roky později, vydal tehdejší *Lord High Admiral* nařízení, které vyžadovalo, aby každé parní plavidlo bylo během plavby vybavené červeným světlem na levoboku a zeleným na pravoboku. Dále bylo požadováno také osvětlení stěžně, a to umístěním bílého světla na jeho vrcholu. Toto bílé světlo muselo svítit jak při plavbě, tak při kotvení v přístavu. Minimální vzdálenost, na kterou mělo být viditelné byla stanovena na pět mil za jasné tmavé noci. Barevná světla na bocích lodi mohla být za stejných podmínek viditelná méně, a to pouze na vzdálenost dvou mil.[3]

V roce 1889 Spojené státy svolaly první mezinárodní námořní konferenci, která měla zvážit jednotlivé předpisy pro předcházení kolizím. Výsledná pravidla vstoupila v platnost na mezinárodní úrovni až o osm let později, a to v roce 1897. Tato nová pravidla vyžadovala, aby byly parníky vybaveny druhým světlem na vrcholu stožáru. Předpisy ohledně navigačních světél se od té doby změnily jen velice málo.[1]

V roce 1948 byla Mezinárodním úřadem pro civilní letectví vydána první část přílohy 6, která se zabývá standardizací mezinárodní letecké dopravy za účelem zvyšování její efektivity a bezpečnosti. Druhá část byla vydána v září roku 1969, tato část již obsahovala pravidla pro osvětlování letadel.[4]

Aktuální pravidla pro osvětlování letadel upravuje nařízení agentury Evropské unie pro bezpečnost letectví SERA.3215 a předpisy dostupné na stránkách Letecké informační služby.

## 2 Kategorie letadel

Letadla lze rozdělit dle mnoha faktorů a vlastností, ať již dle hmotnosti, účelu či způsobu pohonu. Jeden z hlavních parametrů při kategorizaci je způsob vzniku vztlaku, tímto rozdělením nám vzniknou dvě podkategorie, a to letadla lehčí než vzduch, tzv. aerostaty a na těžší než vzduch neboli aerodyny.

Podkategorie letadel lehčích než vzduch je podstatně méně obsáhlá a dělí se dále pouze na bezmotorové, do této skupiny patří balóny a motorové, sem se řadí vzducholodě. Letadla těžší než vzduch se dělí na stejné dvě podkategorie, ty jsou však daleko obsáhlejší než u letadel lehkých. Jedna z nejvýraznějších podkategorií jsou motorová letadla s nepohyblivými nosnými plochami. Patří mezi ně letouny, padákové kluzáky s paramotorem, motorové rogalo a motorový kluzák.[5]

### 2.1 Typy pohonu

Dalším parametrem při rozdělování letadel je typ pohonu, na jeho závislosti se mění samotná konstrukce, možnosti a provozně ekonomické vlastnosti letounu. Pohonné jednotky slouží k vytvoření dostatečné tažné síly potřebné k dosažení rychlosti, při které vznikne taková vztlaková síla na křídle letadla, aby bylo možné s letounem vzlétnout. Část výkonu motoru se také využívá k pohonu generátorů elektrické energie, popřípadě v závislosti na typu motoru lze využít i jeho teplotu nebo tlak. Dělí se na pístové, turbovrtulové a obsáhlou skupinu proudových motorů. [6]

#### Pístové motory

V principu se neliší od klasických motorů v automobilech, tažnou sílu zde obstarává vrtule připojená buď přímo na hřídel motoru nebo přes reduktor otáček, který převádí otáčky motoru na optimální rychlost otáčení vrtule. Z důvodu snahy o snižování hmotnosti jsou tyto motory vesměs benzínové. Vlivem rostoucích požadavků na výkon těchto motorů dochází k jejich neustálému zvětšování, jak v rozměrech, tak počtu válců. Následkem toho, se mnohdy tyto motory vyrábějí v jiném uspořádání válců (např. hvězdicové) či jiném uložení klikové hřídele, než je zvykem u automobilů.[6]

#### Proudové motory

Proudové motory fungují na principu Newtonova zákona o akci a reakci – vystupující spaliny vytvářejí tah tlačící na motor opačným směrem, který tím tlačí vpřed nebo také

mohou pomocí turbíny pohánět jiná zařízení vytvářející tah. Zároveň je vycházející proud spalin potřeba k pohonu mechanismu udržující motor v chodu.

Vzduch procházející vstupním ústrojím je dále stlačen zpravidla vícestupňovým kompresorem, čímž zároveň dojde k jeho zahřátí a následně dochází k jeho smísení a zapálení ve spalovací komoře. Tlak zůstává přibližně stejný, dochází ke zvyšování teploty a spaliny mají tendenci expandovat do místa nižšího tlaku, tedy vzad. Z tepelné energie vzniká energie kinetická jejíž část se využije na otáčení rotoru turbíny, který je hřídelí spojen s výše zmíněným kompresorem na začátku cyklu, zbytek je využit na pohon samotného letounu.

Jednotlivé druhy motorů se dále odlišují tím, jak je využívána zbývající kinetická energie, která se nespotřebuje k pohonu kompresoru, samotné jádro motoru zůstává stejné. Dalším společným znakem je, že spuštění proudového motoru je možné až po dosažení potřebného tlaku ve spalovací komoře, možné řešení je roztočení turbíny a kompresorů pomocí elektrického pohonu nebo jejím natlakováním ze zdroje stlačeného vzduchu.[6]

#### Turbovrtulové motory

Turbovrtulový motor se skládá ze sání, reduktoru otáček, kompresoru, spalovací komory, turbíny a vrtule. V principu se podobá proudovému motoru, kde se nasátý vzduch stlačuje v kompresoru, dále je veden do spalovací komory, kde dochází ke vstřiku paliva a zažehnutí, následný nárůst tlaku generuje v místě výfuku sílu. Na rozdíl od proudových motorů není tato síla dostatečná pro přímý pohon letadla, jelikož většina energie se spotřebuje na pohon vrtule.

Ten je řešen dvěma způsoby, přes hřídel, která je spojená s převodovkou, za účelem snížení otáček vrtule, z důvodu nebezpečí vzniku nežádoucích efektů. Druhou možností je pohánění vrtule přes samostatný stupeň turbíny.

Oproti proudovým motorům dosahují vyšší účinnosti při rychlostech nepřesahujících 725 km/h, létají však v nižších letových hladinách. Oproti pístovým motorům spočívá jejich výhoda v poměru výkonu a hmotnosti. Některé typy letadel využívají motory s dvojicí sousých protiběžných vrtulí. Toto řešení umožňuje zvýšení efektivity oproti klasické konfiguraci o 6 % až 16 %. V klasické letecké dopravě se tato konfigurace používá jen zřídka, hlavním důvodem je zvýšení hlučnosti až o 30 dB. [6][9][45]

## 2.2 Letouny

Letoun je letadlo s pevnými nosnými plochami, využívající ke svému letu aerodynamických sil. Vyrábějí se v nepřeborném množství velikostí a tvarů. Letouny se používají v širokém spektru účelů od rekreačních, armádních, výzkumných po přepravu osob a nákladu.[34] Počet celosvětově přepravených osob za uplynulých let neustále narůstal zhruba o 200 milionů osob ročně, v roce 2020 dosahoval počet přepravených osob hodnoty 4,7 miliardy. Tento stabilní růst však zastavila celosvětová pandemie koronaviru, v posledním roce se však počty pomalu vracejí do před-covidových stavů.[35] Leteckou nákladní dopravou se ročně převeze až 35 % veškerého celosvětového objemu nákladu, zastává tak nezanedbatelnou část na světové ekonomice. [36]

### Dopravní letouny

Jedná se o letadlo s pevnými nosnými plochami, jehož hlavním užitím je přeprava platících cestujících či nákladu. Letouny jsou pronajímány leteckými společnostmi nebo přímo vlastněny. Dále se tato skupina může dělit podle délky doletu, velikosti, rozložení sedadel a podle řady dalších kritérií. [10]

### Vojenské letouny

Je jakýkoliv letoun provozovaný oficiálními nebo povstaleckými ozbrojenými silami jakéhokoliv druhu. Dále se tato skupina dělí na letouny bojové a nebojové. Bojové letouny se dělí na stíhací a bombardéry, s malou skupinou stíhacích bombardérů.[11]

### Užitkové letouny

Užitkové letadlo je malý letoun určený k přepravě osob nebo nákladů na kratší vzdálenosti, většinou mimo pravidelné linky. Používají se také pro speciální účely jako je například sportovní parašutismus, zemědělství či k hašení rozsáhlých požárů. Využití naleznou i u ozbrojených sil, kde se používají v podpůrných rolích a lze je také osadit lehkou výzbrojí. [12] U letounů tohoto typu je navíc v některých státech dovoleno provádět prvky akrobacie, jako například vývrtky či prudké zatáčky s natočením křídel až 60°. [13]

### Ultralehká letadla

Letadla navržená pro rekreační nebo soutěžní létání. Definice ultralehkého letadla se ve světě liší, u nás je maximální vzletová hmotnost stanovená na 450 kg. Tato letadla jsou většinou malá, s místem pouze pro pilota plus jednoho pasažéra. Česká republika patří

v žebříčku počtu vyrobených kusů na třetí místo v Evropě, hned po Francii a Německu. Ročně se u nás vyrobí kolem 500 kusů těchto letounů.[14]

#### Experimentální letoun

Je označení pro letadla, která ještě nebyla plně prověřena létáním, tudíž musí mít speciální certifikát letové způsobilosti a provozují se ve speciálních oblastech tomu vymezeným a určeným. Obvykle se na takovýchto letadlech studují a testují nové letecké technologie. Jejich provoz nejčastěji zajišťují civilní, či vládní výzkumné organizace.[15]



### 3 Cessna 172

Jedná se o americký čtyřmístný jednomotorový hornoplošník vyráběný firmou Cessna. První let se uskutečnil v roce 1955 [16] a od té doby bylo vyrobeno více kusů než kteréhokoliv jiného letadla.[17] Podle životnosti a popularity se jedná o nejúspěšnější letoun v historii. První sériový kus byl vyroben v roce 1956 a od této doby do roku 2015 bylo vyrobeno více než 43 000 kusů a vyrábí se dodnes. [18] Našlo také využití v armádních službách několika států, plnila role tréninkového nebo monitorovacího letadla při hlídání státních hranic, či jako doprovod při převážení peněz nebo vězňů.

