

Gymnázium, Třeboň, Na Sadech 308

**CENA DĚKANA FD ČVUT  
V PRAZE**

**Porovnání Solar Impulse se současnými  
letouny**

Autor: Tereza Grötschelová

Ročník: 4.

Školní rok: 2019/2020

## **Anotace**

Cílem mé práce je porovnat letoun Solar Impulse se současnými letouny na běžný pohon. První část práce obsahuje popis letounu Solar Impulse včetně stručného principu fungování fotovoltaických článků. Dále jsou popsány vybrané letouny Airbus A380 a TL 3000 Sirius včetně jejich typů pohonů. Na tomto základě jsou ve druhé části vypočítány hodnoty pro konečné porovnání letounů.

## **Klíčová slova**

- Solar Impulse
- Airbus A380
- TL 3000 Sirius
- Fotovoltaické články
- Výkon
- Oxid uhličitý

# Obsah

Úvod .....	4
1 Projekt Solar Impulse .....	5
1.1 Fotovoltaické články .....	7
1.1.1 Historie fotovoltaických článků .....	7
1.1.2 Princip fungování fotovoltaických článků Si <sub>2</sub> .....	8
2 Airbus A380 .....	9
2.1 Historie .....	9
2.2 Výroba .....	9
2.3 Popis letounu .....	10
2.4 Popis motoru .....	11
2.4.1 Princip fungování dvouproudového motoru .....	11
2.4.2 Obtokový poměr .....	12
3 TL 3000 Sirius .....	14
3.1 Historie .....	14
3.2 Popis letounu .....	14
3.3 Popis motoru .....	15
3.3.1 Pístový spalovací motor a vrtule .....	15
3.3.2 Princip činnosti čtyřdobého zážehového motoru .....	15
4 Porovnání Si <sub>2</sub> a Airbus A380 .....	17
4.1 Tah motoru .....	17
4.2 Odvození vzorce pro výkon motoru .....	18
4.3 Výpočet plochy fotovoltaických panelů .....	19
5 Porovnání Si <sub>2</sub> a TL 3000 Sirius .....	21
5.1 Spotřeba paliva .....	21
5.2 Výpočet produkce oxidu uhličitého .....	21
5.3 Produkce oxidu uhličitého při obletu Země .....	24
6 Diskuze .....	26
Závěr .....	27
Přílohy .....	28
Seznam vyobrazení .....	28
Seznam tabulek .....	28
Použité zdroje .....	29
Seznam příloh .....	31
Seznam vyobrazení .....	31
Seznam tabulek .....	31

## Úvod

V poslední době se v letecké dopravě přichází s požadavkem na snižování emisí pro zlepšení životního prostředí, a tak zatímco někteří se snaží snížit emise na běžně používaných motorech, jiní hledají novou cestu. Tak vznikl nápad vytvořit letoun, který by mohl létat na solární energii a šetřit tak životní prostředí. Otázkou ale je, jestli se systém solárního letounu dá použít na všechny typy letounů, které dnes tvoří letecký provoz.

Vzhledem k tomu, že jsem nikde nenašla zdroje, které by popisovaly širší využití solárních letounů, ráda bych vás v první části mé práce seznámila s letounem Solar Impulse, který létá na solární energii. Chtěla bych přiblížit celou historii tohoto projektu, pak bych se zaměřila na technické specifikace. Dále bych se chtěla věnovat fotovoltaickým článkům, které jsou pro tento letoun nezbytnou součástí.

V další části bych se chtěla zaměřit na největší civilní dopravní letoun Airbus A380, který bych představila od začátku jeho historie přes jeho výrobu a technické specifikace až po fungování dvou Proudových motorů, které tento letou má.

Dále bych chtěla vyhledat letoun se spalovacím motorem, který má podobný výkon jako Solar Impulse. Zjistit důležité informace o historii a technických specifikacích a následně bych se zaměřila na bližší popis motoru a jeho fungování.

V následující části bych chtěla porovnat Solar Impulse s Airbusem A380. Chtěla bych spočítat plochu fotovoltaických panelů, které by musel mít letoun na solární pohon se srovnatelným výkonem jako má Airbus A380. Zde se budu muset zaměřit na vyhledání vzorců potřebných pro tyto výpočty.

Dále bych chtěla porovnat Solar Impulse s letounem se spalovacím motorem podobného výkonu. Zde bych chtěla vypočítat množství oxidu uhličitého, který by vyprodukoval tento letoun se spalovacím motorem při obletu Země.

V poslední části mé práce bych pak chtěla prodiskutovat zjištěné výsledky mých výpočtů a zhodnotit, jestli by se solární letoun dal zařadit do klasického leteckého provozu.

# 1 Projekt Solar Impulse

Letecký rekordman a psychiatr Bertrand Piccard založil projekt Solar Impulse již v roce 2003. Prvopočátkem úspěchu byl v roce 2009 přízemní let prvního prototypu letounu Solar Impulse dlouhý 350 metrů ve švýcarském Dübendorfu. Další úspěch tohoto projektu byl v roce 2013, kdy první letoun Solar Impulse neboli HB – SIA, přeletěl z východního na západní pobřeží Spojených států amerických.<sup>1</sup>

Přesnější název pro letoun popisovaný v této práci je Solar Impulse 2 (Si2) nebo také HB – SIB (Obr. 1), protože je to již druhý model solárního letounu, jehož návrh začal vznikat v roce 2011.<sup>2 3 4</sup>



Obrázek 1: Solar Impulse 2

Letoun Solar Impulse (HB – SIB) je letadlo, které je poháněno sluneční energií. Je to zatím jediný letoun na solární pohon, který obletěl zeměkouli. Oblet Země trval 500 hodin čistého času, ale s mezipřistáními cesta trvala rok a čtvrt.<sup>5</sup>

Letoun odstartoval z Abu Dhabi v březnu 2015 a na konci července 2016 přistál na stejném místě. Přelet letounu trval 16 měsíců. Jeho cesta byla dlouhá více než 40 tisíc kilometrů. Na této cestě letoun absolvoval celkem 16 mezipřistání, a to v devíti státech. Mezipřistání byla uskutečněna v tomto pořadí (Obr. 2): v Maskatu v Ománu, Ahmadábádu a Váránasí v Indii, Mandalaji v Myanmaru, Čchung-Čchingu a Nankingu v Číně, Nagoji v Japonsku, Kalaeloi na Havaji, San Franciscu v Kalifornii, Phoenixu v Arizoně, Tulsa v Oklahomě, Daytonu v Ohiu, Lehigh Vally v Pensylvánii, New Yorku, Seville ve Španělsku a Káhiře v Egyptě.<sup>6</sup>

---

<sup>1</sup> MAŠEK, František, První letadlo poháněné sluneční energií obletělo zeměkouli, EkonTech.cz 27, 2016, s. 18.

<sup>2</sup> Tamtéž

<sup>3</sup> SOLAR IMPULSE FOUNDATION, <https://aroundtheworld.solarimpulse.com/adventure>, staženo 26. 10. 2019.

<sup>4</sup> LNĚNIČKA, Jaroslav, Solar Impulse 2, [https://www.airspace.cz/akademie\\_letectvi/2014/04/solar-impulse-2/](https://www.airspace.cz/akademie_letectvi/2014/04/solar-impulse-2/), staženo 20. 10. 2019.

<sup>5</sup> MAŠEK, František, První letadlo poháněné sluneční energií obletělo zeměkouli, EkonTech.cz 27, 2016, s. 18.

<sup>6</sup> SOLAR IMPULSE FOUNDATION, <https://aroundtheworld.solarimpulse.com/adventure>, staženo 26. 10. 2019.

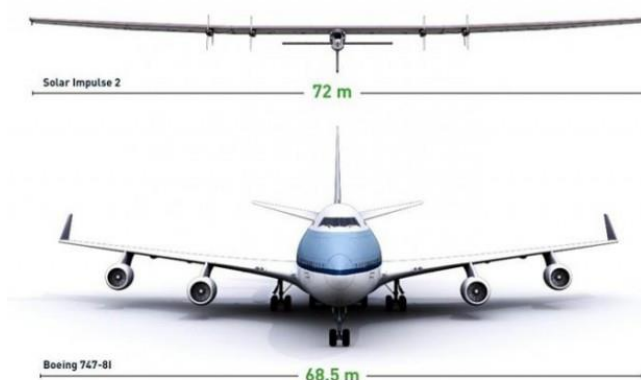


Obrázek 2: Mapa mezipřistání Si2

Tento letoun pilotovali pouze dva piloti, a to Bertrand Piccard a André Borchberg, kteří se na cestách při řízení střídali.<sup>7</sup>

Letoun Solar Impulse má rozpětí křídel 72 metrů, což je více, než má Boeing 747 (Obr. 3), který má rozpětí křídel pouhých 59,6 metrů. Délka letounu je 22,4 metrů a výška je 6,37 metrů.

Přitom letoun váží ale jen 2,3 tuny, což je pro letadlo velmi málo. Kabina pro pilota je velká jen 3,8 m<sup>3</sup>, proto se po celou dobu letu pilot nemůže zvednout. Sedačka, na které pilot sedí, se dá rozložit tak, aby vytvořila lůžko. Sedačka mimo jiné obsahuje také toaletu, kterou má pilot přímo pod sebou.<sup>8 9 10</sup>



Obrázek 3: Porovnání Si2 a B747

Solar Impulse disponuje čtyřmi motory. Každý z motorů má výkon 13 kW, dohromady mají tedy výkon 52 kW, což je v přepočtu 70 koní. Celý povrch svrchní části letounu je pokryt 17 248 fotovoltaickými články. Přibližně je plocha panelů 269,5 m<sup>2</sup>. energii motorům dodávají lithiové baterie.<sup>11 12 13</sup>

<sup>7</sup> MAŠEK, František, První letadlo poháněné sluneční energií obletělo zeměkoulí, EkonTech.cz 27, 2016, s. 19.

