



VIŠJA STROKOVNA ŠOLA

Diplomsko delo višješolskega strokovnega študija

Program: Strojništvo

Modul: Orodjarstvo

LETALSKI MOTORJI IN NJIHOV VPLIV NA OKOLJE

Mentor: mag. Matija Tacer
Lektorica: Mateja Goršič, dipl. slovenistka

Kandidat: Matej Javoršek

Ljubljana, junij 2022

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju mag. Matiju Tacerju za pomoč in nasvete pri izdelavi diplomskega dela.

Zahvaljujem se tudi lektorici Mateji Goršič, ki je mojo diplomsko nalogo jezikovno in slovnično pregledala.

Posebna zahvala gre moji ženi za vso pomoč in podporo, ki sem jo bil deležen med študijem in zaključevanjem le-tega. Hvala tudi očetu za vso skrb in podporo.

IZJAVA

Študent Matej Javoršek izjavljam, da sem avtor tega diplomskega dela, ki sem ga napisal pod mentorstvom mag. Matija Tacerja..

Skladno s 1. odstavkom 21. člena Zakona o avtorski in sorodnih pravicah dovoljujem objavo tega diplomskega dela na spletni strani šole.

Dne: _____

Podpis: _____

POVZETEK

Letalskim motorjem kot ključnemu delu letala se je vedno dajal velik pomen. S prvim poletom se je razvil tudi prvi motor, ki je bil izdelan posebno z namenom poganjanja in pritrditve na zrakoplov. Začetki so bili počasni, saj je letalski motor visoko dovršena naprava. Začetek letalstva zaznamujejo batni linijski motorji. Kasneje so se razvili v rotacijske, protibatne, v-oblika motorja ter zvezdate motorje. Vendar imajo vsi ti motorji omejitve, ki so v veliki meri vezani na to, da so ti motorji batni in poganjajo propelerje, ki so nameščeni na njih. Naslednja stopnja v razvoju so reaktivni motorji, ki jih delimo na turboreaktivne, turbopropelerske, turbogredne in turboventilatorske. Čeprav so ti motorji višek trenutnega razvoja, imamo predstavljene tudi statoturboreakcijske motorje in električne, vendar lahko vidimo prednosti in slabosti teh motorjev na različnih področjih. Ko govorimo o prednostih in slabostih teh motorjev moramo pri tem upoštevati, na katerih letalih oziroma za katere namene se uporabljajo. Poleg prikaza razvoja in osnovnih značilnosti letalskih motorjev smo prikazali povezave med tipi letal in vrstami motorjev. Pri izbiri letalskega motorja moramo razmisliti predvsem o dejavnikih, kot so: onesnaževanje okolja; hrup, ki ga povzročajo; razmere med maso in močjo motorja, čas in hitrost potovanja. Propelerska letala z batnimi motorji lahko dosežejo velike razdalje s sorazmerno dobrim izkoristkom. Slabosti reaktivnih letal so, da povzročajo ogromno hrupa, onesnaževanja, vendar lahko z njimi dosežemo višje hitrosti in so na visokih višinah bolj ekonomični kot batni. Električni motorji so prihodnost, vendar tu nastane težava s shranjevanjem zadostne količine energije v letalu, ki poganja motor. V zadnjem delu diplomske naloge smo predstavili možne rešitve za znižanje obremenjevanja okolja. Ena izmed pomembnejših je nova oblika letala, ki zmanjšuje zračni upor, kar povečuje izkoristek motorjev ter njihovo manjšo onesnaževanje.

Ključne besede:

- batni motorji
- reaktivni motorji
- električni motorji
- letalski hrup
- letalski izpust

ABSTRACT

Aircraft engines as a key part of the aircraft have always been given great importance. With the first flight, it was developed, which was made with dedicated propulsion and special attachments on the plane. The beginnings were slow as the aircraft engine is a highly sophisticated device. The beginning of aviation was marked by reciprocating line engines. They later evolved into rotary, anti-piston, v-shaped engines and star engines. However, all of these engines have limitations that are largely tied to the fact that these engines are reciprocating and drive the propellers mounted on them. The next stage in development are jet engines, which are divided into turbojet, turboprop, turboprop and turbofan. Although these engines are more current development are also presented statutory reaction engines and electric, we can see the advantages and disadvantages of engines in different areas. When talking about the pros and cons of engines, we need to consider which aircraft or for what purposes they are used. In addition to showing the development and basic characteristics of aircraft engines, we have shown the links between aircraft types and engine types. When choosing an aircraft engine, we must consider factors such as: environmental pollution; the noise they cause; relation between engine mass and power, travel time and speed. Propeller aircraft with piston engines can reach a great distance with relatively good efficiency. The disadvantages of jet aircraft are that they cause a lot of noise, pollution, but with them we can achieve higher speeds and thus at high altitudes more economical than piston. Electric motors are the future, but there are problems with storing enough energy in the plane that drives the engine. In the last part of the diploma, we presented possible solutions to reduce the burden on the environment. One form of air resistance aircraft is one of the most important uses of engines.

Keywords:

- piston engines
- jet engines
- electric engines
- plane noise
- plane pollution

KAZALO

1	UVOD	1
1.1	Predstavitev problema.....	1
1.2	Cilji naloge	1
1.5	Metode dela	2
2	LETALSKI MOTORJI	2
2.1	Prvi polet.....	2
2.2	Vrste letalskih motorjev	4
2.2.1.	Batni motorji	4
2.2.2.	Turbinski motorji	14
2.2.3.	Električni motorji	24
3	VPLIVI NA OKOLJE	26
3.1.	Letalski hrup.....	28
3.2.	Izpusti letalskih motorjev	29
4	UGOTOVITVE RAZISKAVE	30
4.1.	Dosežki in smeri razvoja sodobnih letalskih motorjev.....	31
4.2.	Rešitev na področju onesnaževanja v letalskem prometu	32
5	ZAKLJUČEK	34
6	VIRI IN LITERATURA.....	35

KAZALO SLIK

Slika 1: Prvi vrstni motor s štirimi valji, ki je poganjal letalo.....	3
Slika 2: Prvo letalo na motorni pogon brata Wright.....	3
Slika 3: Prikaz delovanja 4-taktnega motorja.....	5
Slika 4: Linijski motor SPA-6A.....	6
Slika 5: Prototip nemškega vojaškega letala, ki uporablja linijski motor.....	7
Slika 6: Prikaz delovanja in učinek navora (torque) na letalu.....	8
Slika 7: Mini model rotacijskega motorja v letalu.....	9
Slika 8: Rotacijski motor.....	10
Slika 9: Protibatni motor.....	11
Slika 10: V-motor Rolls Royce Merlin.....	12
Slika 11: Prikaz V-motorja v letalu.....	13
Slika 12: Prikaz zvezdatega motorja v letalu.....	14
Slika 13: Turbinski motor.....	15
Slika 14: Potovanje zraka skozi reaktivni motor.....	16
Slika 15: Turboreaktivni motor v letalu.....	17
Slika 16: Delovanje in sestava turbopropelerskega motorja.....	18
Slika 17: TP400.d6.....	18
Slika 18: Primer, kako turbogredni motor žene propeler helikopterja.....	19
Slika 19: Prikaz delovanja turbogrednega motorja.....	20
Slika 20: Helikopter Kaman K-225.....	20
Slika 21: Prikaz delovanja turboventilatorskega motorja.....	21
Slika 22: Turboventilatorski motor.....	22
Slika 23: Boeing 777.....	22
Slika 24: Boeing 747.....	23
Slika 25: Prikaz delovanja statoturboreakcijskega motorja.....	24
Slika 26: Prikaz poskusnega letala s sončnimi celicami na vrhu kril.....	25
Slika 27: Dve Pipistrelovi letali; prvo je jadralno letalo s pomožnim motorjem, drugo popolno električno letalo.....	25
Slika 28: CO2 emisije potniškega prometa.....	27
Slika 29: Prikaz B52 pri vzletu.....	30
Slika 30: Letalo SAX-40.....	32

1 UVOD

1.1 PREDSTAVITEV PROBLEMA

Letalskim motorjem se je, kot ključnim delom letala, vedno dajalo velik pomen, že od prvega poleta leta 1903 do današnjih časov. Sodobni letalski motorji so tehnično dovršeni stroji, ki morajo izpolnjevati najvišje zahteve na različnih področjih. Proizvajalci motorjev se pri izdelavi osredotočajo na proizvodnjo motorjev z manjšo porabo goriva, večjim potiskom in čistejšim oziroma manjšim izpuhom v ozračje.