Cessna 172 původně vznikla jako varianta Cessny 170, která byla doplněná o přední kolo podvozku, původní Cessna disponovala pouze dvojicí kol před těžištěm a menším kolečkem za těžištěm na ocase, byla tedy tzv. *taildraggerem*. Tato konfigurace poskytuje některé výhody i nevýhody, hlavním nebezpečím při přistávání s *taildraggerem* je převážení nosu letadla směrem dopředu, při aplikaci brzd na hlavní podvozek. Výhodou je naopak menší opotřebování draku letadla při dlouhodobém používání na nesrovnaném terénu. [19]

172 se okamžitě stala prodejním úspěchem a po prvním roce výroby se vyrobilo více než 1400 kusů.[20] První 172 byli velmi podobné 170, obě měli stejný tvar trupu a vysoký podvozek, jediný rozdíl byl tvar ocasní plochy. Aktuální vzhled přišel až v roce 1963 s modelem 172D. V průběhu let bylo vyráběno mnoho variant, která přinášely mnohá vylepšení, od změn trupu, avioniky, elektrických systémů až po zatahovatelné podvozky. V červenci 2010 bylo oznámeno že Cessna pracuje na verzi 172, která bude plně poháněna elektřinou. V roce 2012 po úspěšných testech tento model provedl několik testovacích letů, dál se ale ve vývoji nepokračovalo. [21][22][23]

#### 3.1 Cessna 172RG Cutlass

Tato verze byla poprvé představena v roce 1980 a jednalo se o první verzi vybavenou zatahovatelným podvozkem. Disponuje motorem Lycoming O-360 o výkonu 130kW a stavitelnou vrtulí. Neměla však veliký úspěch z důvodů vyšší pořizovací ceny a provozních nákladů, našla však uplatnění v leteckých školách, protože splňovala požadavky pro tzv. komplexní letadlo potřebné pro získání potřebných zkušeností pro licenci komerčního pilota za relativně nízkou cenu. Od představení a začátku výroby do konce v roce 1985 bylo vyrobeno zhruba 1200 kusů.[24]



Obr. 1 Cessna 172RG Cutlass II

### 3.1.1 Osvětlení

#### Externí osvětlení

Letoun je vybaven konvenčními navigačními světly na koncích křídel a na horní části kormidla, dále dvojicí pojížděcího a přistávacího světla umístěných v náběžné hraně křídla pod krytem. Dalšími přidavnými světly jsou maják situovaný na vrchu vertikální ocasní plochy, záblesková světla na každém konci křídla a venkovní nasvětlení nástupní plochy světlem umístěným zespodu křídla, ovládané přepínačem uvnitř kabiny na stropě. Ostatní externí osvětlení je ovládané přepínači na přístrojové desce.

Maják by však neměl být používán zejména v noci při prolétávání mraky či přeháňkami, existuje nebezpečí ztráty orientace či závratě způsobené blikajícím světlem odraženým od kapek vody v okolním vzduchu.[25]

#### Osvětlení interiéru

Osvětlení přístrojové desky, přepínačů a kontrolního panelu je obstaráno stropním světlem, integrovaným osvětlením, popřípadě osvětlením jednotlivých ukazatelů, pokud je nainstalováno. Intenzita osvětlení je ovládaná dvojicí reostatů nadepsanými *PANEL LT* a *RADIO LT*, situovanými pod plynovou pákou. Tahovým spínačem umístěným na stropním panelu označeným nápisem *PANEL LIGHTS* lze přepínat mezi stropním osvětlením, osvětlením ukazatelů nebo zapnutím obou světel najednou.

Jako stropní světlo se používá jedna žárovka červené barvy, zapíná se tahovým spínačem uvedeným výše a následně je možné reostatem upravovat požadovanou intenzitu jasu.

Osvětlení jednotlivých ukazatelů je realizováno přídavnými individuálními světly nainstalovanými u každého zvlášť. Zapíná se opět tahovým spínačem a následně reguluje reostatem.

Ukazatele stavu motoru, rádiové vybavení, digitální hodiny a magnetický kompas jsou všechny vybaveny integrovaným osvětlením a fungují nezávisle na stropním a přístrojovém osvětlení. Jejich jas je ovládán vnitřním otočným regulátorem *RADIO LT*, osvětlení kompasu je regulováno vnějším otočným regulátorem *PANEL LT*. Během dne však není potřeba tyto světla zapínat, otočením reostatů proti směru hodinových ručiček až na doraz lze dosáhnout zeslabení jasu na nulu.

*Dome* osvětlení slouží obdobně jako v automobilu pro osvětlení interiéru kabiny. Zapíná se páčkovým vypínačem umístěným na stropě hned vedle samotného světla.

Dalším možným světlem je světlo osvětlující prostor před berany, uchycuje se na jejich spodní část a osvětluje prostor mezi přístrojovou deskou a pilotem, používá se za letů v noci při čtení map či jiné dokumentace, ovládá se přepínačem a reostatem.

Na levém dveřním sloupku se nalézají dvojice červené a bílé žárovky, ty mohou být libovolně nastavovány, aby osvětlovaly požadovaný prostor. Ovládají se přepínačem se třemi polohami, *RED*, *WHITE* a *OFF*. Intenzita červené žárovky se dále dá regulovat vnějším reostatem *PANEL LT*. [25]

### 3.1.2 Elektrické systémy

Letoun je vybaven rozvodem o jmenovitém napětí 28 V, do kterého dodává energii baterie umístěná za zadní stěnou kabiny, která je dobíjena alternátorem s jmenovitým proudem 60 A. Energie je do jednotlivých systémů dodávána přes primární a avionickou sběrnici, vzájemné propojení je obstaráno přes spínač. Primární sběrnice je zapnutá vždy pokud je zapnutý *MASTER* spínač a není žádným způsobem ovlivňována připojením externího spotřebiče či startéru. Manuál dále uvádí, že dříve než se sepne nebo rozepne spínač *MASTER*, dojde ke spuštění motoru nebo připojení externího zdroje, by měl být spínač avioniky v poloze vypnuto aby nedošlo k napětíovému rázu a případnému poškození avioniky.

*MASTER* přepínač je klasický kolébkový spínač, rozdělený na dvě části, pravou částí s označením *BAT* se ovládá přívod energie do letounu z baterie, levou částí se ovládá připojení alternátoru.

Za normálních podmínek, by se měly obě poloviny spínat současně, je ale možné sepnout pouze spínač *BAT* za účelem provedení pozemní kontroly letadla. Při tomto stavu je všechny odběr zprostředkován baterií, která se postupně vybíjí a při dostatečném vybití se znemožní restart alternátoru.

Spojení dvou výše zmíněných sběrnic je provedeno přepínačem a jističem *AVN PWR*. Pokud dojde k vypadnutí jističe, dojde také k automatickému přepnutí spínače. Tak jako u spínače avioniky, měl by tento vypínač být vypnut před spuštěním motoru, či připojení externího zdroje.

Letoun je vybaven vlastním ampérmetrem, který měří hodnotu proudu dodávaného alternátorem do baterie, v případě výpadku alternátoru, ampérmetr indikuje proud odtékající z baterie.

Další částí elektrického systému je řídicí jednotka alternátoru, která se skládá z regulátoru napětí a zařízení na kontrolu podpětí a přepětí. V případě vzniku přepětí je alternátor automaticky odpojen a vypnut. Tím se jediným zdrojem stává baterie. [25]

## 4 Letecké předpisy

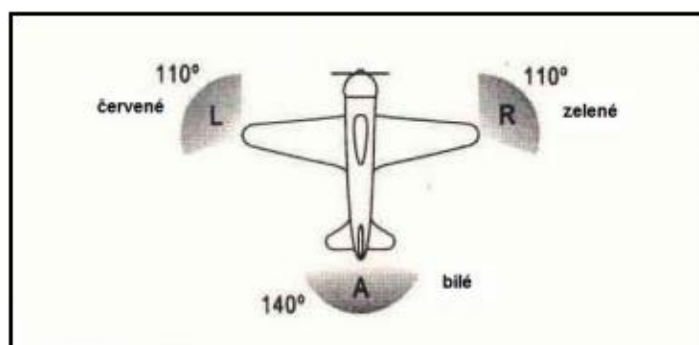
Základem legislativy civilního letectví je u nás zákon č. 49/1997 Sb., o civilním letectví, jehož § 102 říká, že všechny osoby zúčastněné na civilním letectví jsou povinné dodržovat letecké předpisy stanovené Českou republikou. Tyto předpisy jsou dostupné na stránkách Letecké informační služby a také dostupné v tištěné podobě v Letecké informační příručce. Zákonem o civilním letectví se dále zřizuje Ústav pro odborné zjišťování příčin leteckých nehod a Úřad pro civilní letectví. Na základě této normy vydává ministerstvo dopravy národní letecké předpisy řady L, které zavazují letecký personál k jejich dodržování.