<sup>8</sup> Tamtéž

<sup>9</sup> SOLAR IMPULSE FOUNDATION, <https://aroundtheworld.solarimpulse.com/adventure>, staženo 26. 10. 2019.

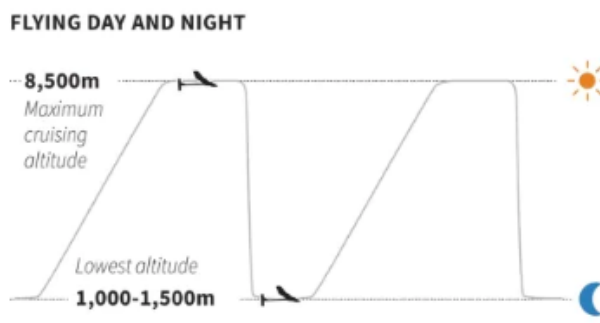
<sup>10</sup> LNĚNIČKA, Jaroslav, Solar Impulse 2, [https://www.airspace.cz/akademie\\_letectvi/2014/04/solar-impulse-2/](https://www.airspace.cz/akademie_letectvi/2014/04/solar-impulse-2/), staženo 20. 10. 2019.

<sup>11</sup> Tamtéž

<sup>12</sup> SOLAR IMPULSE FOUNDATION, <https://aroundtheworld.solarimpulse.com/adventure>, staženo 26. 10. 2019.

<sup>13</sup> MAŠEK, František, První letadlo poháněné sluneční energií obletělo zeměkoulí, EkonTech.cz 27, 2016, s. 19.

Letoun může létat rychlostí od 36 km/h do 140 km/h. Ve dne je jeho maximální rychlost 140 km/h a může letět ve výšce až 8 500 metrů nad mořem, ale v noci je maximální rychlost pouze 90 km/h, a kvůli úspoře baterií musí letoun sestoupit do výšky 1 500 metrů nad mořem (Obr. 4). Letoun ovlivňuje také to, v jaké výšce zrovna letí. Určená rychlost pro výšku hladiny moře je od 45 km/h do 90 km/h a v maximální nadmořské výšce, ve které může Solar Impulse letět, je rychlost od 57 km/h do 140 km/h.<sup>14 15</sup>



Obrázek 4: Výška letu Si2

## 1.1 Fotovoltaické články

### 1.1.1 Historie fotovoltaických článků

Fotovoltaické články fungují na principu fotovoltaického jevu, který je jednou z forem vnitřního fotoelektrického jevu. Fotoelektrický jev byl v roce 1887 poprvé popsán Heinrichem Hertzem, a to z pohledu tehdejší fyziky, jako nevysvětlitelné chování elektromagnetického vlnění při dopadu na povrch kovu. Kvantového vysvětlení se fotoelektrický jev dočkal až roku 1905, kdy ho popsal Albert Einstein, který roku 1921 získal za svůj přínos fyzice Nobelovu cenu.<sup>16</sup>

Fyzik Antoine César Becquerel (Obr. 5) se považuje za objevitele fotoelektrického jevu/fotovoltaického jevu. Tento objev učinil v roce 1839, kdy zkoušel pokusy s elektrodami ponořenými do elektrolytu. Zjistil tak, že se mění napětí na elektrodách v závislosti na slunečním záření.<sup>17</sup>



Obrázek 5:  
Antoine César Becquerel

Fotovoltaický jev poprvé zpozoroval William Grylls Adams společně s jeho žákem Richardem Evansem Dayem v roce 1876. Vůbec první fotovoltaický článek byl ale vyroben Charlesem Frittsem roku 1883. Článek byl vyroben ze selenového polovodiče a na povrchu byl potažen tenkou vrstvou zlata. Russell Shoemaker

Ohl si fotovoltaický článek nechal roku 1946 patentovat. Vynálezci G. L. Pearson, Daryl

<sup>14</sup> SOLAR IMPULSE FOUNDATION, <https://aroundtheworld.solarimpulse.com/adventure>, staženo 26. 10. 2019.

<sup>15</sup> MAŠEK, František, První letadlo poháněné sluneční energií obletělo zeměkouli, EkonTech.cz 27, 2016, s. 19.

<sup>16</sup> DOLEŽAL, Martin Mgr. a kol., Solární energie, [http://zelenymost.cz/files/solarni\\_energie.pdf](http://zelenymost.cz/files/solarni_energie.pdf), staženo 12. 10. 2019.

<sup>17</sup> Tamtéž

Chaplin a Calvin Fuller následně roku 1954 vyrobili první fotovoltaický článek s monokrystalickým křemíkem.<sup>18</sup>

První rozvoj fotovoltaiky nastal po nástupu kosmonautiky. Solární články začaly být důležité pro vesmírné družice jako zdroj energie. Americká družice Vanguard I. byla jako první družice napájena přes solární články. Články napájely 7 let jeden vysílač této družice.<sup>19</sup>

### 1.1.2 Princip fungování fotovoltaických článků Si2

Fotovoltaický článek je vyroben z polovodičového materiálu (elektrická vodivost závisí na vnitřních nebo vnějších podmínkách). Destičky jsou vyrobeny z křemíku. Tento materiál je tvořen atomy, což jsou jádra, kolem kterých jsou elektrony. Světlo, které je proudem fotonů, přijde do kontaktu s atomy, tak se aktivují elektrony, které se pohybují ve všech směrech. Tímto pohybem elektronů se vytváří nepřetržitý proud elektřiny.<sup>20 21</sup>

Na letounu Si2 je celkem 17 248 článků (Obr. 6) o tloušťce 0,135 mm a jejich účinnost je 23 %. Celková plocha fotovoltaických článků činí 269.5 m<sup>2</sup>.<sup>22</sup>

Solární články shromažďují sluneční paprsky a přeměňují je v elektrickou energii. Na tomto letounu solární články za den shromáždí až 340 kWh sluneční energie. Tato elektrická energie putuje do motorů nebo je poslána do baterií.<sup>23</sup>



Obrázek 6: Fotovoltaické články na Si2

Přes den letoun letí jen na sluneční energii, ale ráno, večer, a hlavně v noci letí na zásoby uložené v bateriích. Energie je uložena v lithiových bateriích. Přes den se musí baterie nabít na 100 %, aby letoun mohl letět až do východu slunce.<sup>24</sup>

<sup>18</sup> DOLEŽAL, Martin Mgr. a kol., *Solární energie*, [http://zelenymost.cz/files/solarni\\_energie.pdf](http://zelenymost.cz/files/solarni_energie.pdf), staženo 12. 10. 2019.

<sup>19</sup> Tamtéž

<sup>20</sup> KUSALA, Jassroslav RNDr., *Solární (fotovoltaické) články*, <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k32.htm>, staženo 15. 10. 2019.

<sup>21</sup> KOSMÁK, František, *Princip fotovoltaického článku*, <https://elektrika.cz/data/clanky/princip-fotovoltaickeho-clanku>, staženo 15. 10. 2019.

<sup>22</sup> SOLAR IMPULSE FOUNDATION, <https://aroundtheworld.solarimpulse.com/adventure>, staženo 26. 10. 2019.

<sup>23</sup> Tamtéž

<sup>24</sup> MAŠEK, František, První letadlo poháněné sluneční energií obletělo zeměkouli, *EkonTech.cz* 27, 2016, s. 18–19.



## 2 Airbus A380

### 2.1 Historie

Ve městě Toulouse ve Francii se roku 1988 začal psát příběh letounu Airbus A380. Firma Airbus chtěla konkurovat americkému výrobcu Boeing, který měl v té době obsazenou první příčku na trhu. Americká firma Boeing v roce 1988 vyráběla přibližně 2/3 dopravních letadel světa. Jejich největší letoun byl v té době Boeing 747. První Boeing 747 (přezdívaný Jumbo Jet) byl vyroben už v roce 1970. Výrobou letounu Airbus A380 chtěla firma konkurovat dosavadnímu Boeingu 747, kterému je přezdíváno „Královna nebe“.<sup>25 26</sup>

Projekt A380 se začal pořádně vyvíjet v roce 1996. Tento projekt byl v dějinách civilního letectví nejdražší a zároveň i největší, proto také musel mít mimořádné bezpečnostní opatření. Byl to utajovaný projekt, který dostal pracovní název A3XX, později známý pod názvem Airbus A380 (neboli Superjumbo). Airbus na cestě k úspěchu čekalo několik překážek. Museli například vyřešit tvar trupu nebo zmenšit turbulence v úplavu, kterým se jinak říká indukované víry (jsou to turbulence, které vznikají na koncích křídel letounu, když vzlétá nebo přistává).<sup>27 28</sup>

### 2.2 Výroba

Výroba letounu Airbus A380 byla velmi náročná. Je to totiž projekt, který je logisticky velmi náročný. Letoun je obrovský, a proto i jednotlivé díly jsou obřích rozměrů. Jednotlivé díly na letoun se vyráběly ve státech Velká Británie, Německo, Francie a Španělsko (Obr. 7). Jednotlivé díly putovaly například na nákladním voze s 12 nápravami nebo lodí po mořích i řekách.<sup>29</sup>