Kljub porasti ponudnikov letal z vgrajenim elektro-propelerskim motorjem, se kupci še vedno odločajo za nakup letala s konvencionalnimi (batnimi) ali turbinskimi (turboreaktivnimi) motorji, ki proizvajajo emisije, ki nastanejo pri zgorevanju fosilnih goriv, vendar se znaten delež teh emisij oddaja na visoki nadmorski višini. Te emisije povzročajo pomembne okoljske posledice in vplivajo na lokalno kakovost zraka na tleh. Zaradi velikega obsega letalskega prometa in s tem posledično velikega obremenjevanja okolja, bomo to problematiko podrobneje raziskali.

1.2 CILJI NALOGE

Namen naloge je opisati lastnosti in opredeliti uporabnost posameznih letalskih motorjev s poudarkom na njihovem vplivu na okolje. Cilji so:

- Ugotoviti povezavo med tipi letal in vrstami motorjev s poudarkom na dejavnikih obremenjevanja okolja.
- Ugotoviti, zakaj se samo pri manjših letalih uporablja električne pogone in zakaj se ta rešitev še ne prakticira pri večjih letalih.
- Ugotoviti, kakšne vrste motorjev (v povezavi z letali) lahko pričakujemo v prihodnosti glede na vrste in namene letal.

1.3 OMEJITVE

Motor je najdražji del letala in se lahko pojavijo težave pri pridobivanju načrtov motorja in njihovih specifikacij, saj so temu primerno njegovi tehnični podatki v veliki meri javnosti nedostopni. Zbiranje podatkov za starejše motorje ni bilo oteženo, medtem, ko so podatki za novejše motorje javnosti dokaj nedostopni.

1.5 METODE DELA

Uporabljena metoda za izdelavo diplomskega dela je pregled literature. S pomočjo virtualnih knjižnic smo dostopali do strokovne literature in strokovnih člankov, ki so že objavljeni na temo letalskih motorjev ter njihovih vplivov na okolje. V zaključku smo z metodo sinteze združili glavne ugotovitve pri raziskovanju njihovega vpliva na okolje.

2 LETALSKI MOTORJI

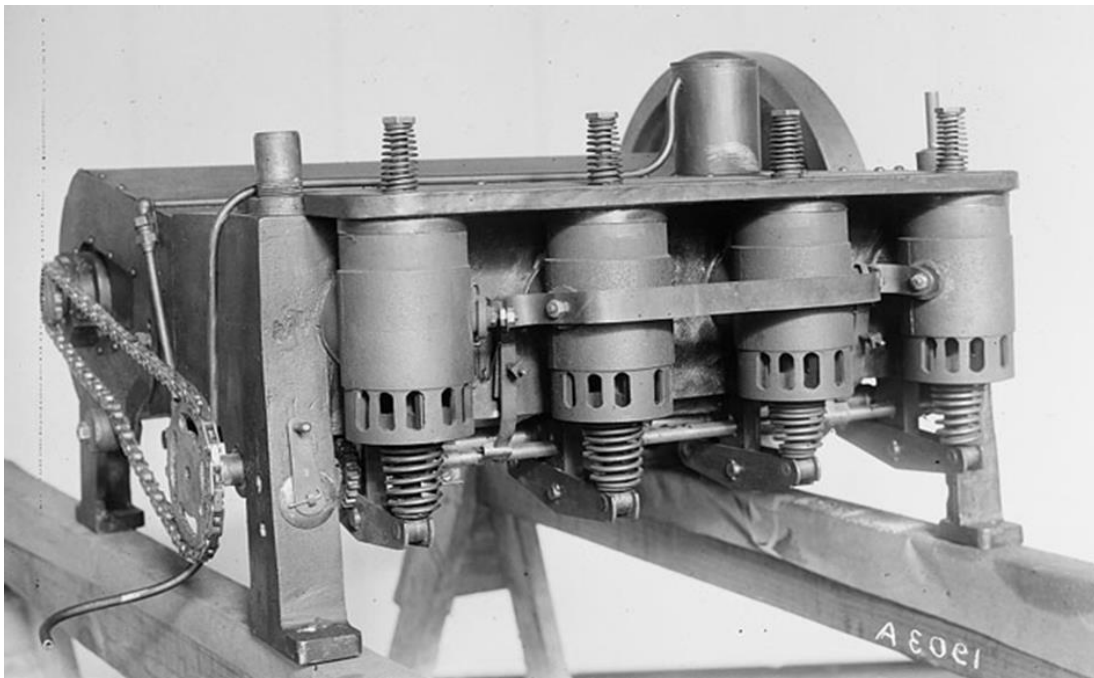
2.1 PRVI POLET

Wilburg in Orville Wright sta 17. decembra 1903 prvič poletela z letalom, ki ga je poganjal motor. Čeprav je polet traja le 12 sekund, v katerih sta preletela 150m, se je začela pisati zgodovina letalskih motorjev (National Park Service, 2015).

Pred uspešnim poletom brata Wright so tudi drugi izumitelji stremeli v smer letala, ki bi ga bilo prvič moč poganjati z neko napravo. Narejen je bil celo prototip parnega motorja, ki bi se ga namestilo v letalo, vendar je bil motor pretežak in je proizvedel premalo moči (National Park Service, 2015).

Motor, ki sta ga brata Wright uporabila v svojem letalu, je bil narejen v njuni delavnici, saj kljub naporu, da bi od avtomobilske industrije dobila motor, ki bi bil lahek in močan, takega motorja nista našla (Smithsonian National Air and Space Museum, b.l.).

Zasnova motorja je bila po takratnih standardih zelo surova, vendar je imel motor nekaj izjemnih lastnosti, saj je bil vrstni motor s štirimi valji, ki je bil vodno hlajen. Njegovo ohišje je bilo izdelano iz aluminija. To je bilo prvič, da je bila komponenta motorja narejena iz aluminija. Danes je zaradi teže večina letalskih motorjev izdelana iz aluminija. Motor je s svojo zasnovo proizvedel 12 konjskih moči (Smithsonian National Air and Space Museum, b.l.).



*Slika 1: Prvi vrstni motor s štirimi valji, ki je poganjal letalo
(National Park Service, 2017)*

Prvo letalo spominja na obliko konvencionalnega oziroma modernega letala. Motor je poganjal dva propelerja (National Park Service, 2015).



*Slika 2: Prvo letalo na motorni pogon brata Wright
(National Park Service, 2017)*

Danes morajo letalski motorji izpolnjevati veliko zahtev (Wygonik, 2014):

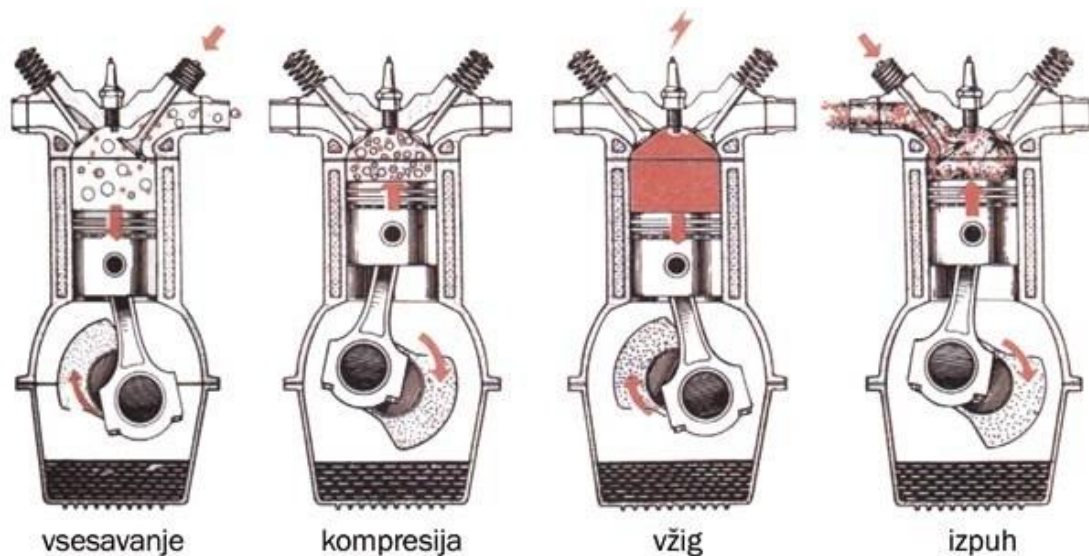
- Letalski motorji morajo biti lahki. Teža motorja povečuje skupno maso letala in s tem zmanjšuje maso tovora, ki ga lahko letalo prevaža.
- Motor letala mora biti primerne velikosti in aerodinamično nameščen v letalo. Večji kot je motor, večji je upor, ki ga ima letalo med letom. Tukaj je zelo pomembna moč motorja, ki jo potrebuje. Veliki motorji proizvedejo veliko potiska, vendar je njihova poraba goriva občutno višja od manjših motorjev, ki proizvedejo občutno manjšo količino potisne moči.
- Moč je zelo pomemben faktor za potrebe letala, na katerem je motor nameščen.
- Stroški vzdrževanja so pomemben faktor pri vseh letalih, saj je letalski motor najdražji komponent letala. Pomembno je, da so manjša popravila čim cenejša.
- Motor mora biti zanesljiv. Okvara motorja pri letalu je večji problem kot okvara pri avtomobilu, posebno, če se to zgodi med letom. Letalski motorji delujejo v ekstremnih pogojih (temperature, hitrosti, tlaki). Zato morajo v vseh pogojih delovati varno.
- Batni motorji uporabljajo visoko oktansko gorivo za pogon, reaktivni motorji pa kerozin.