Česká republika se však coby členský stát Evropské unie zavázala k přijímání unijních norem do svého právního řádu, které mají navíc aplikační přednost. Vedle národních předpisů jsou tak pro osoby zúčastněné v civilním letectví závazné také předpisy plynoucí z nařízení EU. Členské státy jsou sice povinni dávat národní předpisy do souladu s těmi evropskými, ale i tak je možné narazit na rozpory, v takových to případech má však přednost předpis evropský. Existuje však možnost některé explicitně stanovené předpisy na územích jednotlivých členských států zpřísnovat či stanovovat odlišně. Neznamená to tedy, že by s platností pravidel EU automaticky zanikala pravidla národní.[28]

Obdobou agentury Evropské unie pro civilní letectví (EASA) je například ve Spojených státech Federální úřad pro civilní letectví (FAA), jak bylo už více naznačeno tyto agentury vydávají předpisy zavazující osoby zúčastněné na civilním letectví k jejímu dodržování. V roce 1944 byla při OSN založena Mezinárodní organizace pro civilní letectví (ICAO), jejímž úkolem je vydávat doporučení a koordinovat vydávání předpisů mezi jednotlivými členskými organizacemi.[37]

Úmluva o vzniku ICAO byla doplněna přílohami, neboli tzv. *annexy*. Jedná se o prováděcí předpisy pro jednotlivé činnosti v oblasti civilního letectví. Označují se ICAO Annex 1 až Annex 19. Udávají doporučení všem členským státům ICAO a stanovují minimální požadavky. Zároveň se doporučuje, aby před implementací těchto předpisů došlo v jednotlivých státech k jejich zpřísnění. Vydáváním těchto předpisů je zmocněná Rada ICAO, která vychází z doporučení letecké komise. Přílohy jsou schvalovány po odhlasování dvou třetinovou většinou a platnosti nabývají po uplynutí tří měsíční lhůty. [29]

Letecký předpis L6 provoz letadel část II, vydaný ministerstvem dopravy 18.11. 2010 v doplňku 2.1 definuje pravidla pro světelné vyznačení letounů. V tomto dodatku jsou definovány úhly a umístění světel a to následovně [30]:



Obr.2 Umístění světel

- Úhel A: dvě protínající se vertikální roviny svírající úhel  $70^\circ$  doleva a  $70^\circ$  doprava s vertikální rovinou procházející podélnou osou při pohledu na zádň část letounu ve směru podélné osy
- Úhel L: dvě protínající se vertikální roviny, z nichž jedna svírá s podélnou osou letounu úhel  $110^\circ$  doleva a druhá je s ní rovnoběžná, od pohledu na před letounu ve směru podélné osy
- Úhel R: tvořen dvěma protínajícími se vertikálními rovinami, z nichž jedna je s podélnou osou rovnoběžná a druhá s ní svírá úhel  $110^\circ$  doprava, při pohledu zepředu letounu ve směru podélné osy

Necloněná polohová světla musí být vidět tak jak je vyznačeno na obrázku:

- červené světlo vyzařované nad a pod horizontální rovinu v úhlu krytí L
- zelené světlo vyzařované nad a pod horizontální rovinu v úhlu krytí R
- bílé světlo vyzařované nad a pod horizontální rovinu dozadu v úhlu krytí A [30]

Řízení letového provozu dále v předpisu L2, hlavy 3 ustanovení č. 3.2.3 definuje pravidla pro rozsvěcování světel na letadle následovně:

#### Odstavec č. 3.2.3.1

Stanoví, že všechna letadla během letu v době od západu do východu slunce nebo v jiném období, které předepíše příslušný úřad (ÚCL) musí s výjimkou podle odstavce č. 3.2.3.5 rozsvítit:

- světla určená k upoutání pozornosti, tzv. protisrážková světla; a

- b) polohová světla určená k indikaci směru letu vůči pozorovateli. Žádná jiná světla, která by s nimi mohla být zaměněna nesmí být rozsvícena.

Odstavec č. 3.2.3.2

Uvádí že, až na případ uvedený v odstavci č. 3.2.3.5 v době od západu do východu slunce nebo v jiném období, které předepíše příslušný úřad (ÚCL):

- a) polohová světla indikující příslušný směr pohybu vůči pozorovateli, musí být rozsvícena u všech letadel pohybujících se po letištní ploše a světla, která by mohla být s těmito světly zaměněna, nesmí být rozsvícena
- b) pokud nejsou letadla na letištní ploše trvale nebo jinak přiměřeně osvětlena, musí mít, je-li to proveditelné, rozsvícena světla označující okraje jejich konstrukce
- c) všechna letadla během pohybu na letištní ploše musí mít rozsvícena světla, kterými na sebe upozorňují vnějšího pozorovatele, a
- d) v případě že má letadlo na letištní ploše běžící motory, musí mít rozsvícena světla, vyznačující tuto skutečnost.

Jsou-li na letadle vhodně umístěna polohová světla uvedená v odstavci č. 3.2.3.1 bodu b), mohou také vyhovět požadavkům stanoveným v odstavci č. 3.2.3.2 bodu b). Červená protisrážková světla vyhovující požadavkům v odstavci č. 3.2.3.1 bodu a), za předpokladu, že pozorovatele neoslňují, mohou také splňovat požadavky definované v odstavci č. 3.2.3.2 bodu c) a d).

Odstavec č. 3.2.3.3

Tento odstavec dodává, že s výjimkou uvedenou v odstavci č. 3.2.3.5 musí všechna letadla za letu vybavená protisrážkovými světly vyhovujícími požadavkům stanovenými v odstavci č.3.2.3.1 bodu a), mít rozsvícena taková světla i mimo dobu stanovenou v odstavci č.3.2.3.1.

Odstavec č. 3.2.3.4

Odstavec uvádí, že s výjimkou případu uvedeného v odstavci č. 3.2.3.5 musí všechna letadla:

- a) pohybující se po pohybové ploše letiště a vybavená protisrážkovými světly vyhovujícími požadavkům odstavce č. 3.2.3.2 bodu c); nebo



- b) na pohybové ploše letiště a vybavená světly vyhovujícími požadavkům uvedeným v odstavci č. 3.2.3.2 bodu d); mít taková světla rozsvícena i mimo dobu stanovenou v odstavci č. 3.2.3.2.

Pokud je ale letadlo taženo, nahrazuje tuto povinnost zábleskové světlo tažného zařízení.

Odstavec č. 3.2.3.5

Tento odstavec uděluje pilotovi pravomoc vypnout či snížit intenzitu kteréhokoli ze zábleskových světel splňujícího požadavky uvedené v odstavci č. 3.2.3.1, 2, 3, a 4, jestliže:

- a) by mohlo dojít k nepříznivému ovlivnění uspokojivého výkonu povinností; nebo
- b) dochází či by mohlo dojít k oslnění vnějšího pozorovatele.[31]

Charakteristiky světel, které mají splňovat výše uvedené požadavky jsou stanoveny předpisem L8, a to následovně:

Odstavec č. 8.4.1

Udává že světla, která jsou požadována předpisem L2 musí mít takové svítivosti, pole krytí, barvy a jiné charakteristiky, a aby poskytovaly osobám na zemi či jinému letadlu co nejvíce času k jejich interpretaci a provedení nezbytných kroků potřebných k zabránění kolize. Při návrhu tohoto osvětlení musí být přihlédnuto k podmínkám, ve kterých bude toto osvětlení provozováno.

Nutné je také přihlédnout k možnosti, že světla budou pozorována proti různému pozadí, jako je například typické osvětlení městské zástavby, vodní hladina osvětlená měsícem, jasná noční obloha a za podmínek snížené viditelnosti. Dále musí být přihlédnuto ke zvýšení rizika srážky v koncových oblastech, kde dochází ke zhuštění letecké dopravy a kde se letouny pohybují v nízkých a středních letových hladinách, zároveň se předpokládá, že vzájemná rychlost letounů nepřekročí 900 km/h (500 kts).

Odstavec č. 8.4.2

Světla musí být v letounech zastavěna tak, aby na nejmenší míru snižovala možnost, že nastanou následující situace:

- a) dojde k nepříznivému ovlivnění uspokojivého plnění povinností letových posádek; nebo
- b) nastane nebezpečné oslnění vnějšího pozorovatele



Vzhledem k výše uvedeným požadavkům je nutné, aby byl letoun vybaven zařízením, pomocí kterého lze záblesková světla vypínat nebo snižovat jejich svítivost.[32]

#### 4.1 Předepsané technické parametry

Mezinárodní pravidla stanovující technické požadavky na osvětlení nejsou v aktuálním momentu jasná, v dokumentu ICAO 9760 byly tyto informace redukovány, aby se s množstvím přibývajících informací zachovala stručnost a přehlednost.

Pro jistou orientaci jsou dále uvedeny technické parametry osvětlení tak, jak je předepisuje Americký úřad pro civilní letectví, lze předpokládat jistou totožnost s pravidly mezinárodními:

Předpis 14 CFR § 25.1383 uvádí požadavky na instalaci přistávacího osvětlení tak, že:

- a) nesmí docházet k oslnění pilota
- b) osvětlení je dostatečné pro noční přistání.

Dále předepisuje nutnost použití jednotlivých ovládacích prvků pro každý světlomet zvlášť, pokud se nejedná o hromadnou instalaci několika zdrojů na jednom místě. V případě, kdy je letoun vybaven vysouvacími světlometry musí být zároveň vybaven signalizačním zařízením, které bude o jejich vysunutí informovat posádku.[7]

V předpisu 14 CFR § 25.1391 a 93 jsou uvedeny předepsané minimální svítivosti pozičních světel, a to jak ve vertikální ose, tak i v horizontální:

Tabulka 1 Předepsané minimální hodnoty svítivosti v horizontální ose

Úhly krytí	Úhel měřen od podélné osy	Svítivost [cd]
Úhel L a R	0° až 10°	40
	10° až 20°	30
	20° až 110°	5
Úhel A	110° až 180°	20

Tabulka 2 Předepsané minimální hodnoty svítivosti ve vertikální ose

Úhel měřen od horizontální osy	Předepsaná svítivost, jako procentní část z hodnoty pro úhel 0° v tabulce pro horizontální osu [%]
0°	100
0° až 5°	90
5° až 10°	80
10° až 15°	70
15° až 20°	50
20° až 30°	30
30° až 40°	10
40° až 90°	5

Předpis 14 CFR § 25.1401 upravuje pravidla pro antikolizní osvětlení. Dle tohoto předpisu musí být letoun vybaven jedním nebo více antikolizními světly umístěnými tak, aby neoslňovali posádku nebo nebyli zaměnitelné za navigační osvětlení. Dále musí splňovat následující požadavky:

Úhel osvětlení musí být takový, aby světlo osvětlovalo všechny důležité části letounu dané konstrukčním provedením a způsobem letu. Dále musí být světlo viditelné v úhlu 75° nad a pod horizontální osu letounu.