---

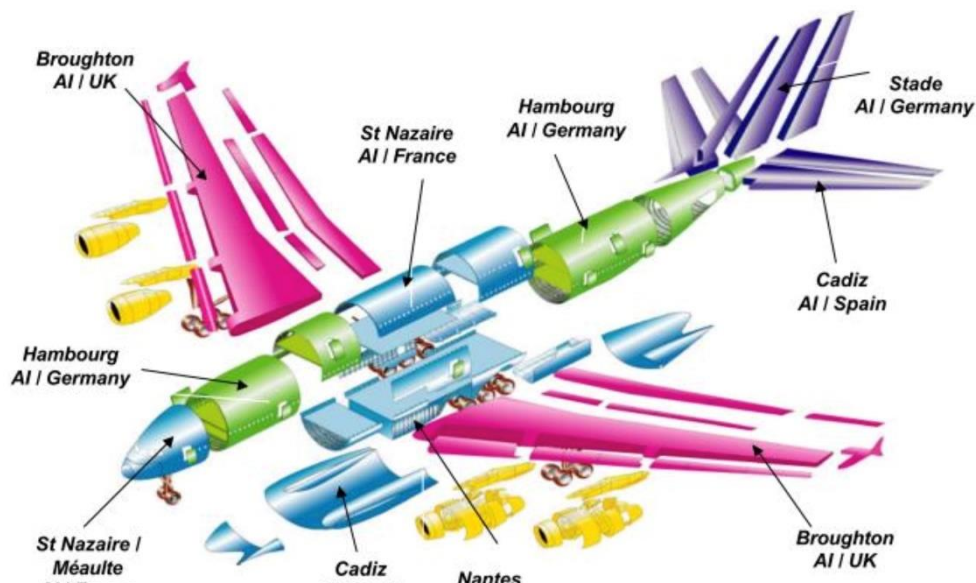
<sup>25</sup> VALOUCH, Tomáš Bc., Využití dopravního letadla A380 v osobní letecké dopravě, [https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/66327/F6-DP-2016-Valouch-Tomas-DP\\_valoutom\\_v2.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/66327/F6-DP-2016-Valouch-Tomas-DP_valoutom_v2.pdf?sequence=1&isAllowed=y), staženo 1.12.2019.

<sup>26</sup> PARKER, Ned, Planes that Changed the World / Airbus A380, <https://www.youtube.com/watch?v=G7C7N8qm8g8&t=949s>, staženo z Youube 30.11.2019, kanál uživatele Františka Mourka.

<sup>27</sup> Tamtéž

<sup>28</sup> VALOUCH, Tomáš Bc., *Využití dopravního letadla A380 v osobní letecké dopravě*, [https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/66327/F6-DP-2016-Valouch-Tomas-DP\\_valoutom\\_v2.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/66327/F6-DP-2016-Valouch-Tomas-DP_valoutom_v2.pdf?sequence=1&isAllowed=y), staženo 1.12.2019.

<sup>29</sup> Tamtéž

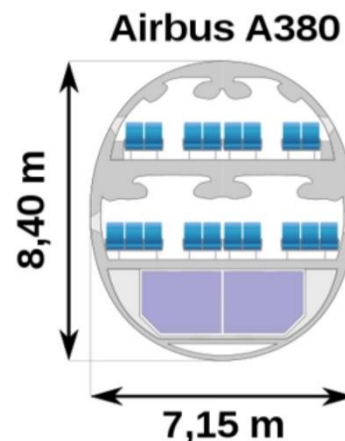


Obrázek 7: Místa výroby částí A380

## 2.3 Popis letounu

Letoun Airbus A380 je největší dopravní letoun na světě, který je určen pro přepravu osob. Větší letoun než Airbus A380 je už jen nákladní původně sovětský, nyní ukrajinský letoun Antonov An-225 Mrija. Letoun Airbus A380 má dvě paluby nad sebou po celé délce letadla (Obr. 8). Pojme tak od 526 až do 840 cestujících. Horní paluba má délku 45 m a dolní paluba přibližně 50 m.<sup>30 31</sup>

Délka letounu činí 72,7 m, výška je 24,1 m a šířka je v prostorách hlavní paluby 6,5 m a v prostorách horní paluby 5,8 m. Rozpětí křídel Airbusu A380 je 79,8 m a plocha křídel činí 845 m<sup>2</sup>. Letoun A380 má čtyři dvouproudové motory, kde každý z motorů má tah 340 kN. Každá aerolinka si může vybrat motor evropského typu Rolls-Royce Trent 900 nebo amerického typu Engine Alliance GP7200.<sup>32 33 34</sup>



Obrázek 8: Průřez trupu A380

Maximální vzletová hmotnost letounu je 575 tun a maximální přistávací hmotnost je 394 tun. Maximální objem palivových nádrží činí 320 000 l. Cestovní rychlost dosahuje až 945 km

<sup>30</sup> BERAN, Michal, *Airbus A380-800*, <https://www.flying-revue.cz/letadla-a380-800>, staženo 30.11.2019.

<sup>31</sup> VALOUCH, Tomáš Bc., *Využití dopravního letadla A380 v osobní letecké dopravě*, [https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/66327/F6-DP-2016-Valouch-Tomas-DP\\_valoutom\\_v2.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/66327/F6-DP-2016-Valouch-Tomas-DP_valoutom_v2.pdf?sequence=1&isAllowed=y), staženo 1.12.2019.

<sup>32</sup> Tamtéž

<sup>33</sup> AIRBUS, *A380 – Innovation*, <https://www.airbus.com/aircraft/passenger-aircraft/a380/innovation.html>, staženo 1.12.2019.

<sup>34</sup> BERAN, Michal, *Airbus A380-800*, <https://www.flying-revue.cz/letadla-a380-800>, staženo 30.11.2019.

za hodinu, což je 0,89 Machu. Doletová vzdálenost tohoto letounu může být až 15 200 km.<sup>35 36 37</sup>

Pro letoun Airbus A380 musela být upravena i letiště, protože do obou pater letounu se nastupuje současně, a proto musí být na jednotlivých stojánkách pro A380 více nástupních mostů.<sup>38</sup>

Současní uživatelé Airbusu A380 jsou například společnosti: Emirates, Singapore Airlines, Lufthansa a British Airways.<sup>39</sup>

## 2.4 Popis motoru

### 2.4.1 Princip fungování dvouproudového motoru

Vzduch vstupující do motoru je stlačen dmychadlem. Část jej pak proudí do vysokotlaké části motoru, zbytek ji obtéká obtokovým kanálem. Tah je tedy vyvolán účinkem obou proudů.<sup>40 41</sup>

Na vstupu vysokotlaké části motoru se nachází nízkotlaký a vysokotlaký kompresor (s oddělenými souosými rotory). Pak následují spalovací komory, v nichž dojde ke spálení paliva a nárůstu objemu plynů. Spaliny procházejí přes turbíny vysokotlakého kompresoru a dmychadla, kterým předají větší část své energie. Poté opouštějí vysokotlakou část motoru a smísí se s obtokovým vzduchem (Obr.9).<sup>42</sup>

V rozsahu rychlostí dnešních dopravních letadel má dvouproudový motor nejvyšší propulsní účinnost.<sup>43</sup>

---

<sup>35</sup> AIRBUS, *A380 – Innovation*, <https://www.airbus.com/aircraft/passenger-aircraft/a380/innovation.html>, staženo 1.12.2019.

<sup>36</sup> VALOUCH, Tomáš Bc., *Využití dopravního letadla A380 v osobní letecké dopravě*, [https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/66327/F6-DP-2016-Valouch-Tomas-DP\\_valoutom\\_v2.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/66327/F6-DP-2016-Valouch-Tomas-DP_valoutom_v2.pdf?sequence=1&isAllowed=y), staženo 1.12.2019.

<sup>37</sup> MATURA, Jan, *Všechno, co potřebujete vědět o největším dopravním letadle světa*, [https://www.idnes.cz/technet/technika/vsechno-co-potrebujete-vedet-o-nejvetsim-dopravnim-letadle-sveta.A111001\\_231004\\_tec\\_technika\\_jm](https://www.idnes.cz/technet/technika/vsechno-co-potrebujete-vedet-o-nejvetsim-dopravnim-letadle-sveta.A111001_231004_tec_technika_jm), staženo 30.11.2019.

<sup>38</sup> Tamtéž

<sup>39</sup> Tamtéž

<sup>40</sup> SCHERLINZKY, Monika, *Motory u velkých dopravních letadel, jejich funkce, rozdělení typů*, <https://www.inadhled.cz/zajimavosti/motory-u-velkych-dopravnich-letadel-jejich-funkce-rozdeleni-typu/>, staženo 2.12.2019.

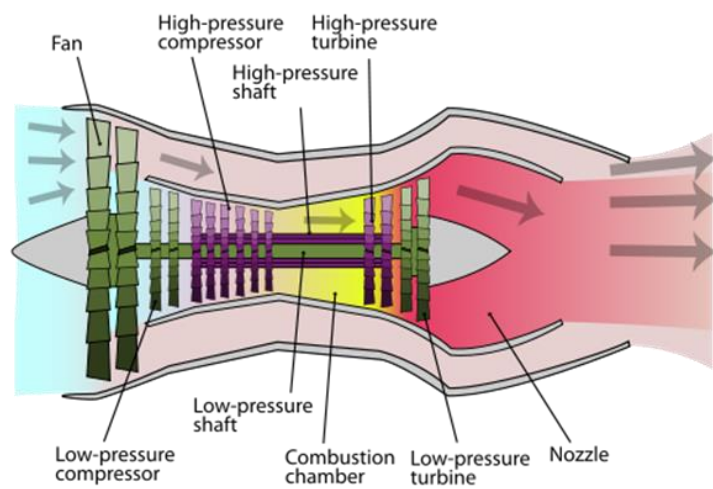
<sup>41</sup> KUSSIOR, Zdeněk, *Typy leteckých motorů*, <http://www.leteckemotory.cz/teorie/typy-leteckych-motoru/>, staženo 2.12.2019.