2.2 VRSTE LETALSKIH MOTORJEV

2.2.1. BATNI MOTORJI

Batni motorji so motorji z notranjim izgorevanjem, ki za izgorevanje goriva v motorju uporabljajo oksidant. Ta oksidant je večinoma zrak, ki ga motor pridobi iz okolice. Proces batnega motorja je sestavljen iz sesanja, kompresije, zgorevanja in ekspanzije ter izpuha (Trenc in Katrašnik 2015).

Razlika med batnimi in kasneje predstavljenimi reaktivnimi motorji je v tem, da procesi v turbinskih motorjih potekajo neprekinjeno. Za batne motorje pa je značilno, da se ti procesi prekinjajo in periodično ponavljajo (Trenc in Katrašnik 2015).



Slika 3: Prikaz delovanja 4-taktnega motorja
(Čertič, 2008)

Zaradi prekinjenega procesa in konstrukcijske zasnove se v batnih motorjih doseže višje temperature v procesu (do 3000 K) kot v turbinskih motorjih, kjer proces poteka neprekinjeno (do 1600 K). Posledica le-tega je, da je temperatura procesa nižja od najvišje temperature, saj poteka več procesov zaporedno prekinjeno. Ko v bat priteče hladno gorivo in zrak z okolice, temperatura v batu pade (Cantwell, 2010).

Za razliko v motorjih, kjer proces poteka neprekinjeno, imajo deli letala enake temperature.

V batnih motorjih najvišji tlak v procesu doseže približno 20 MPa, kar je posledica zasnove zaprtega procesa (Trenc in Kutrašnik, 2015).

Kriteriji za oceno delovanja motorjev z notranjim izgorevanjem so (Trenc in Kutrašnik, 2015):

- delovna sposobnost in moč, ki ga lahko zvišamo s povečanjem tlaka med ekspanzijo, kar je povezano s povečano količino toplote, ki jo dovajamo v proces.
- izkoristek motorja, ki se definira kot razmerje med delom, ki ga razvije motor in dovedeno toploto, ki jo motorjem z notranjim izgorevanjem dovajamo z gorivom.
- emisije škodljivih snovi, ki jih v splošnem delimo v različne plinske spojine in emisije delcev.

Vrstni/linijski motorji (ang. In-line engine)

Linijski ali vrstni motorji imajo valje razvrščene v eni ravni vrsti. Največkrat jih najdemo v konfiguraciji valjev s štirimi ali šestimi valji. Ti motorji so lahko hlajeni tako zračno kot vodno. Z njimi pa lahko dosežemo aerodinamične oblike, ki so boljše od njihovega predhodnika (rotacijski motor). Pri zračno hlajenih motorjih je omejevanje števila valjev največkrat povezana s hlajenjem zadnjih valjev (pri zračnem hlajenju) saj hladen zrak priteka od spredaj, kar lahko privede do pregrevanja zadnjih valjev (Rodriguez, 2015).

Veliko motorjev je bilo izdelanih za potrebe letalske industrije med prvo svetovno vojno. Linijske ali vrstne motorje so v največji meri uporabljali Nemci in Italijani. Angleži so ta motor uporabljali v omejenem številu (Military Factory, b.l.).



Slika 4: Linijski motor SPA-6A
(Hetman, 2017)

Takšna postavitve motorja je bila tipična v avtomobilski industriji več desetletij, toda v letalstvu se ni dolgo uporabljala. Zadnje vojaško letalo s to vrsto motorja je bilo nazadnje v uporabi v prvi polovici leta 1940 (Military Factory, b.l.).

Primer letala z linijskim motorjem je AEG D.I., prototip izdelan leta 1917, ki je uporabljal šest valjni linijski motor z vodnim hlajenjem, ki je proizvedel 160 konjskih

moči. Prototip letala je med testiranjem strmoglavil. S tem je vojska prišla do zaključka, da letalo ne kaže zadostne izboljšave od predhodnika in je težko za upravljanje (Military Factory, 2019).



Slika 5: Prototip nemškega vojaškega letala, ki uporablja linijski motor
(Military Factory, 2019)

Linijski motorji so motorji s svojimi omejitvami, v povezavi s hlajenjem, težo ter proizvedeno močjo. Ko je bila ta vrsta motorja v uporabi, se proizvajalci niso ozirali na ekologijo, ampak samo na njegove karakteristike in proizvedeno moč (Flight Mechanics).

Izboljšava je bila vgrajena v obliki vodnega hlajenja, ki je brez večjih težav hladilo tudi valje v zadnjem delu motorja. Moč bi lahko povečali z večjimi bati, višje oktanskim gorivom ali pa z novo obliko linijskega motorja, kjer so združili 2 linijska motorja in je nastal protibatni in kasneje V-motor (Flight Mechanics).

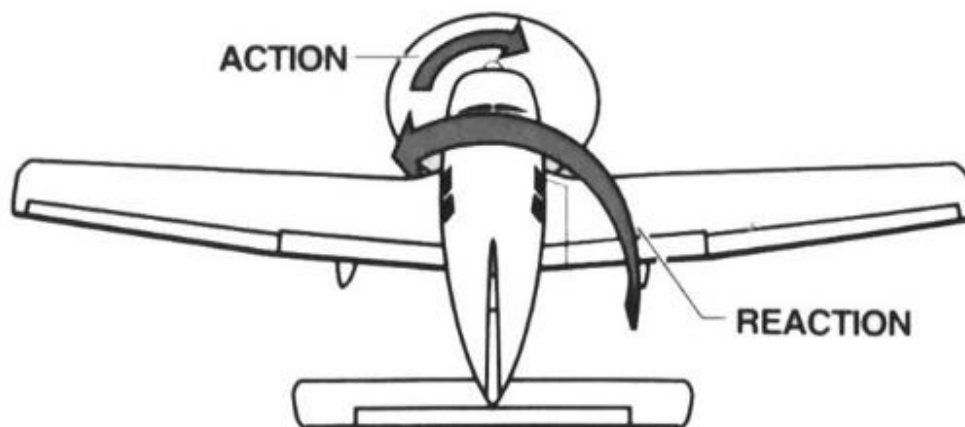
Rotacijski motor

Rotacijski tip motorja je bil eden izmed prvih letalskih motorjev z notranjim izgorevanjem. Zasnovan je bil največkrat z neparnim številom valjev v radialni konfiguraciji. Pri tej konfiguraciji je ročična gred ostala v mirujočem položaju, zato se je celotno ohišje ročične gredi in njeni pritrjeni valji, kot enota, vrtelo okoli nje. Velika prednost tega motorja od drugih tega časa je bila, da za pogon ni potrebovalo

vztrajnega kolesa (v nadaljevanju vztrajnika) za nemoteno delovanje. Glavna atrakcija tega zgodnjega motorja, posebno v vojaških letalih, je bilo njegovo razmerje med težo in proizvedeno močjo. Ena od težav, ki se je pojavila, je bila izredno visoka poraba goriva, ki je omejevala dolet letala (Švarc, 2020; Ames, 2016).

Visoko porabo lahko v veliki večini pripišemo človeškemu faktorju in nepravilni nastavitvi odpiranju ventilov, ki jih je bilo potrebno nastaviti ročno. Največja slabost tega motorja v letalstvu pa je vztrajnost (ang. inertia), ki ga motor proizvede. Piloti enomotornih letal s tem tipom motorja so odkrili, da je lev zavoj zaradi vztrajnosti, ki ga proizvede motor, izredno težaven (Twombly, 2014).