Efektivní frekvence záblesků daná počtem světelných zdrojů, rychlostí otáčení, délkou světelného impulzu a dalšími faktory musí být minimálně 40 a ne více než 100 záblesků za minutu. Efektivní frekvence záblesků je frekvence pozorována ze vzdálenosti, ve které je vidět kompletní antikolizní systém osvětlení, a počítají se všechny záblesky včetně těch co se překrývají, pokud je letoun vybaven více než jedním antikolizním světlem.[8]

Minimální hodnoty svítivosti jsou v následující tabulce udány jako efektivní svítivost, ta se vypočítá podle následujícího vzorce:

$$I_e = \frac{\int_{t_1}^{t_2} I(t) dt}{0,2 + (t_2 - t_1)}$$

Kde  $I_e$  představuje efektivní svítivost,  $I(t)$  okamžitou hodnotu svítivosti jako funkci času a rozdílem  $t_2$  a  $t_1$  je dán časový interval mezi jednotlivými záblesky.

Tabulka 3 Minimální hodnoty efektivní svítivosti zábleskových světel

Úhel nad a pod horizontální osou	Efektivní svítivost [cd]
0° až 5°	400
5° až 10°	240
10° až 20°	80
20° až 30°	40
30° až 75°	20

Pravidla pro osvětlení náběžné hrany křídla stanovuje předpis 14 CFR §25.1403. Pokud není noční provoz za podmínek, které napomáhají ke vzniku námrazy zakázán, musí být kritické části letounu osvětleny nebo ošetřeny proti tvorbě ledu. Osvětlení za tímto účelem musí být takového typu, aby nedocházelo k oslnění posádky při vykonávání úkonů spojeným s řízením letounu.[33]

## 5 Rozdělení světelných zdrojů

### 5.1 Viditelnost pilota

Následující světelné zdroje jsou používány za účelem zvýšení bezpečnosti a osvětlení prostoru kolem letadla.

#### Pojížděcí světlomety

Pojížděcí světlomety jsou světla střední intenzity, která mohou být namontována na vzpěře předního podvozku, nose letadla nebo na jeho křídle. Používají se ke stejným účelům jako světlomety automobilů, osvětlují prostor před letadlem během pojíždění po letištní ploše a tím zvyšují bezpečnost. [26]

#### Přistávací světlomety

Jsou nejjasnější světla na letadlech používaná k osvětlení povrchu. Vyzářují velmi úzký paprsek světla, který je navíc mírně skloněný směrem dolů tak, aby osvětloval přistávací dráhu při přistání nebo startu. Nejčastěji jsou umístěné na podvozku, křídlech anebo zespoda na trupu. V závislosti na regionálních normách se přistávací světla zapínají buď při vjezdu na aktivní dráhu, nebo po obdržení povolení ke vzletu.[26] Při jejich používání je nutné dodržovat opatrnost, jelikož hrozí vážné poranění zraku.[27]



Obr.3 Výbojkový pojížděcí a přistávací světlomet (Cessna 172)

### *Turnoff* světlomet

Světla podobná pojízďecím, jsou ale montována pod určitým úhlem tak, aby svítily do levého a pravého úhlu letadla a tím osvětlily odbočky z přistávací dráhy či ostré zatáčky.[27]



Obr. 4 Turnoff světlomet v pravé části průzoru (Boeing 737)

### Osvětlení náběžné hrany křídla

Jsou nainstalována na trup letadla a jejich úkolem je osvětlovat hrany křídel nebo úchyty motorů. Často se používají během noci při předletové kontrole případného poškození křídel nebo námrazy. [26]



Obr. 5 Osvětlení náběžné hrany křídla (Airbus A350)

## 5.2 Viditelnost letadla

Následující systémy osvětlení se užívají pro snížení rizika kolize, tím že poskytují informace o stavu, směru a pozici letadla jak během letu, tak na zemi.[26]

### Navigační osvětlení

Neboli také poziční osvětlení, je osvětlení skládající se z červeného světla na levém konci křídla, zeleného světla na pravém a bílého světla na ocase letadla. Často jsou instalovány duální systémy, které poskytují zálohu v případě poruchy žárovky. U letadel vybavených majákem budou navigační světla trvale zapnutá, zatímco u letadel bez majáku budou světla blikat.[26]

### Zábleskové osvětlení

Zábleskové osvětlení je obvykle umístěno na hraně křídla. Svítí jako bílá světla s vysokou intenzitou, která blikají v pravidelných intervalech. Jsou viditelná na velmi velké vzdálenosti, pozorovat je můžeme například u letadel letících v cestovních hladinách za jasné noci. Za běžných podmínek se zapínají při vjezdu na aktivní dráhu a vypnuty jsou po opuštění dráhy po přistání. V dnešní době umí nejnovější letadla tyto světla automaticky zapínat a vypínat v závislosti na zatížení kol podvozku. Na ploše letiště se nepoužívají kvůli jejich velikému jas. [27]



Obr. 6 Navigační a zábleskové světlo (Jak-18T)



## Maják

Spolu se zábleskovými světly, tvoří skupinu protisrážkového osvětlení. Majáky letadel mají červenou barvu a buď blikají nebo se otáčejí, aby poskytli blikající výstražné světlo. Obvykle se instalují po dvojicích příčemž, jeden je na horní části trupu a druhý na spodní. Maják se běžně zapíná před spuštěním motorů a vypne se po jejich vypnutí. Zvyšuje se tak bezpečnost pozemního personálu, vypnutím majáku dává pilot znamení, že je bezpečné se přiblížit k letadlu a zahájit úkony spojené s jeho odbavením.[27]



Obr. 7 Červený ocasní maják (Cessna 172)

## Přistávací světlomety jako antikolizní osvětlení

Před několika lety byl firmou *Precise Flight* za účelem zvýšení viditelnosti letounu představen systém *Pulselite*, který střídavě zapíná přistávací světlomety na levé a pravé straně již dříve na letadle nainstalované. Kromě zmíněného zvýšení viditelnosti, má tento systém podle firmy *Precise Flight* snižovat riziko srážky s ptáky až o 60 %. Certifikovaný je na široké spektrum letadel všech velikostí včetně vrtulníků. Tento systém pouze přidává možnost blikání, možnost plného rozsvícení samozřejmě zůstává. Při průletu oblačností však tento systém může způsobovat z důvodu odrazu světla od vodních kapek zbytečné oslnění posádek, světla by tedy měla spíše svítit stabilně. Nevýhodou tohoto systému je však mnohonásobně větší impulsní zatěžování napájecího zdroje, neboť záběrný proud žárovky je až 10x větší než stabilní. [27][38]

### 5.3 Osvětlení pro speciální účely

Následující osvětlení se dá částečně chápat jako osvětlení pro zaručení viditelnosti letadla, použití je však spíše specifické.

#### Osvětlení loga

Toto osvětlení se montuje na horizontální ocasní plochy anebo, také na konce křídel, jsou namířena tak, aby osvětlovala vertikální stabilizátor, místo kam letecké společnosti umísťují svá loga či jiné motivy, kterými se identifikují. Používají se tedy za účelem propagace letecké společnosti a usnadnění identifikace letadla řídicí věží, jistý význam mají také ve snižování rizika kolize.



Obr. 8 Osvětlení loga (Boeing 787)

#### Formační osvětlení

Světla výhradně používaná na některých vojenských letadlech. Jak název napovídá, slouží ke snížení rizika kolize při létání ve formacích, kde jsou letadla velmi blízko sebe. Jednotlivá světla jsou odlišena svojí velikostí, natočením nebo případným rozdvojením tak, aby při zhoršených viditelnostních podmínkách bylo jasné, na jakou část letounu se pozorovatel dívá.





Obr. 9 Formační osvětlení (F-35II Lightning)

#### 5.4 Shrnutí

Postupy pro používání osvětlení letadla se neřídí pouze uvedenými předpisy. Ty jsou v praxi doplněny o určité zvyklosti, které si většinou zavádějí samotné letecké společnosti. Zároveň je vždy možné podle vlastního uvážení svítit více světly, než je minimálně potřeba, za účelem zvýšení vlastní viditelnosti, například je možné svítit přistávacími světly po celou dobu letu, pokud nedochází k oslnění vnějších pozorovatelů. Pro zlepšení přehlednosti jsou dále tyto zvyklosti a pravidla shrnuty do jednoduchého přehledu.

Na letištní ploše

Navigační osvětlení se zapíná vždy, když je letoun připojen ke zdroji napětí. Osvětlení vertikálního stabilizátoru se zapíná při předletové kontrole. Výstražné majáky se zapínají během údržbových prací na pohyblivých částech letounu a při zahájení vytlačování letounu ze stojánky a při startu motorů. Pojížděcí a turnoff světla se zapínají dle uvážení posádky.

Na přistávací dráze

Záblesková světla se zapínají při vjezdu na aktivní dráhu a vypínají se při jejím opuštění. Během startu a přistání se na letounu rozsvěcí všechna externí světla.

Během letu

Při dosažení určité výšky se vypínají všechna světla až na navigační a antikolizní. Naopak při klesání a dosažení stejné výšky se světla opět rozsvěcejí. Daná výška může být zavedena leteckou společností.[27]

## 6 Světelné zdroje

V leteckém průmyslu se využívá několik technologií osvětlení. Každá z nich přichází se svými výhodami a nevýhodami.

- Žárovky
- LED diody
- Výbojky

### 6.1 Žárovky

Žárovka patří mezi tzv. teplotní světelné zdroje. Zdrojem záření je u těchto zdrojů rozžhavená pevná látka, v případě žárovky to dříve byla kovová vlákna vyrobená například z platiny, osmia, uhlíku nebo tantalu, dnes již výhradně z wolframu. K samotnému rozžhavení dochází vlivem procházejícího elektrického proudu. Typickou charakteristikou těchto zdrojů je vyzařování spojitého spektra, nevýhodou je však nízká účinnost přeměny elektrické energie na světlo, pohybující se kolem 7 % u vakuových žárovek a u žárovek plněných plynem zhruba 10 %. Právě tato vlastnost, je jedna z důvodů, proč se od těchto zdrojů postupně odstupuje.