<sup>42</sup> Tamtéž

<sup>43</sup> Tamtéž

Smísení dvou proudů při výstupu z motoru způsobuje nižší teplotu výstupních plynů.<sup>44</sup>

Skrz dvouproudový motor proudí výrazně více vzduchu než skrz proudové. Rychlost výstupních plynů je proto při stejném výkonu nižší. Dvouproudové motory jsou proto obvykle méně hlučné a mají nižší spotřebu.<sup>45</sup>



Obrázek 9: Fungování dvouproudového motoru

### 2.4.2 Obtokový poměr

Obtokový poměr (1) je číslo, které udává poměr mezi množstvím chladného vzduchu protékajícího vnějším proudem a množstvím vzduchu protékajícího vnitřním proudem. Chladný vzduch protékající vnějším proudem se nazývá obtokový tok vzduchu. Vzduch protékající vnitřním proudem se nazývá tok vzduchu protékající generátorem motoru.<sup>46</sup>

Obtokový poměr se pohybuje cca od 0,3 do 10. Výtoková rychlost závisí u dvouproudového motoru na obtokovém poměru  $y$ , tudíž je tak ovlivněna celková hladina hluku dvouproudového motoru.<sup>47</sup>

Vzorec obtokového poměru:<sup>48</sup>

$$\mu_{ob} = \frac{\dot{m}_{ob}}{\dot{m}_g} \quad (1)$$

$\mu_{ob}$  – obtokový poměr (někdy značen také  $y$ )

$\dot{m}_{ob}$  – množství obtokového toku vzduchu [kg/s]

$\dot{m}_g$  – množství vzduchu protékajícího generátorem motoru [kg/s]

<sup>44</sup> KUSSIOR, Zdeněk, *Typy leteckých motorů*, <http://www.leteckemotory.cz/teorie/typy-leteckych-motoru/>, staženo 2.12.2019.

<sup>45</sup> Tamtéž

<sup>46</sup> HANUS, Daniel, *Pohon letadel a letadlové motory*, [https://cw.fel.cvut.cz/old/\\_media/courses/a0m36bep/bep4\\_2015.pdf](https://cw.fel.cvut.cz/old/_media/courses/a0m36bep/bep4_2015.pdf), staženo 2.12.2019.

<sup>47</sup> Tamtéž

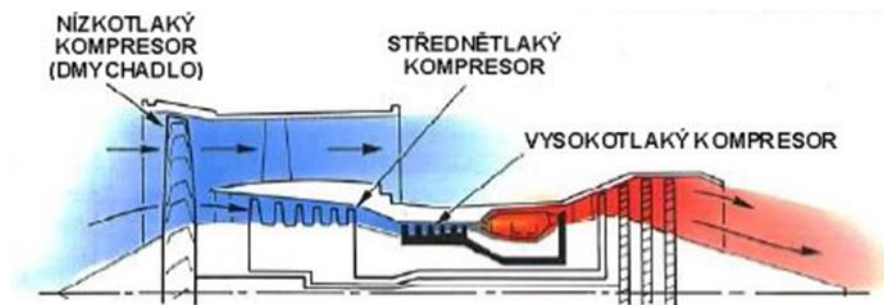
<sup>48</sup> Tamtéž

Obtokový poměr dělíme do čtyř kategorií na malý ( $<0,6$ ), střední ( $0,6 - 1,5$ ), velký ( $1,5 - 8$ ) a velmi velký ( $> 8$ ).<sup>49</sup>

Motory Airbusu A380 řadíme do kategorie s velmi velkým obtokovým poměrem. Motory s takto vysokým obtokovým poměrem specifikují následující charakteristiky:<sup>50</sup>

- Motory s velmi vysokým obtokovým poměrem mají často velký průměr dmyhadla.
- Zvýšení obtokového poměru je možné díky technologickému pokroku v konstrukci jádra motoru.
- Větší úroveň stlačení za kompresorem a vyšší teplota na vstupu do turbíny umožňují zmenšit velikost jádra, při zachování jeho výkonu.
- Menší hmotnostní průtok vzduchu jádrem zvyšuje hodnotu obtokového poměru.
- Motory vynikají nízkou spotřebou při podzvukovém letu a jsou tak vhodné pro větší dopravní a transportní letouny.
- Velký rozdíl v otáčkách nízkotlaké turbíny a dmyhadla si vyžaduje použití reduktoru otáček.

Motory s vysokým obtokovým poměrem jsou často tříhřídelové (Obr. 10), skládají se z nízkotlakého kompresoru (dmyhadlo), středotlakého a vysokotlakého kompresoru. Postupné stlačení vzduchu na jednotlivých kompresorech s rozdílnými otáčkami je efektivnější. Negativem je větší složitost, vyšší cena a náročnější údržba.<sup>51</sup>



Obrázek 10: Dvouproudový tříhřídelový motor

<sup>49</sup> KUSSIOR, Zdeněk, *Typy leteckých motorů*, <http://www.leteckemotory.cz/teorie/typy-leteckych-motoru/>, staženo 2.12.2019.

<sup>50</sup> Tamtéž

<sup>51</sup> Tamtéž

## 3 TL 3000 Sirius

### 3.1 Historie

Společnost TL-Ultralight byla založena roku 1989. V roce 1991 byla zahájena sériová výroba TL 32 Typhoon. Tento letoun se stal velmi populárním pro letový výcvik. Celkem jich bylo vyrobeno přes 200 kusů. Další kladnou stránkou tohoto letounu byla ekonomičnost pro rekreační létání. Letoun Typhoon se tak stal legendou v historii českých lehkých letounů. Později se začal vyrábět nový typ letounu Condor, a to rovnou ve dvou variantách, Condor TL 132 a TL 232. Jejich výroba dokonce překročila 300 kusů.<sup>52</sup>

Při plánování nových letounů společnost TL-Ultralight hledala lepší návrhy a materiály. V roce 1996 uvedli na trh nový letoun TL 96 Star s novým moderním designem. Následně pak vznikl letoun TL 2000 Sting Carbon hned v několika variantách. V roce 2007 na dvou leteckých výstavách představili již pátý letoun TL 3000 Sirius. Poté roku 2009 představují TL 4000, který je jako první čtyřmístný. Díky letounu TL 4000 se letecká společnost dostala na světový trh.<sup>53</sup>

Společnost TL-Ultralight je v současné době mezi největšími výrobci letadel UL (Ultralight) a LSA (Light Sport Aircraft, což je lehký sportovní letoun). Jejich letadla létají po celém světě. Společnost stále pracuje na nových modernějších verzích letounů a zároveň úpravách současných letounů.<sup>54</sup>

### 3.2 Popis letounu

Letoun TL 3000 Sirius je celokompozitový karbonový hornoplošník. Letoun má rozpětí křídel 9,4 m o ploše 11,26 m<sup>2</sup>, výška letounu je 2,22 m a délka jeho trupu činí 6,75 m. Maximální vzletová hmotnost je



Obrázek 11: Letoun TL 3000 Sirius

600 kg. Vztlakové klapky na křídlech jsou elektricky poháněné a mají polohu pro start, což je až 15° a pro přistání 45°. Letoun má tříkolový pevný podvozek, kde hlavní kola jsou brzděna hydraulicky. Motor letounu je čtyřválcový čtyřtaktní Rotax 912 o výkonu 80 koní.<sup>55</sup>

<sup>52</sup> TL-ULTRALIGHT s.r.o., *Sirius*, [http://www.tl-ultralight.cz/file/edee/prilohy/ke-stazeni/katalog\\_sirius\\_2012.pdf](http://www.tl-ultralight.cz/file/edee/prilohy/ke-stazeni/katalog_sirius_2012.pdf), staženo 7.12.2019.

<sup>53</sup> Tamtéž

<sup>54</sup> Tamtéž

<sup>55</sup> TL-ULTRALIGHT s.r.o., *Sirius*, [http://www.tl-ultralight.cz/file/edee/prilohy/ke-stazeni/katalog\\_sirius\\_2012.pdf](http://www.tl-ultralight.cz/file/edee/prilohy/ke-stazeni/katalog_sirius_2012.pdf), staženo 7.12.2019.

Kokpit je prostorný a má bohatou výbavu palubových přístrojů. Tyto přístroje jsou analogové nebo plně digitální. Model tohoto letounu je dvoumístný, kde obě sedadla jsou ergonomicky tvarovaná. V kokpitu se také nachází zavazadlový prostor o objemu 415 litrů.<sup>56</sup>

Letoun má velmi nízkou hladinu hluku a létá bez velkých vibrací. Do nádrže na palivo se vejde 130 litrů a letoun je schopen letět 7 hodin v kuse do vzdálenost 1 700 km. Jeho minimální rychlost letu je 58 km/h, běžná cestovní rychlost je 200 km/h a maximální rychlost je 250 km/h.<sup>57</sup>

### 3.3 Popis motoru

#### 3.3.1 Pístový spalovací motor a vrtule

Pístové spalovací motory přeměňují chemickou energii na mechanickou energii. Energie paliva se převádí na mechanickou energii ve válcích, kde probíhá sání směsi paliva a vzduchu, poté dochází ke kompresi, zapálení a expanzi, a nakonec k výfuku spalin. Lineární pohyb válce je převeden na rotační pohyb hřídele. Hřídel pak přes reduktor pohání vrtuli, která vyvozuje tah.<sup>58</sup>

Vrtule u pístových spalovacích motorů představuje článek, který mění mechanický výkon na tah pro pohon letounu. Je to tedy propulsor vrtulového pohonu. Působením vrtule na okolní vzduch vzniká tah. Kroutící moment je na vrtuli z generátoru přenášen přímo, nebo pomocí reduktoru upravujícího otáčky vstupního hřídele generátoru. Generátorem vrtulového pohonu je v tomto případě pístový spalovací motor.<sup>59</sup>