Če se lopatice propelerja vrtijo v desno, letalo posebno pri nizki hitrosti spusti levo krilo, zaradi tega je lahko zavijanje v levo izredno nevarno, saj lahko povzroči nenadzorovan spust krila, izgubo vzgona iz rotacije letala (Twombly, 2014).



Slika 6: Prikaz delovanja in učinek navora (torque) na letalu
(Flight Instructor Guide, b.l.)

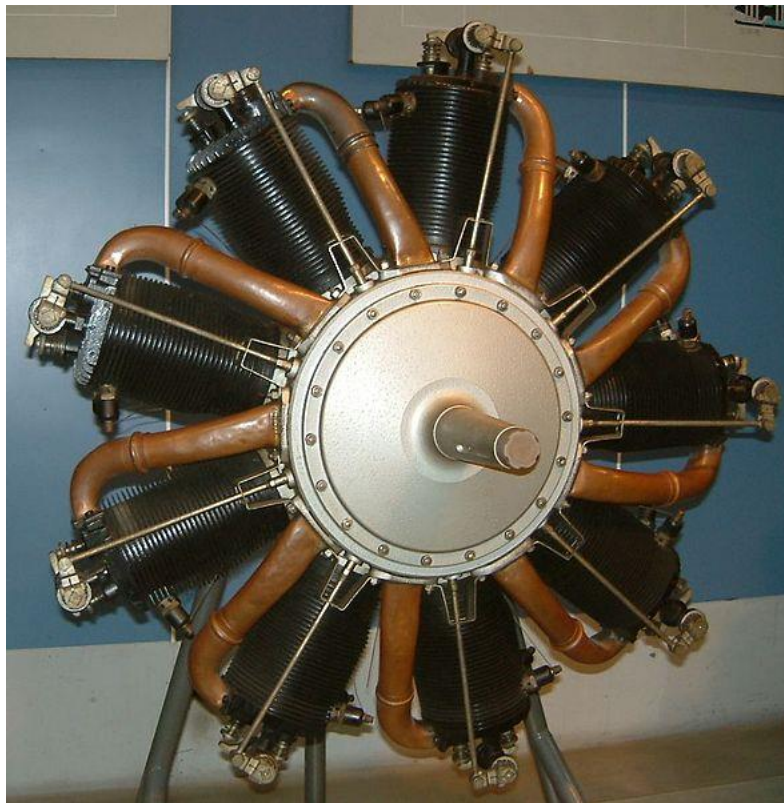
Trije ključni dejavniki, ki so prispevali k uspehu rotacijskega motorja so (Camden Miniature Steam Service, 1997):

1. Miren tek motorja. Moč je bila dana zelo gladko glede na vpetje motorja, njegova velika masa je delovala kot vztrajnik.
2. Izboljšalo se je hlajenje, saj ko se je letalo premikalo, je vrteči motor ustvaril svoj lasten hiter tok zraka. Tudi ko je letalo mirovalo.
3. Bili so izredno lahki v primerjavi z linijskimi motorji. Tako da je bilo njihovo razmerje med močjo in maso veliko boljše kot pri linijskih motorjih.
- 4.



*Slika 7: Mini model rotacijskega motorja v letalu
(Cleghorn, 2013)*

Ta vrsta motorja pa ni bila uporabljena le v letalstvu, čeprav je bila zasnovana za letala. Rotacijske motorje je bilo možno najti tudi v motociklih in avtomobilih. Do začetka dvajsetih let prejšnjega stoletja so motorji tega tipa zastareli. Zadnji, ki so ga uporabljali v letalski industriji so bili Britanci, vendar so tudi oni sčasoma prešli na novejšje oblike. Čeprav je rotacijski motor res unikaten v svoji zasnovi, se teh vrst motorjev v letalstvu ne uporablja več (Ames, 2016).



Slika 8: Rotacijski motor
(Paul Richter, 2009)

Z unikatno obliko motorja so v letalski industriji dosegli velik napredek, saj rotacijski motorji proizvedejo veliko količino moči. Slabost je bila velika poraba goriva in njegovo nezmožnost vodnega hlajenja, saj se celoten motor vrti in je bilo možnost uporabe le zračnega hlajenja, ki ga je motor ustvaril sam (Ames, 2016).

Izboljšave na tem primeru niso bile raznolike, saj je ta vrsta motorja tako unikatna, da so proizvajalci razvili alternative, zaradi katerih motorja niso izboljševali.

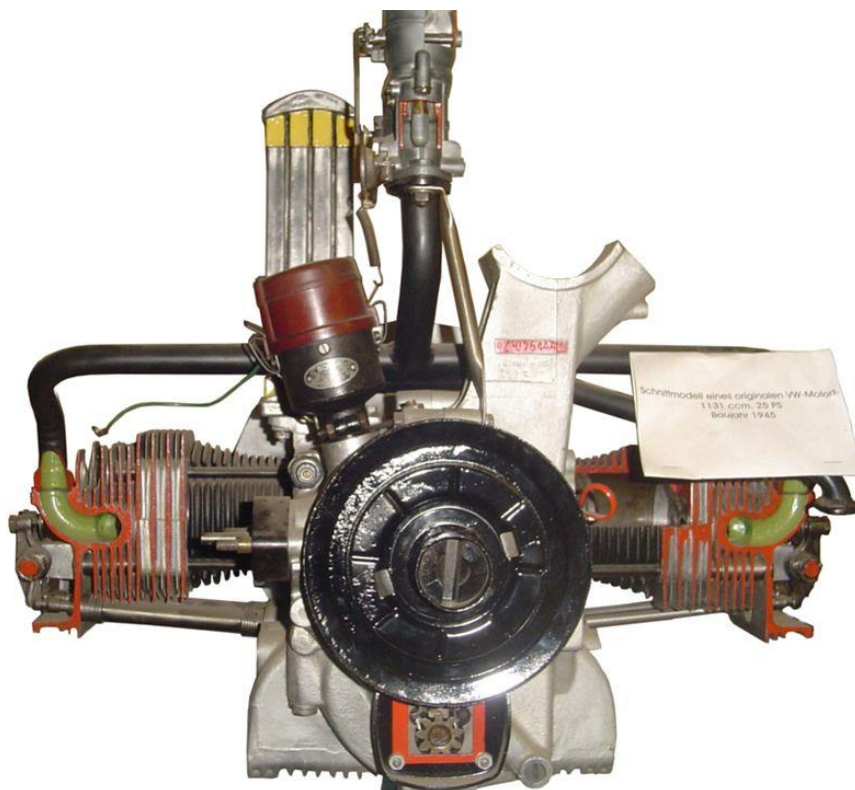
Protibatni motorji (ang. Opposed-piston engines)

Protibatni motorji imajo nameščene bate v dva niza, ki ležita v nasprotni smeri. Gred motorja je nameščena na sredini in je gnana z obeh strani. Ti motorji so lahko hlajeni vodno ali zračno, čeprav se v letalstvu uporabljajo bolj zračno hlajeni (Flint, Pirault, 2010).

Ti motorji so lahko nameščeni tako navpično kot vodoravno. V letalu je bila zelo pomembna lokacija planirane namestitve, saj se je na podlagi te odločilo, ali bo motor nameščen navpično ali vodoravno. Večina letalskih proizvajalcev je ta motor

nameščala vodoravno, saj pri tem zmanjšuje možnosti zastoja goriva, ki je po navadi zastajal na spodnjih valjih (Flint in Pirault, 2010).

Zaradi lokacije batov, ki ležijo desno in levo od gredi, se pri delovanju uravnovešajo med seboj in so zaradi tega pri teh motorjih vibracije izredno majhne. Slabost teh motorjev je, da so izredno težki, kar je v letalski industriji zelo pomemben faktor (Flint in Pirault, 2010).



*Slika 9: Protibatni motor
(Ebeling, 2006)*

Postavitev motorja, ki je prikazana na sliki 7, se v letalstvu pogosto pojavlja. Uporabljajo jo tudi v novejših letalih, saj se zaradi svoje oblike lepo prilagaja nosu letal, ne oddaja močnih vibracij ter proizvede zadostno količino moči (Flint in Pirault, 2010).