Z vnitřního prostoru žárovky jsou vyčerpány zbytky plynů a u žárovek plněných plynem je vnitřek naplněn argonem nebo kryptonem, v obou případech se jako příměs přidává dusík, ten zabraňuje vzniku výboje mezi jednotlivými závitmi wolframového vlákna. Přidáváním inertního plynu se zlepšují vlastnosti žárovky, zpomaluje se vypařování vlákna, umožní se dosažení vyšší teploty vlákna a tím i zvýšení měrného výkonu za zachování životnosti. Dále také inertní plyn zamezuje černání baňky a zvyšuje rovnoměrnost vyzařovaného světelného toku.

Mezi výhody žárovek můžeme zařadit jejich jednoduchou konstrukci, vynikající podání barev osvětlovaných předmětů, téměř okamžitý start a jejich jednoduchou výměnu. Díky možnosti konstruovat je v širokém rozpětí napájecích napětí se dají použít u letadel pro jakýkoliv typ osvětlení.

Dalšími nedostatky žárovek však jsou jejich krátká životnost pohybující se v rozpětí 500 až 1000 hodin, velký pokles světelného toku v průběhu životnosti a výrazná závislost jejich parametrů na napájecím napětí. [39]

Klasické žárovky jsou pomalu z oblasti letectví vytlačovány modernějšími světelnými zdroji. Jedním z hlavních důvodů je jejich krátká životnost a z toho vyplývající nutnost jejich

časté výměny. Tyto přídatné náklady představují nadbytečnou finanční zátěž pro letecké společnosti a jsou samozřejmě promítány do cen letenek. Což v dnešní době, kdy potenciaální zákazník hledá co nejlevnější možnost dopravy není žádoucí.

### 6.1.1 Halogenové žárovky

Halogenové žárovky jsou další vývojový stupeň klasických žárovek. Jedná se o žárovky plněné plyny s příměsí halogenů. Díky přidání halogenu je možné dosahovat větších provozních teplot. Aby bylo možné zajistit minimální pracovní teplotu 250 °C, bylo při vývoji nutné nahradit všechny méně mechanicky a teplotně odolné materiály na výrobu baňky odolnějšími. U halogenových žárovek se tak na místo měkké skloviny u klasických žárovek, využívá například křemenné sklo, s podstatně větší tepelnou odolností. Další nutnou konstrukční změnou bylo nahrazení měkké skloviny, obvykle používané u klasických žárovek, křemenným nebo tvrdým sklem, kvůli jejich tepelné odolnosti. Díky této změně bylo možné výrazně zmenšit rozměry žárovky a zvýšit vnitřní tlak plynné náplně. To mělo za následek snížení rychlosti odpařování wolframového vlákna a tím pádem prodloužení životnosti.[39]

Dodnes se halogenové žárovky používají jako přistávací a pojízďecí světla. U větších dopravních letadel se jako přistávací světlomety používají 600W žárovky GE 4559, napájené 28 V napětím s maximální svítivostí 600 000 cd, s životností pouhých 25 hodin.[27][40]

## 6.2 LED diody

Jsou polovodičové součástky s PN přechodem, u kterých dochází vlivem průchodu elektrického proudu k emitaci optického záření. I když byl jejich princip objeven již počátkem 20. století, prakticky byl realizován až v druhé polovině 20. století. Od té doby diody procházejí neustálým zdokonalováním, novými základními materiály a rozšiřováním spektra vyzařovaných barev.

První LED diody vyzařovaly světlo červené, po nich přišli diody zelené, oranžové, žluté a nakonec modré. Všechny tyto diody vyzařují velmi úzký pás vlnových délek v řádu několika desítek nanometrů. Rozšíření sortimentu diod o modrou barvu umožnilo vyrábět bílé světelné zdroje založené na technologii LED. Tím se velmi rozšířila možnost jejich použití i jako obecného zdroje světla. Kromě těchto uvedených diod jsou dostupné i diody zářící v ultrafialové nebo infračervené oblasti spektra.[39]

Při průchodu elektrického proudu PN přechodem v propustném směru, přecházejí volné elektrony z polovodiče typu N do polovodiče typu P, kde rekombinují a dostávají se na nižší

energetickou hladinu. Zbylá energie je vyzářena mimo materiál. Při vhodné volbě příměsí v okolním materiálu je tato energie z odhaleného PN přechodu vyzářena jako nekoherentní světlo s úzkým viditelným spektrem. [40]

Vyzařované spektrum světla je závislé na zvolených příměsích v polovodiči. V dnešní době se převážně používají velmi složité epitaxně vypěstované vrstvy. Materiály na bázi fosfidů india a arzenidů či galia a hliníku, u červených, žlutých a oranžových barev. U zelených, modrých a fialových diod se používají materiály na bázi india galia nebo nitridů a selenidů zinku. [39]

Mezi výrazné výhody LED diod patří jejich geometrické parametry, díky malým rozměrům je možné vyrábět velké množství světelných přístrojů nepřeberného množství tvarů, rozměrů a výkonů. Malé rozměry dále umožňují konstruovat zařízení s více koncentrovanými svazky světelné energie, což je výhodné například pro přenos informací.

Z důvodu malého napájecího napětí není také potřeba ochrany před nebezpečným dotykem. Tato výhoda však neplatí u světelných zdrojů složených z několika jednotlivých diod doplněných o integrovaný měnič napájených ze sítě 230 V, ty musí vyhovovat stejným bezpečnostním požadavkům jako ostatní spotřebiče. Dále lze diody spojovat do série a tím dosáhnout vyšších hodnot světelného toku. Také umožňují vlivem stejnosměrného provozu snadnou regulaci.[39]

Z pohledu letectví se za nejvýraznější výhody jeví jejich dlouhá životnost, nízké náklady na údržbu a mechanická odolnost vůči vibracím a otřesům. Naopak nevýhodou mohou být vyšší pořizovací náklady, ty se však s postupem času stále snižují.

### 6.3 Výbojky

Výbojky fungují na principu elektrického výboje v parách nebo plynech a jejich směsích. Konkrétně jde o páry sodíku, rtuti a halogenidů celé řady chemických prvků, převážně ze skupiny vzácných zemin, doplněny o vzácné plyny.

Výbojové zdroje lze rozdělit dle celé řady hledisek, podle typu výboje, místa vzniku záření a dle tlaku pracovní náplně. Dále budou v textu výbojky rozděleny dle tohoto hlediska, jelikož tlak vnitřní náplně ovlivňuje samotnou konstrukci světelného zdroje, technické, provozní parametry a použití. Toto rozdělení je tedy nejpoužívanější.

### 6.3.1 Nízkotlaké výbojové zdroje (zářivky)

V zářivce je hlavní část světla vyzařována jednou nebo více vrstvami luminoforu buzeným ultrafialovým zářením výboje. Konstrukční uspořádání je většinou trubicové, buď lineární anebo stočené do různých tvarů. Požadovaného vyzařovaného barevného odstínu světla a indexu podání barev se dosahuje volbou konkrétního typu luminoforu.

Trubice je vyrobena z měkkého sodno-vápenatého skla, na jejím vnitřním povrchu je nanesena jedna nebo u speciálních typů dvě vrstvy luminoforu. Ty transformují ultrafialové záření rtuťového sloupce na viditelné světlo. Na obou koncích trubice jsou přidělané wolframové elektrody, které jsou pokryty emisní hmotou na bázi vápníku a uhličitanu barya. Výboj uvnitř zářivky probíhá v nasycených parách rtuti při tlaku kolem 0,8 Pa. Samotné páry rtuti jsou navíc doplněny o inertní plyn, většinou argon. Ten snižuje zápalné napětí výboje a tím snižuje rychlost rozprašování emisní hmoty.

Mezi výhody zářivek patří například poměrně vysoká energetická účinnost a delší životnost oproti klasickým žárovkám a široké spektrum barev vyzařovaného světla. Mezi jejich nevýhody se řadí potřeba předřadných a startovacích obvodů, obsah toxické rtuti, z toho vyplývající nutnost ekologické recyklace a závislost světelného toku na okolní teplotě.[39]

### 6.3.2 Vysokotlaké výbojové zdroje

V případě těchto výbojek je světelné záření vyzařováno výbojem ve rtuťových, sodíkových či xenonových parách s tlakem okolo  $10^5$  Pa a luminoforu, který převádí světelné záření z UV spektra do viditelného. Do hořáku výbojky se dále přidává také argon, pro usnadnění zapálení výboje.

Existují také halogenidové výbojky, u kterých kromě samotného výboje slouží k vyzařování světla samotné záření některých prvků uvolňované při hoření, např. sodík nebo thalium. Dosahuje se tak zlepšení podání barev zdroje a měrného výkonu.[42]

## 7 Elektrické systémy

Elektrická energie slouží na palubách letadel kromě osvětlení také na elektromechanickou přeměnu energie, vytápění a také napájení širokého spektra rádiových, řídicích a navigačních systémů. Palubní elektrická síť se skládá jednak ze zdrojů – dynamo, alternátory a akumulátory dále z jisticích a kontrolních přístrojů, distribuční rozvodné sítě a spotřebičů.

Zdroje elektrické energie se na moderních letadlech dělí na primární, sekundární a záložní zdroje. Mezi primární zdroje se řadí stejnosměrné a střídavé generátory a mezi sekundární řadíme rotační a polovodičové měniče napětí. Poslední skupinou jsou zdroje záložní mezi ně patří akumulátory, záložní generátory nebo palivové články.