#### 3.3.2 Princip činnosti čtyřdobého zážehového motoru

Probíhají zde procesy, které se opakují po každých dvou otáčkách klikového hřídele. Jeden uzavřený oběh se nazývá pracovní oběh motoru a skládá se ze čtyř zdvihů pístu. Tyto motory mají většinou v každém válci jeden sací a jeden výfukový ventil. Sacím ventilem se ovládá vstup a plnění válce zápalnou směsí. Výfukovým ventilem se ovládá vypouštění spalin

---

<sup>56</sup> Tamtéž

<sup>57</sup> Tamtéž

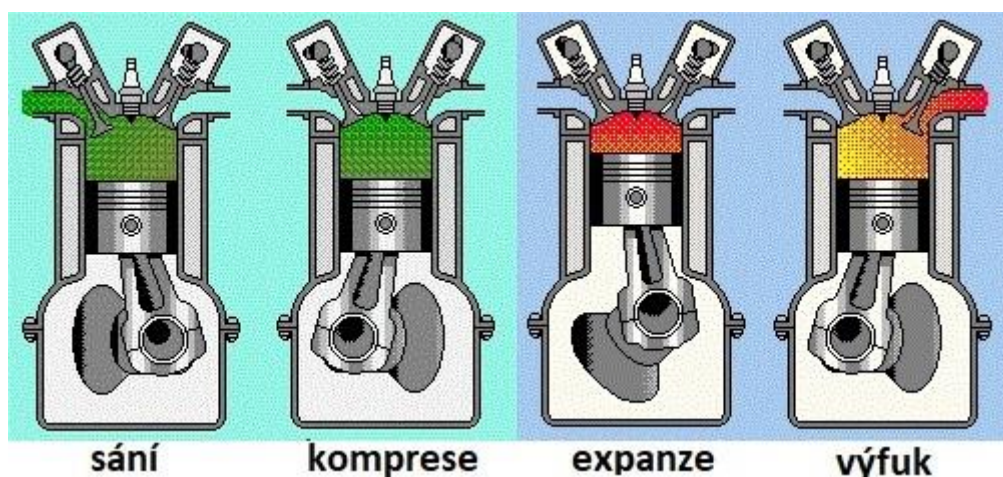
<sup>58</sup> KUSSIOR, Zdeněk, *Typy leteckých motorů*, <http://www.leteckemotory.cz/teorie/typy-leteckych-motoru/>, staženo 2.12.2019.

<sup>59</sup> HANUS, Daniel, *Pohon letadel a letadlové motory*, [https://cw.fel.cvut.cz/old/\\_media/courses/a0m36bep/bep4\\_2015.pdf](https://cw.fel.cvut.cz/old/_media/courses/a0m36bep/bep4_2015.pdf), staženo 2.12.2019.



z válce. Následující čtyři body popisují jednotlivé fáze čtyřdobého zážehového motoru (Obr. 12):<sup>60 61</sup>

1. **Sání** zápalné směsi vzniká při pohybu pístu z horní úvratě do dolní, přičemž je otevřený sací ventil a uzavřený výfukový. Při tomto pohybu vzniká podtlak, který saje palivovou směs do válce.
2. **Stlačení (komprese)** směsi začíná v dolní úvratí a končí v horní, oba ventily jsou uzavřeny. Palivová směs je stlačována, roste teplota i tlak směsi (nesmí se překročit teplota samovznícení paliva).
3. **Výbuch (expanze)**. Před horní úvratí přeskočí na elektrodách zapalovací svíčky jiskra. Stlačená směs v kompresním prostoru se zapálí a rychle vyhoří. Teplota ve válci krátkodobě dosáhne vysokých hodnot a dojde k přetlaku plynu. Oba ventily jsou uzavřeny. Rozpínající se plyny tlačí na píst směrem do dolní úvratě. Jedině v této době koná motor práci. Čas, o který nastává zapálení dříve, než dojde píst do horní úvratě, se nazývá předstih zapalování.
4. **Výfuk** začíná v dolní úvratí a končí v horní. Při otevřeném výfukovém ventilu odcházejí zplodiny hoření do výfukového potrubí. Tlak ve válci postupně klesne až na atmosférický, a když píst dosáhne horní úvratě, zavře se výfukový ventil a otevře ventil sací. Začíná nový pracovní oběh.



Obrázek 12: Fáze čtyřdobého zážehového motoru

<sup>60</sup> REICHL, Jaroslav, VŠETIČKA, Martin, *Čtyřdobý zážehový motor*, <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/615-ctyrdoby-zazehovy-motor>, staženo 10.12.2019.

<sup>61</sup> HANUS, Daniel, *Pohon letadel a letadlové motory*, [https://cw.fel.cvut.cz/old/\\_media/courses/a0m36bep/bep4\\_2015.pdf](https://cw.fel.cvut.cz/old/_media/courses/a0m36bep/bep4_2015.pdf), staženo 2.12.2019.

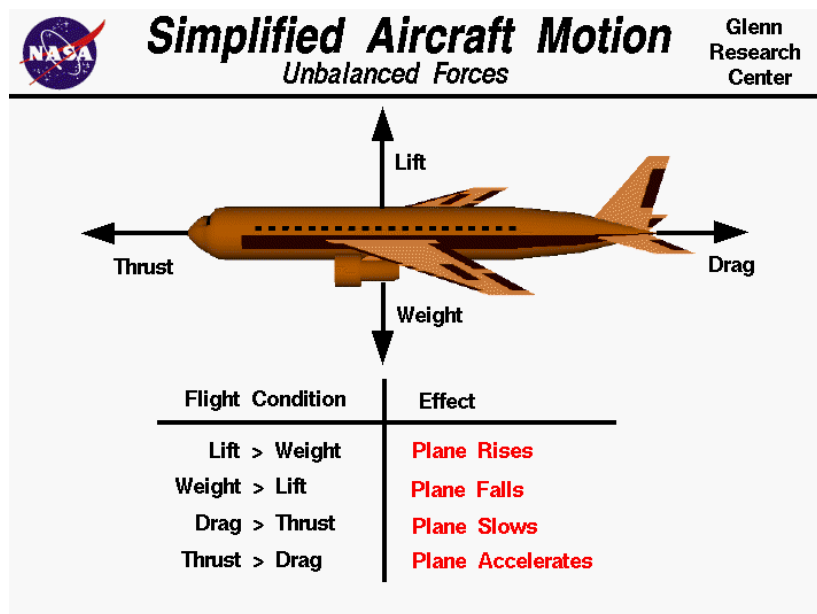


## 4 Porovnání Si2 a Airbus A380

Tato kapitola se věnuje porovnání letounu Solar Impulse s letounem Airbus A380. Na základě celkového výkonu dvouproudových motorů současného největšího civilního dopravního letounu A380 bude v následujících podkapitolách vypočítána plocha fotovoltaických panelů, které by mohly pohánět elektromotory solárního letounu, jejichž celkový výkon by byl srovnatelný s výkonem A380.

### 4.1 Tah motoru

Na letoun při ustáleném vodorovném letu působí čtyři základní síly (Obr. 13). První vertikální síla působí směrem vzhůru a nazýváme ji síla vztlaková (Lift). Proti ní působí druhá vertikální síla tíhová (Weight) směrem dolů. Hlavní vodorovnou silou je využitelný tah (Thrust), který



Obrázek 13: Základní síly působící na letoun

má shodný směr se směrem letu. Opačnou silou k tahu je síla odporová (Drag), která působí proti směru letu.<sup>62</sup>

Tah je síla, která tlačí motor vpřed. Vzniká urychlením propulsní látky (vzduchu), která motorem prochází. Můžeme ho tedy vyjádřit jako rozdíl hybnosti vzduchu vstupujícího do motoru a hybnosti vzduchu a paliva z motoru vystupujícího (2).<sup>63</sup>

$$F_T = (\dot{m}_v + \dot{m}_p) \cdot v_{Tr} - \dot{m}_v \cdot v_L \quad (2)$$

$F_T$  – výsledný tah [N]

$\dot{m}_v$  – průtok vzduchu [kg/s]

$\dot{m}_p$  – průtok paliva do spalovací komory motoru [kg/s]

$v_{Tr}$  – rychlost výstupních plynů (v průřezu hnací trysky) [m/s]

$v_L$  – rychlost letu (rychlost vstupních plynů) [m/s]

<sup>62</sup> HANUS, Daniel, *Pohon letadel a letadlové motory*,

[https://cw.fel.cvut.cz/old/\\_media/courses/a0m36bep/bep4\\_2015.pdf](https://cw.fel.cvut.cz/old/_media/courses/a0m36bep/bep4_2015.pdf), staženo 2.12.2019.

<sup>63</sup> Tamtéž

U dvouproudových motorů se základní vzorec pro tah (3) rozšiřuje ještě o hodnoty vznikající díky průchodu části vzduchu obtokovým kanálem.<sup>64</sup>

$$F_T = \dot{m}_{Ob} \cdot v_{Ob} + (\dot{m}_g + \dot{m}_p) \cdot v_{Tr} - \dot{m}_v \cdot v_L \quad (3)$$

$F_T$  – výsledný tah [N]

$\dot{m}_{Ob}$  – průtok vzduchu obtokovým kanálem [kg/s]

$\dot{m}_g$  – průtok vzduchu spalovací komorou motoru (generátorem) [kg/s]

$\dot{m}_v$  – celkový průtok vzduchu [kg/s]

$\dot{m}_p$  – průtok paliva do spalovací komory motoru [kg/s]

$v_{Ob}$  – rychlost výstupního vzduchu z obtokového kanálu (v průřezu hnací trysky) [m/s]

$v_{Tr}$  – rychlost výstupních plynů z generátoru (v průřezu hnací trysky) [m/s]

$v_L$  – rychlost letu (rychlost vstupních plynů) [m/s]

Jednotkou tahu je newton (N), běžně se ale používá kN. Tah dvouproudových motorů pro velké dopravní letouny se pohybuje přibližně okolo 400 kN.<sup>65</sup>

## 4.2 Odvození vzorce pro výkon motoru

Odvození vzorce pro výpočet výkonu motoru (4.1, 4.2, 4.3):

$$P = \frac{W}{t} \quad (4.1)$$

$$P = \frac{W}{t} = \frac{F \cdot s}{t} = F \cdot \frac{s}{t} = F \cdot v \quad (4.2)$$

$$P = F \cdot v \quad (4.3)$$

$P$  – výkon [W]

$W$  – mechanická práce [J]

$t$  – čas [s]

$s$  – dráha [m]

$F$  – síla [N]

<sup>64</sup> HANUS, Daniel, *Pohon letadel a letadlové motory*,

[https://cw.fel.cvut.cz/old/\\_media/courses/a0m36bep/bep4\\_2015.pdf](https://cw.fel.cvut.cz/old/_media/courses/a0m36bep/bep4_2015.pdf), staženo 2.12.2019.