Protibatni motorji so odlična alternativa linijskim ali V obliki motorja. Lahko se jih hladi zračno ali vodno. Njegova oblika pa je idealna za lahka letala. Izboljšave na tem motorju so možne z uporabo večjih valjev, lažjih materialov in v visoko oktanskem gorivu (Flint in Pirault, 2010).

V-motor (ang. V-type engine)

Obliko V-motorja predstavljata dva linijska motorja z notranjim izgorevanjem, ki sta združena skupaj. Motor je od linijskega motorja krajši in lažji, vendar je zaradi dveh linij cilindrov širši. Število batov je najmanj 2 pa vse do 24.

Večina teh motorjev je vodno hlajenih, kar je v vojaških letalih v drugi svetovni vojni povzročalo veliko tveganje za poškodbe od sovražnih izstrelkov. Cel sistem vodnega hlajenja je bil zelo težak (Unique cars and parts, 2001–2022).

Britanski lovec iz 2. svetovne vojne »SUPERMARINE SPITFIRE« je uporabljal 12-valjni V-motor Rolls-Royce MERLIN, ki je razvil okoli 1500 hp in je imel delovno prostornino 27 litrov (Guilmartin xxa).



*Slika 10: V-motor Rolls Royce Merlin
(Wikipedija, 2005)*



Slika 11: Prikaz V-motorja v letalu
(Parker, 2021)

Ta vrsta motorja je izredno priljubljena še danes in se pogosteje uporablja v avtomobilski industriji in ne v letalski.

V-motor je nastal z združitvijo dveh linijski motorjev. Lahko je zračno ali vodno hlajen. Ti motorji so izredno veliki in težki ter proizvedejo veliko konjskih moči. V nekaterih vojaških letalih so jih uporabljali še po 2. svetovni vojni, sedaj pa se v letalstvu ne uporabljajo več, bolj so popularni v avtomobilski proizvodnji, kjer avtomobilski proizvajalci iščejo nove načine, kako motorje še dodatno izboljšati (Guilmartin, b.l.).

Zvezdati motorji (ang. Radial piston engine)

Zvezdati ali radialni motor je vrsta letalskega motorja z notranjim izgorevanjem, pri katerem so valji nameščeni radialno okrog ročične gredi. Motor je lahko sestavljen iz ene ali več linij valjev. Močnejše izvedbe so imele več vrst valjev, v nekaterih primerih celo do štiri. V vsaki vrsti je vedno liho število. To je bilo potrebno za gladko delovanje motorja. Primer 5 cilindričnega zaporedja reda vžiga je 1-3-5-2-4 (Guilmartin, 2017b).

Radialni batni motor je bolj kompleksen od motorja tipa V. Ima večji prečni presek od V-motorja, kar je povečevalo zračni upor. S to težavo so se srečali nemški konstrukterji letala FW, ki so uporabljali BMW 801 motor. Problem so rešili tako, da so motor bolj zaprli, predenj pa postavili dodatni ventilator za razprševanja zraka (Guilmartin, b.l.)



*Slika 12: Prikaz zvezdatega motorja v letalu
(Deano, 2016)*

Vrsta motorjev družine Wasp izdelovalca Pratt & Whitney po mnenju letalskih strokovnjakov predstavlja vrh zračno hlajenih zvezdatih motorjev, ki so bili nameščeni v ameriške vojaške lovce kot so F6, P47, F4U. Te vrste motorjev je zelo težko zagnati. Tu igra vlogo temperatura olja, ki ima visoko viskoznost in je v hladnem stanju predstavljala težavo (Ghayad, 2021).

Za zagon teh motorjev so se uporabljala različna sredstva. Lahko se zažene z manjšim električnim zaganjačem, mali dvotaktni bencin ali pa najbolj razširjena metoda naboja. S pomočjo naboja vstavljenega v režo se je kot primer vžigal lovec F6F (Hellcat) (Udris, 2015).

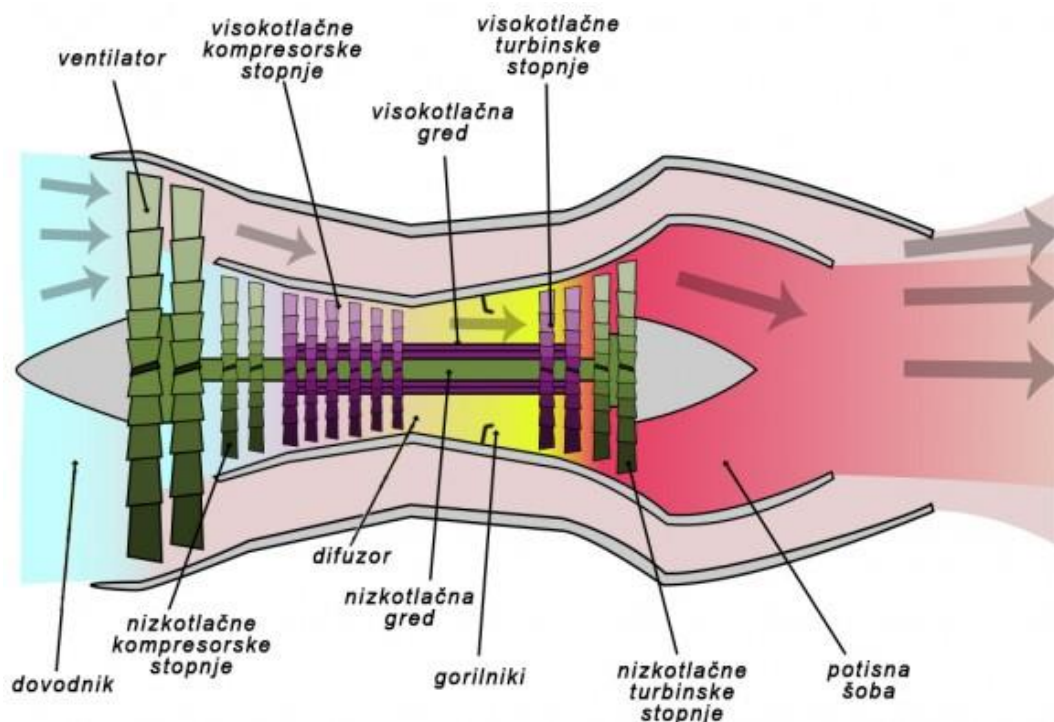
Ti motorji so se pretežno uporabljali v vojaških letalih med 2. svetovno vojno in proizvedejo veliko količino moči. Lahko so zračno in vodno hlajeni, vendar so bili hlajeni pretežno zračno. Njihova največja slabost je njihov prečni prerez, saj so izredno veliki, kar povzroča težave z zračnim uporom letala (Udris, 2015).

Izboljšave na tem motorju so bile raziskane ter preizkušene in zapisano je bilo celo v članku, da se ta vrsta motorjev ne more več razvijati, ker je med vojnim časom dosegla svoj vrhunec (Ghayad, 2021).

2.2.2. TURBINSKI MOTORJI

Za razliko od batnih motorjev, kjer proces poteka prekinjeno in se periodično ponavlja, je v turbinskih motorjih proces neprekinjen, torej v turbinski motor doteka zrak neprekinjeno (Trenc in Ktrašnik, 2015).

Zrak, ki vstopa v motor, se najprej usmeri in delno upočasni v sprednjem delu. Zrak, ki se dovede, oziroma dovodni zrak, nato vstopi v zaporedje kompresorskih stopenj. V kompresorskih stopnjah se zrak stisne, posledično se mu zviša tlak in temperatura ter poveča gostota. Tok vročega zraka zapusti kompresorje skozi difuzor, ki ga še dodatno upočasni in zviša tlak. Zrak nato vstopi v gorilnike, kjer je dovedeno gorivo in zmes se z vžigalno napravo vžge. Za to vrsto motorja se uporablja gorivo imenovano kerozin. Gorivo mora imeti nizko viskoznost pri nizki temperaturi. Imeti mora določeno gostoto in določeno kurilno vrednost. Zaradi onesnaževanja okolja pa mora goreti čisto in biti kemično stabilno pri visokih temperaturah (Trenc in Ktrašnik, 2015).