Jako jisticí a kontrolní přístroje se v letadlech používají zařízení pro regulaci napětí a pro paralelní spolupráci zdrojů, dále jsou to prvky pro ovládání, kontrolu, jištění a zálohování zdrojů, sítě a spotřebičů. V neposlední řadě sem patří i ochrany před nebezpečným dotykem živých a neživých částí.

Historicky byla v letadlech spíše používána stejnosměrná síť. Ta umožňovala jednoduchou regulaci stejnosměrných motorů, a navíc je její instalace jednodušší a lehčí než střídavá síť. Její hladina je zpravidla 28 V. Stejnosměrné rozvody ale přicházejí i s některými nevýhodami, ve vysokých výškách dochází vlivem řídkšího vzduchu ke špatné komutaci u stejnosměrných motorů a jsou i relativně těžké, dále nelze stejnosměrné napětí přímo transformovat.

Dnes na většině letadel nalezneme také střídavou síť, přičemž se stejnosměrná nechává jako záložní. Tato změna přináší určité výhody, a to možnost transformace napětí, pomocí usměrňovače získat stejnosměrné napětí, zbavíme se výše uvedeného problému s komutací a získáme větší výkon na kilogram než u stejnosměrných motorů. Střídavé rozvody však přinášejí problém při paralelním chodu generátoru, neboť je potřeba v tomto zapojení udržovat konstantní frekvenci i fázi. Zpravidla se používá třífázové napětí 3x115 V/200 V (115 V je fázová hodnota napětí a 200 V je sdružená hodnota napětí). Používaný kmitočet v síti je buď variabilní nebo konstantní.

Nejčastěji se používá síť s konstantním kmitočtem 400 Hz, generování střídavého napětí se dosahuje několika způsoby: polovodičovým měničem kmitočtu, pohonem alternátoru s konstantními otáčkami nebo variabilní převodovkou. Výhodou je možnost připojení více generátorů do společné sítě. Využití vyššího kmitočtu přináší výhody v podobě ušetření hmotnosti elektrických strojů, zvýšením kmitočtu ze standardních 50 Hz na 400 Hz nám

například umožní osmkrát zmenšit průřez magnetického obvodu transformátoru, nebo osmkrát snížit počet závitů což vede k celkovému zmenšení hmotnosti.

Sítě s variabilním kmitočtem pracují v rozsahu 400 Hz až 1000 Hz, v závislosti na daných otáčkách generátorů. Napřímo se dá tato energie využívat například pro topení. V novějších letadlech je frekvenční rozsah omezen jen na 400 Hz až 600 Hz, což umožňuje přímé připojení i dalších zařízení.

V letounech se vyskytují primární a sekundární sítě. Jako primární se používají:

- Stejnosměrná síť 28 V.
- 3-fázová střídavá síť s kmitočtem 400 Hz, 115 V.
- 3-fázová střídavá síť s proměnným kmitočtem 320Hz až 1000 Hz, 115 V.

Pro speciální účely se na palubách letadel může instalovat i síť sekundární:

- 1-fázová střídavá síť s kmitočtem 400 Hz, 115 V, pro napájení počítače a měřících přístrojů,
- 3-fázová střídavá síť s kmitočtem 400 Hz, 26 V, pro řízení letu,
- 1-fázová střídavá síť s kmitočtem 1800 Hz, pro řízení letu,
- Stejnosměrná síť 28 V napájena přes transformátor a usměrňovač z primární sítě.

Jako ochrana elektrických obvodů se používají jističe s bimetalem, ochrany napětovým a proudovým chráničem a pojistky. Často se ještě doplňuje o signalizaci stavu sítě a ovládání.

## 7.1 Distribuční soustavy

V závislosti na počtu vodičů můžeme přenosové soustavy rozdělit na:

- Jednovodičové
- Dvouvodičové
- Třívodičové
- Čtyřvodičové

Jednovodičová soustava

Soustava, ve které ke každému spotřebiči vede jeden přívod kladné polarity a trup letadla plní funkci záporného přívodu. Nevýhodou je, že je nutné zajistit spolehlivé spojení kontaktních míst. Předností této soustavy je ušetření montážního materiálu a hmotnosti až o 40 %. Díky malému odporu záporného vodiče jsou úbytky napětí až 2x menší než u



dvouvodičové soustavy. Existuje však zvýšené riziko zkratu a je nutné dodržovat přísnější požadavky na izolaci vodičů. S tímto typem soustavy se také pojí zvýšená možnost rušení z důvodu protékání proudu trupem letadla. Tato soustava se dá použít i pro vedení jednofázového střídavého proudu.

#### Dvouvodičová soustava

V tomto případě jsou od každého zdroje a spotřebiče vedeny dva vodiče. Kvůli zvýšení celkové hmotnosti letadla se moc nepoužívá, spíše jí nalezneme pouze jako doplněk jednovodičové soustavy tam, kde není možné zajistit spolehliví rozvod napětí trupem letadla. Používá se pro rozvod stejnosměrného napětí a za splnění několika podmínek i pro třífázový střídavý rozvod.

#### Trojvodičová soustava

Trojvodičová soustava s izolovaným nebo uzemněným uzlem se používá pro rozvod střídavého trojfázového napětí. Trup letadla se používá jako střední vodič.

#### Čtyřvodičová soustava

Moc se nepoužívá spíše se dává přednost trojvodičové.

Celkově se jeví jako nejvýhodnější soustava trojvodičová, jelikož je možné připojovat přístroje jak na sdružené tak fázové napětí, existuje i menší nebezpečí úrazu elektrickým proudem.[41]

## 7.2 Elektrické zdroje

Jako elektrické zdroje se v letadlech používají alternátory nebo dynama v závislosti na typu letadla. Ty jsou poháněny motory, mohou ale také být poháněny pomocnou pohonnou jednotkou, či vzduchovou pomocnou turbínou. Na výstupu generátoru je za normálních podmínek 115-120 V/400 Hz, 28 V nebo 14 V stejnosměrných. Elektrická energie se dále využívá bez úpravy nebo může být vedena přes transformátory, usměrňovače nebo invertory pro potřebu změny velikosti napětí či jeho frekvence.

Výstup z generátoru je obvykle veden na jednu nebo více sběrnic, ze kterých se přes jističe a pojistky napájí jednotlivé systémy.

Energie z generátorů se také využívá na napájení akumulátorů, ty jsou potřebné při startování letadla nebo jako záloha pro případ selhání generátoru či poruchy v distribuci elektrické energie.

#### Baterie

Baterie zastává v letounu několik funkcí, pomáhá vyrovnávat skokové změny ve velikosti odebíraného výkonu, které by jinak způsobily chvilkové poklesy napětí na sběrnici. Tato situace nastává například při spouštění velkých stejnosměrných motorů pohánějících palivová čerpadla. Dále slouží jako chvilkový zdroj energie v případech, kdy není k dispozici pozemní energetický zdroj a není zapnutý motor. Také poskytuje elektrickou energii v nouzových situacích. Některé typy letounů jsou kromě hlavní baterie vybaveny i záložními pro potřebu startu motorů v případech, kdy není k dispozici žádný jiný zdroj.

#### Pomocná pohonná jednotka

Pomocná pohonná jednotka neboli APU (*auxiliary power unit*), je zařízení, které letadlu dodává elektrickou energii v případě vypnutých motorů a nahrazuje pozemní energetický zdroj. Používá se u větších letadel a dodává mimo elektrické energie, také vzduch pro klimatizaci.

APU je malá turbína spojená přes převodovku s vlastním generátorem, celá soustava je umístěna v ocase letadla, v některých případech v gondolách motorů nebo v podvozkovém prostoru. Může být nastartována za pomoci elektromotoru napájeného z akumulátoru. Pokud je APU certifikováno na užití při letu, může být v případě potřeby použito v nouzových situacích při ztrátě motoru nebo jeho generátoru. Navíc zajišťuje přívod stlačeného vzduchu potřebného pro opětovné zprovoznění motoru. Nevýhodou APU je zvýšený hluk na ploše letiště a znečištění vzduchu.



Obr. 10 Pomocná pohonná jednotka

#### Pozemní zdroj

V případech, kdy je letoun zaparkován na letišti a je potřeba napájení části systému letadla například při prostojích mezi lety nebo při údržbě, se jeví jako nejvýhodnější způsob napájení připojení externího zdroje napětí. Nedochází tím pádem ke zvyšování hluku na letištích nebo zbytečnému vybíjení palubních baterií, které jsou potřeba při nouzových situacích. Za tímto účelem se používají pozemní energetické zdroje. Připojení se realizuje přes konektor umístěný na vhodném místě trupu letounu a spínačem pro spojení obvodu.

Nejčastěji sestávají z kombinace diesellového motoru a generátoru, existují však i jiné konfigurace a provedení. V případě velkých letišť je možné napojit letadlo k elektrické energii přes nástupní most nebo přes zřízenou přípojku na ploše letiště.

Připojení stejnosměrného napětí se provádí kabelem připojeným přes tři kolíkovou přípojku na trupu letounu, kde jeden kolík je pro zápornou polaritu a dva pro kladnou. Zároveň mají kolíky pro kladnou polaritu rozdílnou délku. Mezi samotným přívodem elektrického proudu a hlavní sběrnici je ještě elektromagnetické relé, jehož cívku napájí právě kratší kolík. Při odpojování tedy nejdříve dojde k odpadnutí relé a k samotnému přerušení obvodu dochází na elektricky pevných kolících. Přívod střídavého napětí je proveden 3-fázovým 4-vodičovým kabelem, ten je schopný přenést až 261 A.



Obr. 11 Pozemní zdroj

#### Pomocná vzduchová turbína

Je speciální způsob generování elektrické energie, používaný výhradně v krizových situacích. Skládá se z malé vrtule a generátoru. V případě potřeby je vysunuta z trupu letadla a poháněna okolním vzduchem. Kromě samotného generování elektrické energie také slouží k pohonu hydrauliky.[44]



Obr. 12 Pomocná vzduchová turbína

## 8 Zhodnocení

V dnešní době jsou veškeré nové technologie a postupy ve všech odvětvích silně ovlivňovány snahou o co nejekologičtější a nejúspornější řešení. Oblast letectví není žádnou výjimkou. Řadu let zde již lze pozorovat postupný přechod od starších méně ekologických technologií, které jsou často levnější pořizovací cenou, k jejich značně dražším, avšak ekologičtějším variantám.