<sup>65</sup> Tamtéž

$v$  – rychlost [m/s]

Tahový výkon proudového motoru je dán součinem tahové síly a rychlosti letu (5). Jednotkou výkonu je watt [W]. Tahový výkon se ale často udává v kW, případně MW.<sup>66</sup>

$$P = F_T \cdot v_L \quad (5)$$

$P$  – výkon [W]

$F_T$  – tahová síla [N]

$v_L$  – rychlost letu [m/s]

### 4.3 Výpočet plochy fotovoltaických panelů

V předchozích kapitolách jsou uvedeny všechny parametry letounů, které jsou potřebné pro následující výpočty.

$$F_T = 340 \text{ kN} = 340\,000 \text{ N}$$

$$v_L = 250 \text{ m/s}$$

$$P = F_T \cdot v_L \quad (6.1)$$

$$P = 340\,000 \cdot 250 = 85\,000\,000 \text{ W} \quad (6.2)$$

$$P_A = 4 \cdot 85\,000\,000 = 340\,000\,000 \text{ W} \quad (7)$$

Nejprve bylo třeba vypočítat výkon dvouproudového motoru Airbusu A380 (6.1, 6.2), protože u dvouproudových motorů je vždy uveden pouze tah, ale ne výkon. Výkon jednoho dvouproudového motoru je roven 85 MW. Následně bylo zapotřebí vynásobit tento výkon čtyřmi, protože Airbus A380 má čtyři dvouproudové motory (7). Celkový výkon Airbusu A380 je 340 MW.

$S_S$  – plocha fotovoltaických panelů Si2 [m<sup>2</sup>]

$S_x$  – plocha fotovoltaických panelů solárního letounu, který by dosahoval stejného výkonu jako Airbus A380 [m<sup>2</sup>]

$P_S$  – celkový výkon Si2 [W]

$P_A$  – výkon Airbusu A380 [W]

---

<sup>66</sup> HANUS, Daniel, *Pohon letadel a letadlové motory*, [https://cw.fel.cvut.cz/old/\\_media/courses/a0m36bep/bep4\\_2015.pdf](https://cw.fel.cvut.cz/old/_media/courses/a0m36bep/bep4_2015.pdf), staženo 2.12.2019.

$$S_S = 269,5 \text{ m}^2$$

$$P_S = 52 \text{ kW} = 52\,000 \text{ W}$$

$$P_A = 340\,000\,000 \text{ W}$$

$$\frac{S_x}{P_A} = \frac{S_S}{P_S} \quad (8.1)$$

$$S_x = \frac{S_S}{P_S} \cdot P_A \quad (8.2)$$

$$S_x = \frac{S_S \cdot P_A}{P_S} \quad (8.3)$$

$$S_x = \frac{269,5 \cdot 340\,000\,000}{52\,000} \quad (8.4)$$

$$S_x = 1\,762\,115,385 \text{ m}^2 \cong 1,76 \text{ km}^2 \quad (8.5)$$

Další část výpočtu se věnovala zjištění plochy fotovoltaických panelů solárního letounu, který by dosahoval stejného výkonu jako Airbus A380. Počítaná plocha byla dána do poměru s výkonem Airbusu A380 a tento poměr je přímo úměrný poměru plochy fotovoltaických panelů Si2 s celkovým výkonem Si2 (8.1). Z tohoto vztahu byla vyjádřena neznámá plocha fotovoltaických panelů  $S_x$  (8.2, 8.3), a následně vypočítána konkrétní hodnota (8.4, 8.5). Výsledná plocha fotovoltaických panelů  $S_x$  je přibližně  $1,76 \text{ km}^2$ .

## 5 Porovnání Si2 a TL 3000 Sirius

Tato kapitola se věnuje porovnání letounu Solar Impulse s letounem TL 3000 Sirius. Na základě zjištěných parametrů motoru Si2 byl vyhledán letoun se spalovacím motorem srovnatelného výkonu a v následujících podkapitolách bude spočítáno množství oxidu uhličitého, které by vyprodukoval spalovací motor letounu TL 3000 Sirius při obletu zeměkoule.

### 5.1 Spotřeba paliva

Objem nádrže	130 l
Maximální doba letu	7 hodin
Dolet	1 700 km

Tabulka 1: Technické specifikace TL 3000 Sirius

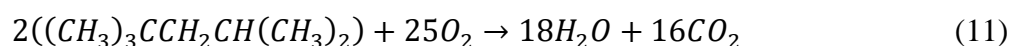
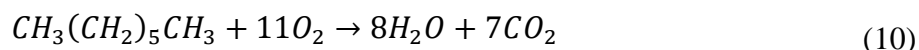
V tabulce číslo 1 jsou uvedeny základní hodnoty potřebné pro výpočet spotřeby paliva letounu na hodinu (9) a z toho následně spočítáme produkci oxidu uhličitého.

$$\frac{130 \text{ l}}{7 \text{ hod}} = 18,6 \text{ l/hod} \quad (9)$$

### 5.2 Výpočet produkce oxidu uhličitého

Je potřeba zjistit, kolik oxidu uhličitého vznikne po spálení jednoho litru paliva. Množství oxidu uhličitého vzniklé z jednoho litru paliva se vypočítá s pomocí chemických rovnic hoření paliva (10, 11), které jsou základem pro další výpočty. Benzín Natural 95, který se běžně používá pro tento typ spalovacího motoru, se objemově skládá z 95 % isooktanu a z 5 % heptanu.<sup>67</sup>

Indexem C7 u všech veličin je myšlen heptan, protože z chemické rovnice (10) je vidět, že heptan má 7 atomů uhlíku. Indexem C8 je vždy myšlen isooktan, který obsahuje 8 atomů uhlíku, jak je vidět v druhé chemické rovnici (11).



<sup>67</sup> Oktanové číslo, [https://cs.wikipedia.org/wiki/Oktanov%C3%A9\\_%C4%8D%C3%ADslo](https://cs.wikipedia.org/wiki/Oktanov%C3%A9_%C4%8D%C3%ADslo), staženo 14.12.2019.

Před samotným výpočtem se musí převést objem na jednotky, které jsou konstantní za všech podmínek. Objem látky v předchozích výpočtech byl vypočítán při 15 °C. Při jiné teplotě by byl objem jiný. Proto je třeba převést objem na hmotnost, která se se změnou teploty nemění.

$\rho_{C7}$  (15 °C) – hustota heptanu při 15 °C [kg/m<sup>3</sup>]

$\rho_{C8}$  (15 °C) – hustota isooktanu při 15 °C [kg/m<sup>3</sup>]

$$\rho_{C7} (15 \text{ } ^\circ\text{C}) = 688 \text{ kg/m}^3 \text{ }^{68}$$

$$\rho_{C8} (15 \text{ } ^\circ\text{C}) = 707 \text{ kg/m}^3 \text{ }^{69}$$

Pomocí hustoty a objemu se vypočte hmotnost obou složek (12.1).

$$m = V \cdot \rho \tag{12.1}$$

$m$  – hmotnost [kg]

$V$  – objem [m<sup>3</sup>]

$\rho$  – hustota [kg/m<sup>3</sup>]

Pro výpočet hmotnosti složek (12.2, 12.3) je uvažován celkový objem benzínu 1 m<sup>3</sup>. To znamená, že  $V_{C7} = 50 \text{ dm}^3$  a  $V_{C8} = 950 \text{ dm}^3$ . Nyní můžeme spočítat hmotnosti:

$$m_{C7} = V_{C7} \cdot \rho_{C7} = 50 \cdot 10^{-3} \cdot 688 = 34,4 \text{ kg} \tag{12.2}$$

$$m_{C8} = V_{C8} \cdot \rho_{C8} = 950 \cdot 10^{-3} \cdot 707 = 671 \text{ kg} \tag{12.3}$$

Kde  $m_{C7}$  a  $m_{C8}$  jsou hmotnosti jednotlivých složek paliva. Nyní je třeba převést hmotnost na jednotky, které jsou v souladu s chemickou rovnicí hoření paliva. Převod hmotnosti na molární množství složek paliva podle následujícího vztahu (13.1, 13.2), kde molární hmotnost je  $M_{C7} = 0,1 \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}$  a  $M_{C8} = 0,114 \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}$ .<sup>70 71</sup>

$$n_{C7} = \frac{m_{C7}}{M_{C7}} = \frac{34,4}{0,1} = 344 \text{ mol} \tag{13.1}$$

<sup>68</sup> JAHODA, M., HOLEČEK, O., SCHREIBEROVÁ, L., *E-tabulky*, <http://uchi.vscht.cz/uploads/etabulky/huskap.html>, staženo 14.12.2019.