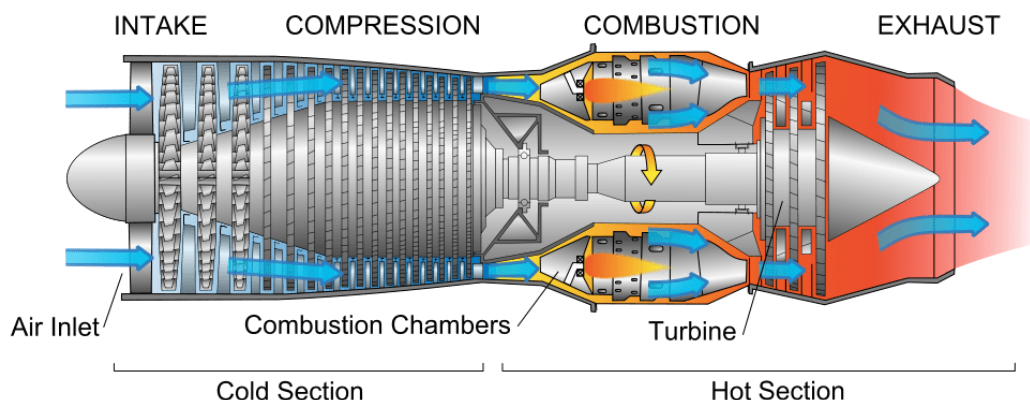


Slika 13: Turbinski motor
(Trenc in Ktrašnik, 2020)

Turboreaktivni motorji (ang. Turbojet)

Večina sodobnih vojaških in tudi nekaterih potniških letal poganjajo plinskoturbinski motorji, ki jim tudi pravimo reaktivni motorji. Prva in najbolj preprosta oblika plinskoturbinskega motorja je turboreaktivni motor.

Turboreaktivni motor je motor, ki ustvarja ves svoj pritisk z izpustom plina skozi šobo motorja. Za razliko od turboventilatorskega motorja gre 100 % vstopnega zraka, ki vstopi skozi sesalni sistem, v jedro motorja (Aerocorner, b.l.).



Slika 14: Potovanje zraka skozi reaktivni motor
(Aerocorner, b.l.)

Način kako deluje turboreaktivni motor je, da zrak poteka skozi dovod in ga stisne ter segreje s kompresorjem, ki ima običajno več stopenj. Stisnjen zrak nato potuje v komoro, kjer se doda gorivo, se gorivo vžge in produkt zgorevanja preko turbinskega dela motorja preide v izpušni del in nato v okolico. Ta produkt izgorevanja zagotavlja dovolj energije za pogon turbinskega dela motorja, črpalk generatorjev. Turbina motorja je preko gredi povezana s kompresorjem. Kompresor se vrti z visokimi vrtljaji in sesa svež zrak, ki omogoča, da se proces ponavlja. Goreče gorivo doda energijo izpušnemu plinu z ogrevanjem in ekspanzijo zraka (Trenc in Prašnikar, 2015).

Optimalna učinkovitost motorja je, ko se hitrost pospešenega zraka približa hitrosti letala. Turboreaktivni motorji ne dosežejo svoje optimalne učinkovitosti, dokler se ne približajo hitrosti 2 maha oz 2450 km/h. Prvo produkcijsko letalo, ki je imelo to vrsto motorja, je bil nemški ME-262 z motorjem Junkers Jumo 004 B (Aerocorner, b.l.).



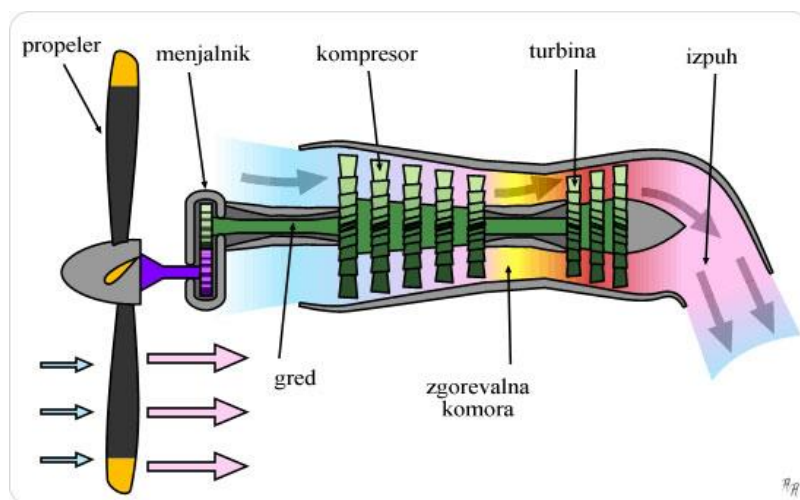
*Slika 15: Turboreaktivni motor v letalu
(Lastni vir)*

Te motorje uporabljajo predvsem vojaška letala, pri katerih poraba goriva ni problematična. Za to vrsto motorjev je značilno veliko hrupa, ki ga povzročajo. Hrup je posledica velike izstopne hitrosti plina, ki ga letalo uporablja za pogon. To vrsto motorja je imel tudi prvo nadzvočno potniško letalo Tu-144 (kopija Concorde) (Alejandro in Rosana, 2006).

To so bile prve različice reaktivnega motorja. Med samim razvojem so uporabljali različne materiale, saj se motorji vrtijo z visoko hitrostjo pri visoki temperaturi. Prve motorje je bilo potrebno menjati že po približno 50 urah letenja zaradi manj kakovostnih materialov, ki so bili takrat na voljo. Izboljšave na tem področju niso v smeri ekologije, vendar samo v smeri moči. Saj se te vrste motorjev uporablja samo še v vojaških lovskih letalih (Andrews, 2019).

Turbopropellerski motorji (ang. Turboprop engines)

Turbopropellerski ali turbovijačni motor je v osnovi turboreaktivni motor, ki uporablja zobniški sistem za povezavo z letalskim propelerjem (Trenc in Katrašnik, 2015).

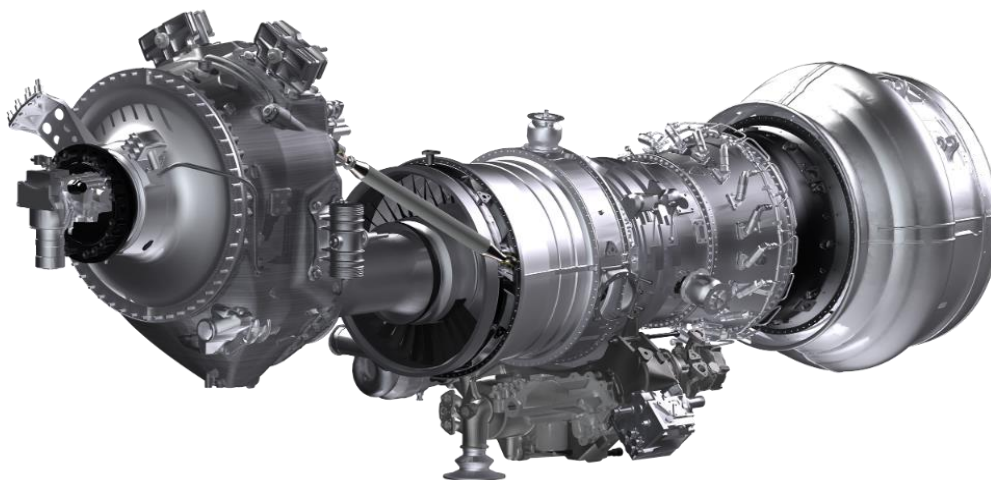


Slika 16: Delovanje in sestava turbopropelerskega motorja
(Podgoršek, 2007a)

V najbolj preprosti izvedbi imamo sestavne dele: vstopnik, kompresor, zgorevalno komoro, turbino in izpušni del. Turbina je za razliko od turboreaktivnih motorjev prirejena delovanju pogona za propeler, tako da le približno 10 % ustvarjajo izpušni plini, ki imajo po izstopu še nekaj energije (Trenc in Katrašnik, 2015).

Turbopropelerski motorji so v primerjavi z batnimi motorji enake velikosti močnejši in hkrati mnogo tišji. Njihova cena in stroški vzdrževanja pa so višji (Aerocorner, b.l.).

Turbopropelerski motorji so bolj učinkoviti od turboreaktivnih motorjev, ki jih najdemo na večjih potniških letalih in porabijo pri hitrosti 725 km/h le 2–3 litrov kerozina v primerjavi s turboreaktivnim. Letala opremljena s turbopropelerskimi motorji pa letijo na manjši višini kot tista opremljena s turboreaktivnimi (Aerocorner, b.l.).



Slika 17: TP400.d6
(Europop International, b.l.)