Jako první příklad lze uvést externí osvětlení letadel, zpočátku se používaly klasické žárovkové světelné zdroje. Ty poskytovaly dostatečné osvětlení i pro lety v noci, jejich hlavní nevýhoda však spočívá v jejich malé účinnosti a relativně krátké životnosti. Částečným vylepšením bylo dosaženo nahrazením klasických žárovek halogenovými, ale už i ty jsou z trhu postupně vytlačovány.

V dnešní době se už u většiny nových letadel používají LED světelné zdroje. Díky svým výhodám je jejich používání daleko výhodnější než zmíněných žárovek. Výrazně totiž snižují provozní náklady pro provozovatele letounu svojí dlouhou životností a odolností proti nárazům a vibracím, které mohou na letadlo působit v celkem velké míře. Jediným problémem může být jejich vysoká pořizovací cena, ta se může vyšplhat i více jak na desetinásobek ceny ekvivalentního halogenového osvětlení. LED osvětlení nám však poskytne až dvacetinásobnou délku životnosti, čímž se s přehledem vyplácí. Dá se však předpokládat, že po uvážení současného trendu zlevňování LED světelných zdrojů a zdražování žárovek, nemusí být za pár let tento argument pravdivý.

Víceméně stejný vývoj můžeme pozorovat i u osvětlení interiérového, kde se jako další výhoda projevuje menší velikost LED diod. Na internetových e-shopech je tak dostupné nepřeborné množství různých lampiček a LED pásků pro osvětlení přístrojové desky a kabiny letadla. Výhodou je také možnost nastavování požadované vyzařované barvy, pokud jsou diody nainstalované v konfiguraci RGB. Přes den se tak v případě nutnosti může svítit klasickým bílým světlem a v noci, kdy je nežádoucí, aby se nám z předního skla světlo odráželo, používat světlo červené. Je nutné uvést, že i přes možnost nastavení barvy se stále jedná o monochromatický světelný zdroj, což může představovat určité bezpečnostní riziko při rozpoznání kritického detailu.

Barevné regulovatelnosti se využívá také v nejmodernějších dopravních letadlech. Ty jsou vybavené dynamickým ambientním osvětlením. Díky němuž se může libovolně osvětlovat kabina pro cestující a zlepšovat tak prožitek z letu a celková atmosféra a dokonce pomáhá ulevovat od pásmové nemoci při dlouhých letech.

Dále je uveden orientační výpočet pro nákup nového LED osvětlení, konkrétně pro letadlo Cessna 172. Ceny byly přepočteny podle aktuálního kurzu ke dni 28. 4. 2022. Veškeré ceny byly převzaty z amerického internetového obchodu aircraftspruce.com.

**Pojížděcí světlomet:** Aeroleds Sunspot 36 LX Landing Light, cena: 8 120,- Kč

**Přistávací světlomet:** Aeroleds Sunspot 36 LX Taxi Light, cena: 8 120,- Kč

**Maják:** Whelen LED Beacon Red 28 V, cena: 15 121,- Kč

**Navigační osvětlení:** Whelen Orion 600 Series Wingtip Navigation LED lights + Whelen LED Tail position Light, cena: 35 338,- Kč

**Celkem:** 66 699,- Kč

Co se týče žárovkových a výbojkových zdrojů, jejich sortiment je značně omezen a převážně se prodávají pouze náhradní díly, celkem dostupné jsou stále halogenové přistávací světlomety, které lze zakoupit v přepočtu za 400,- Kč, s odhadovanou životností 100 hodin. To v porovnání s životností více jak 30 000 hodin u výše zmíněné LED sestavy představuje obrovský rozdíl. Na závěr lze říct, že pokud vybavíme letoun LED osvětlením, vydrží nám po celou dobu provozu samotného letadla, za předpokladu, že nenastane nějaká závada.

Neustálému vývoji a pokroku však nepodléhají pouze osvětlovací soustavy, ale v podstatě veškeré vybavení letadel. Ať už jsou to nové lehčí a odolnější kompozitní materiály, přechod od analogových ukazatelů k tzv. skleněnému kokpitu či zdokonalování řídicích systémů.

Od počátku letectví byla nejprve letadla vybavována stejnosměrnou sítí, ta umožňovala jednoduchou regulaci stejnosměrných motorů. S průběhem času byla letadla schopná dosahovat stále vyšších výšek a začala se projevovat jedna z nevýhod stejnosměrných motorů, začalo docházet k problémům s komutací při letu ve vyšších výškách vlivem řídkého vzduchu. To byl jeden z důvodů proč se postupem času začala stejnosměrná síť doplňovat střídavou. Dalším důvodem bylo ušetření hmotnosti, jelikož stejnosměrné motory jsou těžší než jejich střídavé ekvivalenty o stejném výkonu. Instalace střídavé sítě dále usnadnila transformaci napětí na různé hladiny a možnost usměrnění na stejnosměrné napětí polovodičovým usměrňovačem.



## 9 Závěr

Letectví jako takové představuje nezanedbatelnou roli ve světové ekonomice, jen ročně je 30 % celkového přepraveného nákladu přepraveno právě letecky. Není tak divu, že momentální snaha o co nejekologičtější a nejúspornější technické řešení se nevyhýbá ani tomuto odvětví. Můžeme tak v posledních letech pozorovat přesun od tradičních tepelných světelných zdrojů k úspornějším a ekologičtějším LED diodám. Jejich hlavní výhoda spočívá právě ve výrazně delší životnosti a z toho vyplývajících úspor na údržbě, což představuje hlavní rozhodovací kritérium při nákupu nových letadel leteckými společnostmi.

Samotná legislativa nařizující pravidla pro používání osvětlovacích soustav je zaváděna jednotlivými úřady pro civilní letectví. Za účelem sjednocení těchto pravidel byl mimo jiné založen Mezinárodní úřad pro civilní letectví, který vydává jednotlivá doporučení. Metodika osvětlování se však neřídí pouze podle těchto pravidel, ale také podle zvyklostí v jednotlivých oblastech letectví.

Samotné použití jednotlivých osvětlovacích soustav se v zásadě odvíjí od konstrukčního řešení letadla a jeho určení. Základem všech letadel je však osvětlení navigační a protisrážkové, případně pojezdové a přistávací. Ostatní osvětlení jako například osvětlení loga či formační osvětlení je používáno jen v specifických případech.

Pokud bych měl zhodnotit psaní samotné práce, tak jsem si díky ní rozšířil vědomosti týkající se této problematiky. Získal jsem spoustu nových informací jak o platné legislativě, tak o samotné používané metodice a technologiích používaných v letectví. Toto téma jsem si vybral, jelikož je letectví mým celoživotním koníčkem a jsem přesvědčen, že zde získané vědomosti v budoucnosti využiji ať již v profesní kariéře či potažmo v osobním životě.

## Seznam obrázků a tabulek

Obrázek 1 – Cessna 172RG Cutlass II, autor Peter Bakema, dostupné z:

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cessna\\_172RG\\_Cutlass\\_RG\\_Private\\_N4962V,\\_GRQ\\_Groningen\\_\(Eelde\),\\_Netherlands\\_PP1169218907.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cessna_172RG_Cutlass_RG_Private_N4962V,_GRQ_Groningen_(Eelde),_Netherlands_PP1169218907.jpg)

Obrázek 2 – Umístění světel, dostupné z: <https://aim.rlp.cz/predpisy/predpisy/index.htm>

Obrázek 3 – Výbojkoví pojízďeční a přistávací světlomet (Cessna 172), foto autor

Obrázek 4 – Turnoff světlomet v pravé části průzoru (Boeing 737), autor Clayton Eddy, dostupné z: <https://cz.pinterest.com/pin/377528381255121199/>

Obrázek 5 – Osvětlení náběžné hrany křídla (Airbus A350), autor kusuyama100, dostupné z: <https://www.youtube.com/user/kusuyama100/videos>

Obrázek 6 – Navigační a zábleskové světlo (Jak-18T), foto autor

Obrázek 7 – Červený ocasní maják (Cessna 172), foto autor

Obrázek 8 – Osvětlení loga (Boeing 787), autor Aircraft Nerds, dostupné z:

<https://aviationforaviators.com/2021/05/24/aircraft-exterior-lighting/#jp-carousel-7333>

Obrázek 9 – Formační osvětlení (F-35II Lightning), autor Lance Cpl. Jeremy Laboy, dostupné z:

[https://en.wikipedia.org/wiki/Formation\\_light#/media/File:F35\\_Lighting\\_II\\_Aerial\\_Refuel\\_160621-M-CK339-056.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Formation_light#/media/File:F35_Lighting_II_Aerial_Refuel_160621-M-CK339-056.jpg)

Obrázek 10 – Pomocná pohonná jednotka, dostupné z:

<https://blog.dviation.com/2021/06/23/how-does-it-work-auxiliary-power-units/>

Obrázek 11 – Pozemní zdroj, autor Petr Kadlec, dostupné z:

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:OK-XFC\\_connected\\_to\\_GPU.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:OK-XFC_connected_to_GPU.jpg)



Obrázek 12 – Pomocná vzduchová turbína, dostupné z: <https://aeropeep.com/what-is-ram-air-turbine-rat/>

Tabulka 1 – Předepsané minimální hodnoty svítivosti v horizontální ose, převzaté z: <https://www.law.cornell.edu/cfr/text/14/25.1391>

Tabulka 2 – Předepsané minimální hodnoty svítivosti ve vertikální ose, převzaté z: <https://www.law.cornell.edu/cfr/text/14/25.1393>

Tabulka 3 – Minimální hodnoty efektivní svítivosti zábleskových světel, převzaté z: <https://www.law.cornell.edu/cfr/text/14/25.1401>