<sup>69</sup> Tamtéž

<sup>70</sup> *Isooktan*, <https://cs.wikipedia.org/wiki/Isooktan>, staženo 14.12.2019.

<sup>71</sup> *Heptan*, <https://cs.wikipedia.org/wiki/Heptan>, staženo 14.12.2019.

$$n_{C8} = \frac{m_{C8}}{M_{C8}} = \frac{671}{0,114} = 4\,659,72 \text{ mol} \quad (13.2)$$

Kde  $n_{C7}$  a  $n_{C8}$  je látkové množství heptanu a isooktanu. Ze stechiometrie chemických rovnic (vyčíslení rovnic) hoření paliva je vidět kolik molů oxidu uhličitého vzniká shořením jednoho molu heptanu či jednoho molu isooktanu. Stechiometrické rovnice určující poměr vzniku látkového množství oxidu uhličitého a určité složky paliva (14.1, 14.2).

$$\frac{n_{CO_2,C7}}{n_{C7}} = \frac{\nu_{CO_2,C7}}{\nu_{C7}} = \frac{7}{1} \quad (14.1)$$

$$\frac{n_{CO_2}}{n_{C8,C8}} = \frac{\nu_{CO_2,C8}}{\nu_{C8}} = \frac{16}{2} \quad (14.2)$$

Kde  $\nu_{CO_2,C7}$  a  $\nu_{CO_2,C8}$  jsou stechiometrické koeficienty pro oxid uhličitý na pravé straně pro jednotlivé rovnice hoření paliva.  $\nu_{C7}$  a  $\nu_{C8}$  jsou stechiometrické koeficienty pro heptan a isooktan na levé straně rovnice hoření. Vzniklé látkové množství oxidu uhličitého pro hoření heptanu  $n_{CO_2,C7}$  vztaženého na 1 m<sup>3</sup> a vzniklé látkové množství oxidu uhličitého vztaženého na 1 m<sup>3</sup> paliva pro hoření isooktanu  $n_{CO_2,C8}$  lze snadno vyjádřit a spočítat následujícím způsobem.

$$n_{CO_2,C7} = \frac{7}{1} \cdot n_{C7} = \frac{7}{1} \cdot 344 = 2\,408 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-3} \quad (15.1)$$

$$n_{CO_2,C8} = \frac{16}{2} \cdot n_{C8} = \frac{16}{2} \cdot 4659,72 = 37\,277,76 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-3} \quad (15.2)$$

Nyní už je vidět, kolik molů oxidu uhličitého vznikne spálením 1 m<sup>3</sup> paliva. Pro převedení zpět na hmotnost se použije stejný vztah (13.1, 13.2), pouze s rozdílným vyjádřením (17). Molární hmotnost je  $M_{CO_2} = 0,044 \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}$ .<sup>72</sup> Zároveň se mohou sečíst látková množství oxidu uhličitého z každé rovnice (16), protože nyní už se bude pracovat jen s oxidem uhličitým.

$$n_{CO_2} = n_{CO_2,C7} + n_{CO_2,C8} = 2\,408 + 37\,277,76 = 39\,685,76 \text{ mol} \quad (16)$$

$$m_{CO_2} = M_{CO_2} \cdot n_{CO_2} = 0,044 \cdot n_{CO_2} = 0,044 \cdot 39\,685,76 = 1\,746,17 \text{ kg} \quad (17)$$

Produkce oxidu uhličitého spálením jednoho metru krychlového paliva je rovna 1 746,17 kg.

<sup>72</sup> Oxid uhličitý, [https://cs.wikipedia.org/wiki/Oxid\\_uhli%C4%8Dit%C3%BD](https://cs.wikipedia.org/wiki/Oxid_uhli%C4%8Dit%C3%BD), staženo 14.12.2019.

### 5.3 Produkce oxidu uhličitého při obletu Země

Ze známého vzniklého množství oxidu uhličitého vztaženého na 1 m<sup>3</sup> jde vypočítat produkce oxidu uhličitého při cestě kolem Země. Pokud by se tedy uvažovalo, že letadlo obletí zeměkouli (obvod Země je 40 000 km a dráha letounu se mění zanedbatelně), je možné pomocí rovnice jednoduše spočítat hmotnost vyprodukovaného oxidu uhličitého při obletu Země.

$V_Z$  – objem paliva potřebného pro oblet Země [m<sup>3</sup>]

$V$  – objem paliva na vzdálenost 1 700 km [m<sup>3</sup>]

$s_Z$  – obvod Země [m]

$s$  – vzdálenost, na které je spotřebováno 130 l paliva [m]

$$V = 130 \text{ l} = 130 \text{ dm}^3 = 0,13 \text{ m}^3$$

$$s_Z = 40\,000 \text{ km} = 40\,000\,000 \text{ m}$$

$$s = 1\,700 \text{ km} = 1\,700\,000 \text{ m}$$

$$\frac{V_Z}{V} = \frac{s_Z}{s} \quad (18.1)$$

$$V_Z = \frac{s_Z}{s} \cdot V \quad (18.2)$$

$$V_Z = \frac{s_Z \cdot V}{s} \quad (18.3)$$

$$V_Z = \frac{40\,000\,000 \cdot 0,13}{1\,700\,000} \quad (18.4)$$

$$V_Z = 3,059 \text{ m}^3 \quad (18.5)$$

Počítaný objem paliva pro oblet Země byl dán do poměru s objemem paliva potřebného pro vzdálenost 1 700 km a tento poměr je přímo úměrný poměru obvodu Země se vzdáleností, na které se spotřebuje 130 l paliva (18.1). Z tohoto vztahu byl vyjádřen neznámý objem paliva  $V_Z$ (18.2, 18.3), a následně byla vypočítána konkrétní hodnota (18.4, 18.5).

$$m_{CO_2,Z} = m_{CO_2} \cdot V_{CO_2} = 1\,746,17 \cdot 3,059 = 5\,341,52 \text{ kg} \cong 5,3 \text{ t} \quad (19)$$



Výsledná produkce oxidu uhličitého při obletu zeměkoule se spočítá vynásobením objemu paliva potřebného pro uletění vzdálenosti 40 000 km s množstvím oxidu uhličitého, které je vyprodukováno z 1 m<sup>3</sup> paliva (19). Letoun by tedy vyprodukoval 5,3 t CO<sub>2</sub>.

Pro lepší představu je v následujícím výpočtu ukázáno (20), jakou vzdálenost  $s_A$  by ujelo běžné auto, aby mělo stejnou produkci oxidu uhličitého jako letoun. Vydělí se produkce CO<sub>2</sub> letounu při obletu Země produkcí CO<sub>2</sub> auta za 1 kilometr. U běžného automobilu se zde použije hodnota produkce CO<sub>2</sub> na 1 km 0,111 kg/km.<sup>73</sup>

$$s_A = \frac{5\,341,53}{0,111} \left[ \frac{\text{kg}_{\text{CO}_2}}{\text{kg}_{\text{CO}_2}/\text{km}} \right] = 48\,121 \text{ km} \quad (20)$$

---

<sup>73</sup> ŠKODA AUTO a.s., Srovnání motorů, <https://www.skoda-auto.cz/modely/octavia/octavia/octavia-motory>, staženo 14.12.2019.

## 6 Diskuze

V poslední době se po celém světě rozšířila myšlenka snížení emisí, a to z důvodu zlepšování ekologie. Tato myšlenka úzce souvisí s naším popisovaným letounem Si2.

Zakladatelé projektu solárního letounu Si2 měli za cíl vyzkoušet, zda se dá létat na solární energii. Obletem zeměkoule v Si2 dokázali, že něco takového možné je. Cílem této práce bylo porovnání Si2 s letouny na běžný pohon, z čehož lze posoudit, jestli by bylo možné využívat solární energii i pro běžný letecký provoz.

Základem pro diskuzi jsou výsledky výpočtů z kapitol 4 a 5. V kapitole 4 jsem se zabývala výpočtem plochy solárních panelů, které by mohly pohánět elektromotory solárního letounu, jejichž celkový výkon by se rovnal celkovému výkonu proudových motorů letounu Airbusu A380. Vypočítaná hodnota plochy je  $1,76 \text{ km}^2$ . Z tohoto výsledku můžeme usoudit, že letoun o takové ploše nelze prakticky provozovat a pravděpodobně ani vyrobit.

V kapitole 5 jsem řešila, kolik oxidu uhličitého vyprodukuje spalovací motor o srovnatelném výkonu s celkovým výkonem Si2. Spalovací motor letounu TL 3000 Sirius by vyprodukoval při obletu zeměkoule (40 000 km) 5,3 tuny oxidu uhličitého. Běžné auto vyprodukuje 5,3 tuny za ujetou vzdálenost 48 121 km. Z toho vyplývá, že spalovací motor malého letounu vyprodukuje v podstatě stejné množství oxidu uhličitého jako běžné auto.

## **Závěr**

V první části jsem se věnovala letounu Solar Impulse, který jsem popsala z historického hlediska a technických specifikací. Dále jsem se zaměřila na popis fotovoltaických článků, kdy jsem popsala princip fungování, ale i jejich historii.

V další části jsem popsala největší civilní dopravní letoun Airbus A380. Na začátku jsem popsala historii od prvních krůčků návrhu až po jeho výrobu. Dále jsem letoun představila pomocí technických specifikací a pokračovala jsem popisem dvouproudového motoru, kdy jsem popsala princip jeho fungování a obtokový poměr.

Dále jsem vyhledala letoun se spalovacím motorem podobného výkonu jako má Solar Impulse. Našla jsem ultralight TL 3000 Sirius, u kterého jsem si vyhledala historii a technické specifikace. Poté jsem začala popisovat pístový spalovací motor a princip činnosti čtyřdobého zážehového motoru.