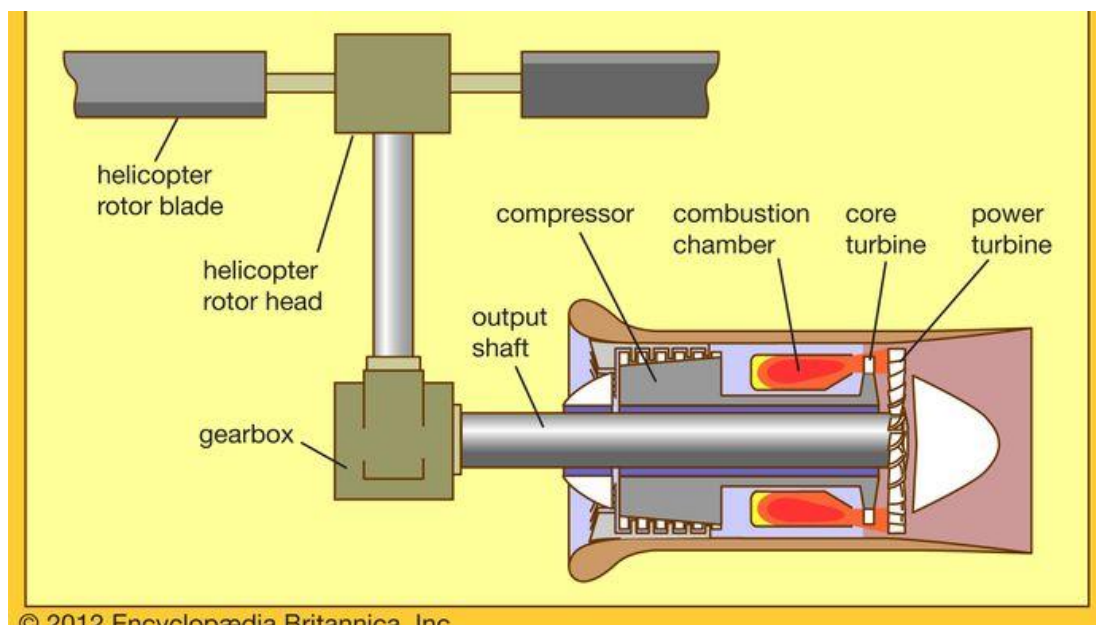
To je preprosto rečeno turboreaktivni motor z reduktorjem. Ima veliko vlogo v letalskem potniškem prometu. Proizvajalci poskušajo proizvesti motor s čim manjšo porabo, da bi prihranili pri operativnih stroških motorja in upoštevajo minimalne standarde za izpuhe in zvok (Aerocorner, b.l.).

Izboljšave so možne z uporabo novih materialov, ki so lažji. Zaradi zobniškega prenosa na propeler je zelo pomembno, kakšen propeler je pritrjen na motor (Trenc in Katrašnik, 2015).

Turbogredni motorji (ang. Turboshaft)

Turbogredni motorji so po zasnovi plinske turbine, ki so optimizirane, da proizvajajo moč na gredi in ne potiska s curkom plina (Aerocorner, b.l.).

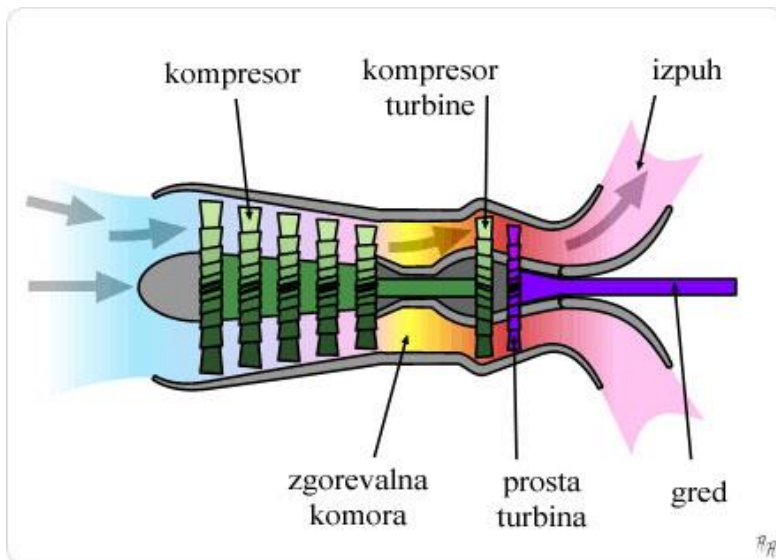
V osnovnem konceptu so motorji zelo podobni turboreaktivnim motorjem z dodatno turbino, da lahko energijo izpušnih plinov pretvorijo v moč na izhodu gredi. Na pogled so tudi zelo podobni turbopropellerskim motorjem z nekaterimi manjšimi razlikami. En motor pa se pogosto prodaja v obeh verzijah, turbogredni in turbopropellerski. Turbogredni motor lahko žene propeler helikopterja, saj lahko s tem tipom motorja dosežemo več zelene moči z enim motorjem kot pri turbopropellerskem motorju (Aerocorner, b.l.).



*Slika 18: Primer, kako turbogredni motor žene propeler helikopterja
(Encyclopædia Britannica, 2012)*

Take vrste motorjev najdemo v helikopterjih, čolnih, celo tankih. Leta 1944 so nemške oborožene sile prvič preizkusile turbogredni motor v njihovem Panter tanku. Leta 1976

je sovjetski tank T-80 uporabljal turbogredni motor kot svoj primarni vir pogona (Wikipedia, 2014a).



Slika 19: Prikaz delovanja turbogrednega motorja
(Podgoršek, 2007b)

Prvi motor tega tipa ni poganjal letala, vendar helikopter Kaman K-225, ki je poletel leta 1947 (Helistart 2007–2020).



Slika 20: Helikopter Kaman K-225
(National Museum of the US Navy, 2015)

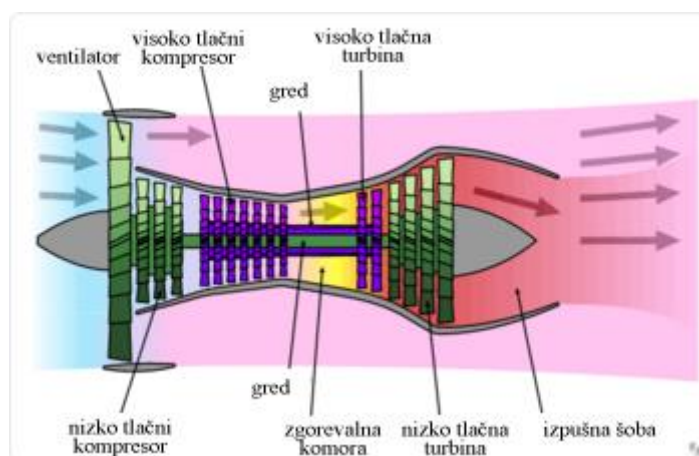
Ta vrsta motorja je samo še ena izpeljanka turboreaktivnega motorja, ki se primarno uporablja v helikopterjih (Aerocorner, b.l.).

Izboljšave na tem področju so predvsem povezane z obliko rotorja ter v materialih motorja in njegovem gorivu (Aerocorner, b.l.).

Turboventilatorski motorji (ang. Turbofan)

Turboventilatorski motor je naj sodobnejša različica osnovnega plinskoturbinskega motorja. To različico motorja lahko danes opazimo na vseh sodobnih potniških reaktivnih letalih. Po delovanju je podoben turboreaktivnemu motorju, njuna poglobljena razlika pa je v deljenju zraka v toku na primarni in sekundarni tok. To deljenje predstavlja količino zraka, ki gre mimo motorja in tistega, ki gre v samo turbino. Na zunaj to zglada kot velika cev, ki obdaja motor in običajno obdaja le sprednji del motorja (Podgoršek, 2007b).

Pri turboventilatorskem motorju ima jedro motorja ventilator z lopaticami spredaj in dodatno turbino zadaj. S tako konfiguracijo se učinkovitost turboreaktivnega motorja znatno poveča (Podgoršek, 2007b).



Slika 21: Prikaz delovanja turboventilatorskega motorja
(Podgoršek, 2007c)

Ventilator ima v primerjavi s propelerjem precej podobno funkcijo. Razlika med ventilatorjem in propelerjem je, da ima propeler tipično 2, 3, 5 lopatic, medtem ko jih ima ventilator 30, 40 in več, ki so na koncu obdana z ohišjem (Trenc in Ktrašnik, 2015).

Ventilator zagotavlja 30–75 odstotkov celotne potisne sile motorja, kar je odvisno od njegovega premera. Čelni presek turboventilatorskega motorja pa je odvisen od razmerja vstopnega in obtočnega zraka. Seveda pa večji motor pomeni tudi večji čelni upor letala, kar pomeni večje stroške leta (Trenc in Ktrašnik, 2015).