## Literatura

[1] All At Sea.net (2017). The History of the Rule of the Road – Sailing Vessel History. Dostupné z: <https://www.allatsea.net/the-history-of-the-rule-of-the-road/> [Cit. 12.4.2022]

[2] The statutes of the United Kingdom of Great Britain and Ireland, 9 & 10 Victoria (1846). Dostupné z: <https://archive.org/details/statutesunitedk39brigoog/page/622/mode/2up?view=theater> [Cit. 11.4.2022]

[3] „Steamers’ lights – to prevent collision“ The London Gazette. No. 20876 11. července 1848 str. 2606. Dostupné z: <https://www.thegazette.co.uk/London/issue/20876/page/2606> [Cit. 11.04.2022]

[4] The Convention on International Civil Aviation. Annexes Booklet. Dostupné z: [https://www.icao.int/safety/airnavigation/nationalitymarks/annexes\\_booklet\\_en.pdf](https://www.icao.int/safety/airnavigation/nationalitymarks/annexes_booklet_en.pdf) [Cit. 12.4.2022]

[5] Wikipedia (2022). Letadlo. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Letadlo> [Cit. 12.4.2022]

[6] Flying Revue (2018). Jak se letadla dělí podle typu pohonu a principy fungování různých druhů letadlových motorů. Dostupné z: <https://www.flying-revue.cz/svet-letecke-dopravy-struktura-letadloveho-parku> [Cit. 12.4.2022]

[7] Cornell Law School. Dostupné z: <https://www.law.cornell.edu/cfr/text/14/25.1383> [Cit. 12.4. 2022]

[8] Cornell Law School. Dostupné z: <https://www.law.cornell.edu/cfr/text/14/25.1401> [Cit. 12.4. 2022]

[9] Vanderover, J.S.; Visser, K.D. Dostupné z: <https://www.rcgroups.com/forums/showatt.php?attachmentid=2815700> [Cit 13.4.2022]

- [10] Wikipedia (2022) Dopravní letoun. Dostupné z:  
[https://cs.wikipedia.org/wiki/Dopravn%C3%AD\\_letoun](https://cs.wikipedia.org/wiki/Dopravn%C3%AD_letoun) [Cit. 14.4.2022]
- [11] Wikipedia (2021) Vojenské letadlo. Dostupné z:  
[https://cs.wikipedia.org/wiki/Vojensk%C3%A9\\_letadlo](https://cs.wikipedia.org/wiki/Vojensk%C3%A9_letadlo) [Cit. 14.4. 2022]
- [12] Wikipedia (2021) Vojenské letadlo. Dostupné z:  
[https://cs.wikipedia.org/wiki/Vojensk%C3%A9\\_letadlo](https://cs.wikipedia.org/wiki/Vojensk%C3%A9_letadlo) [Cit. 14.4. 2022]
- [13] Transport Canada (2011). Part V – Airworthiness Manual Chapter 523 – Normal, Utility, Aerobatic And Commuter Category Aeroplanes. Dostupné z:  
[https://tc.canada.ca/en/corporate-services/acts-regulations/list-regulations/canadian-aviation-regulations-sor-96-433/standards/airworthiness-manual-chapter-523-normal-category-aeroplanes/airworthiness-manual-chapter-523-subchapter-general-subchapter-b-flight-canadian-aviation#523\\_3](https://tc.canada.ca/en/corporate-services/acts-regulations/list-regulations/canadian-aviation-regulations-sor-96-433/standards/airworthiness-manual-chapter-523-normal-category-aeroplanes/airworthiness-manual-chapter-523-subchapter-general-subchapter-b-flight-canadian-aviation#523_3) [Cit. 14.4. 2022]
- [14] Technik.ihned.cz, Josef Vališka (9.8.2004). Dostupné z:  
[https://web.archive.org/web/20110716085724/http://technik.ihned.cz/1-10015230-14724870-800000\\_detail-2f](https://web.archive.org/web/20110716085724/http://technik.ihned.cz/1-10015230-14724870-800000_detail-2f) [Cit. 14.4. 2022]
- [15] Wikipedia (2021) Experimentální letadlo. Dostupné z:  
[https://cs.wikipedia.org/wiki/Experiment%C3%A1ln%C3%AD\\_letadlo](https://cs.wikipedia.org/wiki/Experiment%C3%A1ln%C3%AD_letadlo) [Cit. 14.4. 2022]
- [16] Cessna Skyhawk, Archivováno, Wayback Machine (2013) Dostupné z:  
<https://web.archive.org/web/20130404235254/http://www.cessna.com/single-engine/skyhawk?trk=NavSingle> [Cit. 14.4.2022]
- [17] AVweb. Cessna to Offer Diesel Skyhawk (2007). Dostupné z:  
<https://www.avweb.com/aviation-news/aopa/cessna-to-offer-diesel-skyhawk/> [Cit. 14.4.2022]
- [18] Flyingmag.com, Cessna 172: Still relevant today? (2020). Dostupné z:  
<https://www.flyingmag.com/cessna-172-still-relevant/> [Cit. 14.4. 2022]

- [19] Flyingmag.com, The Evolution of Cessna 172 (2022). Dostupné z:  
<https://www.flyingmag.com/aircraft-pistons-evolution-cessna-172/> [Cit. 14.4. 2022]
- [20] Disciples of Flight, Clark Anders (2015). Dostupné z:  
<https://disciplesofflight.com/cessna-172-skyhawk/> [Cit. 14.4. 2022]
- [21] AVweb, Editorial Staff, Electric 172 May Fly Early Next Year (2010). Dostupné z:  
<https://www.avweb.com/air-shows-events/electric-172-may-fly-early-next-year/>  
[Cit. 14.4. 2022]
- [22] AVweb, Editorial Staff, Electric Cessna 172 Starts Taxi Tests (2011). Dostupné z:  
<https://www.avweb.com/air-shows-events/electric-cessna-172-starts-taxi-tests/>  
[Cit. 14.4.2022]
- [23] EV world, Archivováno, Wayback Machine (2016), Dostupné z:  
<https://web.archive.org/web/20161120075857/http://evworld.com/news.cfm?newsid=28964> [Cit. 14.4. 2022]
- [24] AVweb, Editorial Staff, Cessna 172RG Cutlass RG (2019), Dostupné z:  
<https://www.avweb.com/features/cessna-172rg-cutlass-rg/> [Cit. 14.4. 2022]
- [25] Cessna 172RG, Information Manual (1981)
- [26] Skybrary, External Lights. Dostupné z: <https://skybrary.aero/articles/external-lights>  
[Cit. 16.4. 2022]
- [27] Aerosavvy, Savvy Passenger Guide to Airplane Lights (2017). Dostupné z:  
<https://aerosavvy.com/airplane-lights/> [Cit. 16.4. 2022]
- [28] Aeroweb, Briefing – Letecké předpisy. Dostupné z:  
<https://www.aeroweb.cz/briefing/letecke-predpisy> [Cit. 17.7.2022]
- [29] Wikipedia, Letecké předpisy (2022). Dostupné z:  
[https://cs.wikipedia.org/wiki/Leteck%C3%BD\\_p%C5%99edpis](https://cs.wikipedia.org/wiki/Leteck%C3%BD_p%C5%99edpis) [Cit. 17.4. 2022]

- [30] Letecká informační služba, Předpis L6/II, Doplněk 2.1 – Světelné vyznačování letounů (18.11. 2010). Dostupné z: <https://aim.rlp.cz/predpisy/predpisy/index.htm> [Cit. 17.4. 2022]
- [31] Letecká informační služba, Předpis L2, Hlava 3 – Všeobecná pravidla (12.10.2017). Dostupné z: <https://aim.rlp.cz/predpisy/predpisy/index.htm> [Cit. 19.4.2022]
- [32] Letecká informační služba, Předpis L8, Část IIIA, Hlava 8- Přístroje a vybavení (16.12.2010). Dostupné z: <https://aim.rlp.cz/predpisy/predpisy/index.htm> [Cit. 19.4. 2022]
- [33] Cornell Law School. Dostupné z: <https://www.law.cornell.edu/cfr/text/14/25.1403> [Cit. 19.4.2022]
- [34] Wikipedia, Airplane (2022). Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Airplane#cite\\_note-1](https://en.wikipedia.org/wiki/Airplane#cite_note-1) [Cit. 21.4. 2022]
- [35] Statista, Number of scheduled passengers boarded by the global airline industry from 2004 to 2022. Dostupné z: <https://www.statista.com/statistics/564717/airline-industry-passenger-traffic-globally/> [Cit. 21.4. 2022]
- [36] IATA, Value of air cargo. Dostupné z: <https://www.iata.org/en/programs/cargo/sustainability/benefits/> [Cit. 21.4. 2022]
- [37] ICAO, History. Dostupné z: <https://www.icao.int/secretariat/technicalcooperation/pages/history.aspx> [Cit. 21.4.2022]
- [38] Precise Flight, PulseLite Technology & Systems. Dostupné z: <https://preciseflight.com/pulselite-pulsing-aircraft-lights/> [Cit. 22.4. 2022]
- [39] Jiří Habel, Karel Dvořáček, Vladimír Dvořáček a Petr Žák, Světlo a osvětlování, Praha: FCC Public, 2013. ISBN 978-80-86534-21-3 [Cit. 4.5.2022]
- [40] Skygeek.com, GE Lightning 4559. Dostupné z: <https://skygeek.com/gesealbeamla7.html> [Cit. 25.4.2022]

[41] Miroslav Melichar a Otakar Kurka, Výkonová elektrotechnika, VA Brno 2003.

[42] Josef Linda, Elektrické světlo 2, ZČU Plzeň 1994.

[43] Cessna 172RG Cutlass Information Manual, Cessna Aircraft Company, Wichita, Kansas USA 1981

[44] E.H.J. Pallett, Aircraft Electrical systems, Third Edition, Pearson India Education services 2015, ISBN 978-81-317-0389-2

[45] Wikipedia, Turboprop (2022), Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Turboprop>  
[Cit. 24.5. 2022]