Ve čtvrté části jsem porovnávala Solar Impulse s Airbusem A380. Vyhledala jsem potřebné vzorce. S pomocí těchto vzorců jsem dokázala spočítat plochu fotovoltaických panelů na solárním letounu o stejném výkonu jako má Airbus A380.

V páté kapitole jsem porovnávala Solar Impulse s letounem se spalovacím motorem podobného výkonu. Vypočítala jsem množství oxidu uhličitého, které by letoun vyprodukoval při obletu Země a výsledek jsem pro lepší představu porovnávala s běžným automobilem.

V poslední šesté kapitole jsem diskutovala o výpočtech, které jsem ve čtvrté a páté kapitole provedla a dále jsem prakticky uvažovala o tom, jestli se mé výsledky výpočtů dají realizovat v praxi.

Na úplný závěr bych chtěla ještě říci, že myšlenka solárního letounu je pro lidstvo velmi atraktivní, ale s našimi poznatky v současné době není realizovatelná pro běžný letecký provoz. Pokud bychom v budoucnu chtěli využívat solární energii pro letectví, museli bychom pravděpodobně vymyslet efektivnější solární pohon.

## Přílohy

### Seznam vyobrazení

Obrázek 1: Solar Impulse 2.....	5
Obrázek 2: Mapa mezipřistání Si2 .....	6
Obrázek 3: Porovnání Si2 a B747 .....	6
Obrázek 4: Výška letu Si2 .....	7
Obrázek 5: Antoine César Becquerel .....	7
Obrázek 6: Fotovoltaické články na Si2 .....	8
Obrázek 7: Místa výroby částí A380.....	10
Obrázek 8: Průřez trupu A380 .....	10
Obrázek 9: Fungování dvouproudového motoru .....	12
Obrázek 10: Dvouproudový tříhřídelový motor .....	13
Obrázek 11: Letoun TL 3000 Sirius.....	14
Obrázek 12: Fáze čtyřdobého zážehového motoru .....	16
Obrázek 13: Základní síly působící na letoun.....	17

### Seznam tabulek

Tabulka 1: Technické specifikace TL 3000 Sirius.....	21
--	----

## Použité zdroje

MAŠEK, František, *První letadlo poháněné sluneční energií obletělo zeměkouli*, EkonTech.cz 27, 2016, s. 18–19.

SOLAR IMPULSE FOUNDATION, <https://aroundtheworld.solarimpulse.com/adventure>, staženo 26. 10. 2019.

DOLEŽAL, Martin Mgr. a kol., *Solární energie*, [http://zelenymost.cz/files/solarni\\_energie.pdf](http://zelenymost.cz/files/solarni_energie.pdf), staženo 12. 10. 2019.

LNĚNIČKA, Jaroslav, *Solar Impulse 2*, [https://www.airspace.cz/akademie\\_letectvi/2014/04/solar-impulse-2/](https://www.airspace.cz/akademie_letectvi/2014/04/solar-impulse-2/), staženo 20. 10. 2019.

KUSALA, Jaroslav RNDr., *Solární (fotovoltaické) články*, <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k32.htm>, staženo 15. 10. 2019.

KOSMÁK, František, *Princip fotovoltaického článku*, <https://elektrika.cz/data/clanky/princip-fotovoltaickeho-clanku>, staženo 15. 10. 2019.

Parker, Ned, *Planes that Changed the World / Airbus A380*, <https://www.youtube.com/watch?v=G7C7N8qm8g8&t=949s>, staženo z Youube 30.11.2019, Kanál uživatele Františka Mourka.

MATURA, Jan, *Všechno, co potřebujete vědět o největším dopravním letadle světa*, [https://www.idnes.cz/technet/technika/vsechno-co-potrebujete-vedet-o-nejvetsim-dopravnim-letadle-sveta.A111001\\_231004\\_tec\\_technika\\_jm](https://www.idnes.cz/technet/technika/vsechno-co-potrebujete-vedet-o-nejvetsim-dopravnim-letadle-sveta.A111001_231004_tec_technika_jm), staženo 30.11.2019.

BERAN, Michal, *Airbus A380-800*, <https://www.flying-revue.cz/letadla-a380-800>, staženo 30.11.2019.

AIRBUS, *A380 – Innovation*, <https://www.airbus.com/aircraft/passenger-aircraft/a380/innovation.html>, staženo 1.12.2019.

VALOUCH, Tomáš Bc., *Využití dopravního letadla A380 v osobní letecké dopravě*, [https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/66327/F6-DP-2016-Valouch-Tomas-DP\\_valoutom\\_v2.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/66327/F6-DP-2016-Valouch-Tomas-DP_valoutom_v2.pdf?sequence=1&isAllowed=y), staženo 1.12.2019.

KUSSIOR, Zdeněk, *Typy leteckých motorů*, <http://www.leteckemotory.cz/teorie/typy-leteckych-motoru/>, staženo 2.12.2019.

SCHERLINZKY, Monika, *Motory u velkých dopravních letadel, jejich funkce, rozdělení typů*, <https://www.inadhled.cz/zajimavosti/motory-u-velkych-dopravnich-letadel-jejich-funkce-rozdeleni-typu/>, staženo 2.12.2019.

HANUS, Daniel, *Pohon letadel a letadlové motory*, [https://cw.fel.cvut.cz/old/\\_media/courses/a0m36bep/bep4\\_2015.pdf](https://cw.fel.cvut.cz/old/_media/courses/a0m36bep/bep4_2015.pdf), staženo 2.12.2019.

TL-ULTRALIGHT s.r.o., *Sirius*, [http://www.tl-ultralight.cz/file/edee/prilohy/ke-stazeni/katalog\\_sirius\\_2012.pdf](http://www.tl-ultralight.cz/file/edee/prilohy/ke-stazeni/katalog_sirius_2012.pdf), staženo 7.12.2019.

REICHL, Jaroslav, VŠETIČKA, Martin, *Čtyřdobý zážehový motor*, <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/615-ctyrdoby-zazehovy-motor>, staženo 10.12.2019.

JAHODA, M., HOLEČEK, O., SCHREIBEROVÁ, L., *E-tabulky*, <http://uchi.vscht.cz/uploads/etabulky/huskap.html>, staženo 14.12.2019.

*Isooktan*, <https://cs.wikipedia.org/wiki/Isooktan>, staženo 14.12.2019.

*Heptan*, <https://cs.wikipedia.org/wiki/Heptan>, staženo 14.12.2019.

*Oktanové číslo*, [https://cs.wikipedia.org/wiki/Oktanov%C3%A9\\_%C4%8D%C3%ADslo](https://cs.wikipedia.org/wiki/Oktanov%C3%A9_%C4%8D%C3%ADslo), staženo 14.12.2019.

*Oxid uhličitý*, [https://cs.wikipedia.org/wiki/Oxid\\_uhli%C4%8Dit%C3%BD](https://cs.wikipedia.org/wiki/Oxid_uhli%C4%8Dit%C3%BD), staženo 14.12.2019.

ŠKODA AUTO a.s., *Srovnání motorů*, <https://www.skoda-auto.cz/modely/octavia/octavia/octavia-motory>, staženo 14.12.2019.

## Seznam příloh

### Seznam vyobrazení

1. Solar Impulse 2 (<https://www.elogistika.info/letoun-solar-impulse-2-odstartoval-k-posledni-etape-obletu-sveta/>)
2. Mapa mezipřistání Si2 (<https://aroundtheworld.solarimpulse.com/adventure>)
3. Porovnání Si2 s B747 (<https://www.clubic.com/aeronautique/actualite-757781-solar-impulse-2-avion-energie-solaire-entame-tour-monde.html>)
4. Výška letu Si2 (<https://www.cbc.ca/news/technology/solar-impulse-2-1.3693687>)
5. Antoine César Becquerel  
([https://cs.wikipedia.org/wiki/Antoine\\_C%C3%A9sar\\_Becquerel#/media/Soubor:Antoine\\_Becquerel\\_2.jpg](https://cs.wikipedia.org/wiki/Antoine_C%C3%A9sar_Becquerel#/media/Soubor:Antoine_Becquerel_2.jpg))
6. Fotovoltaické články na Si2 (<https://aroundtheworld.solarimpulse.com/adventure/technical-challenge-1>)
7. Místa výroby částí A380 ([https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/66327/F6-DP-2016-Valouch-Tomas-DP\\_valoutom\\_v2.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/66327/F6-DP-2016-Valouch-Tomas-DP_valoutom_v2.pdf?sequence=1&isAllowed=y))
8. Průřez trupu A380 ([https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/66327/F6-DP-2016-Valouch-Tomas-DP\\_valoutom\\_v2.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/66327/F6-DP-2016-Valouch-Tomas-DP_valoutom_v2.pdf?sequence=1&isAllowed=y))
9. Fungování dvouproudového motoru (<https://www.inadhled.cz/zajimavosti/motory-u-velkych-dopravnich-letadel-jejich-funkce-rozdeleni-typu/>)
10. Dvouproudový tříhřídelový motor (<http://www.leteckemotory.cz/teorie/typy-leteckych-motoru/>)
11. Letoun TL 3000 Sirius (<https://www.aeroweb.cz/letadla/ultralighty/tl-3000-sirius>)
12. Fáze čtyřdobého zážehového motoru (<https://www.sekacky-pily.cz/dvoutaktni-nebo-ctyrtaktni-motor-jaky-je-jejich-rozdil-jake-maji-vyhody/n66/>)
13. Základní síly působící na letoun (<https://www.grc.nasa.gov/WWW/K-12/airplane/smotion.html>)

### Seznam tabulek

1. Technické specifikace TL 3000 Sirius (<http://www.tl-ultralight.cz/cs/ultralehka-letadla/tl-3000-sirius>)