*Slika 22: Turboventilatorski motor
(Aviator, 2019)*

To vrsto motorja prav tako uporablja več letal družbe Boeing, med drugimi Boeing 747 (Kellner, 2016).



*Slika 23: Boeing 777
(Nicholas, 2020)*

Boeing 777-200 uporablja turboventilacijski motor General Electric GE90, ki se je pričel razvijati v letu 1970 (Kellner, 2016).



Slika 24: Boeing 747
(Adminsarin, 2020)

Turboventilacijski motorji so najbolj popularna vrsta. Uporabljajo jih vsa večja »reaktivna« letala. Imajo odlično razmerje med močjo in težo, so izredno ekološki (Podgoršek, 2007b). Na ILA 2016 na predstavitvi letala je Boeinga predstavil kot letalo z izredno tihim motorjem. Potniško letalo je letelo zelo blizu publike in je bil zvok podoben, manjšemu propelerskemu letalu.

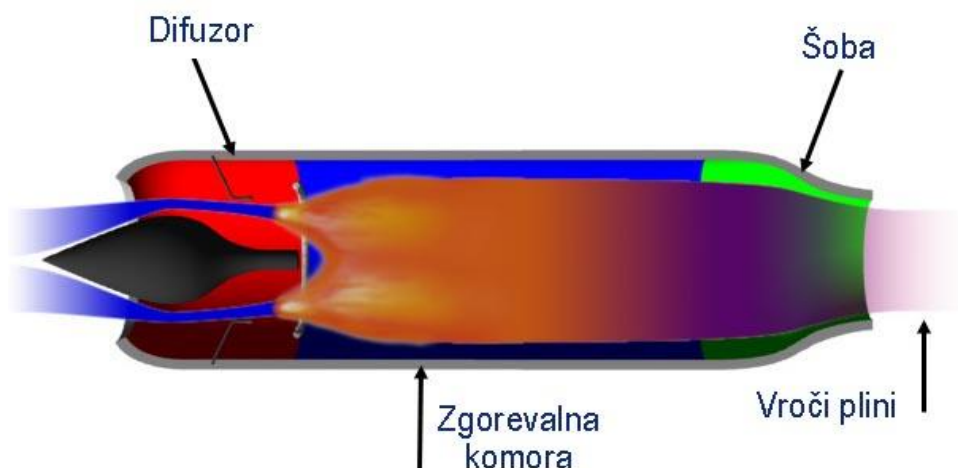
Izboljšave na tem področju so izredno varovana skrivnost, saj je ta motor najdražji del letala.

Statoturboreakcijski motorji (ang. Ramjet engine)

Ta vrsta motorjev ne spada med turbinske. Statoturboreakcijski motor je posebno oblikovana cev, pri kateri zrak, ki doteka s svojo obliko, komprimira¹ (Podgoršek, 2007c).

Segretemu zraku nato vbrizgamo gorivo, kjer vse skupaj ekspandira in zagotavlja potisno silo (Trenc, Kutrašnik, 20

¹ Komprimirati; zmanjševati, zmanjšati prostornino plina zaradi večanja tlaka.



Slika 25: Prikaz delovanja statoturboreakcijskega motorja
(Podgoršek, 2007d)

V teh vrstah motorjev ni premikajočih se delov. Čeprav je ta motor res zelo preprost, je potrebno poudariti, da je njihova uporabnost izredno nizka. Da je ta motor lahko uporaben, se je že v samem začetku potrebno premikati s hitrostjo nad 1600 km/h (Aerocorner, b.l.).

To je testni motor, ki v letalstvu vsaj zaenkrat ne igra nobene vloge.

2.2.3. ELEKTRIČNI MOTORJI

Pri letalih, ki jih poganjajo električni motorji je največja težava, kje črpati električno energijo. Črpanje iz baterij se zdi najbolj preprosta in logična rešitev, vendar se je potrebno zavedati, da bi za pogon letalskega motorja potrebovali več baterij. Tu nastane težava, saj želimo zagotavljati čim več energije, ne da bi s tem dodajali težo letalu. To težavo bi se dalo rešiti z izboljšavo akumulatorjev oziroma baterij, vendar baterije še vedno ne proizvedejo zadosti energije, da bi letalo lahko potovalo na večje razdalje (NASA, 2014).

Na krila se lahko namestijo sončne celice, ki pridobivajo električno energijo iz sonca, vendar je za to potrebna izredno velika površina letala, ki zajema sonce in v teoriji tako letalo lahko ostane na nebu več mesecev (NASA, 2014).



*Slika 26: Prikaz poskusnega letala s sončnimi celicami na vrhu kril
(Galante, 2003)*

Največ se električni motorji v letalstvu uporabljajo v jadralnih letalih, vendar le-te niso mišljeni za vzlet, ampak le za jadranje na višini (Hepperle, 2012).

V Sloveniji je najbolj prevladujoč proizvajalec električnih letal in jadralnih letal Pipistrel, ki je za enkrat vodilni za svetovni trg s svojimi električnimi letali.



*Slika 27: Dve Pipistrelovi letali; prvo je jadralno letalo s pomožnim motorjem, drugo popolno električno letalo.
(Rutkowski, b.l.)*

Ljudje pravijo, da je elektrika pot, po kateri moramo hoditi v prihodnosti. V smeri letalstva se s to izjavo ne strinjam.

Električni motorji so lahki ter proizvedejo veliko moči, vendar nastane težava z energijo, ki jo hranimo v baterijah, razporejenih po letalu (Hepperle, 2012).

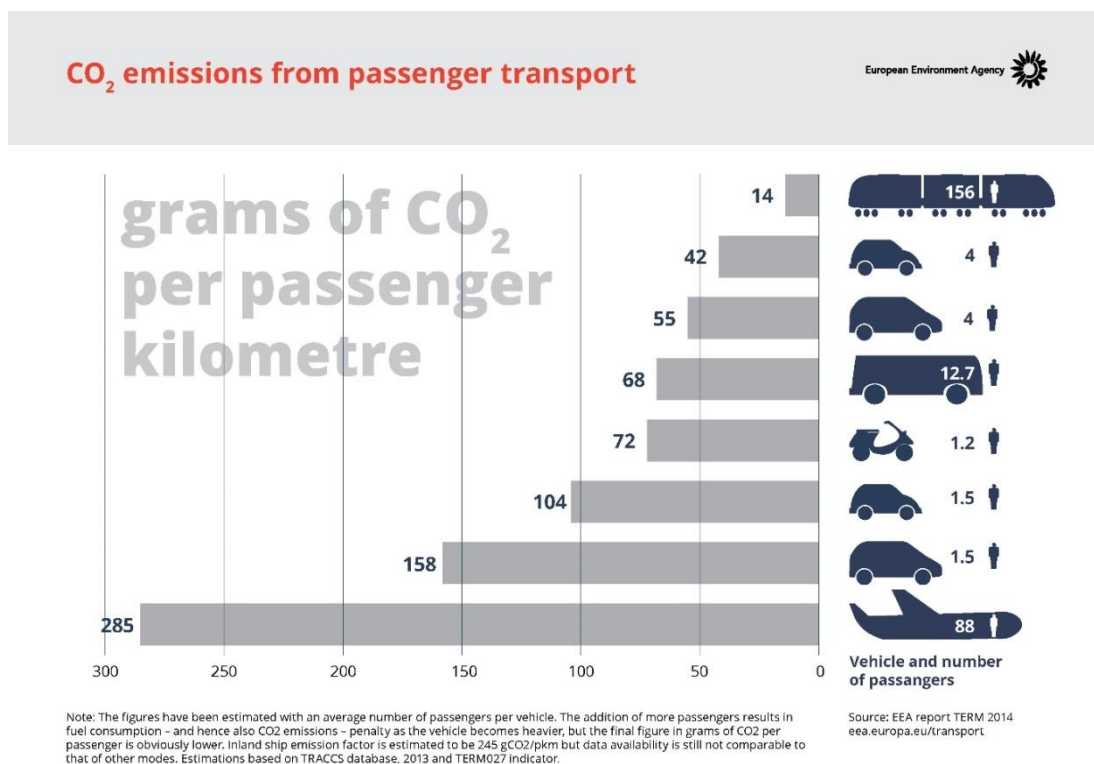
Izboljšave na tem področju se vrtijo izključno samo v tem, kako bi izdelali lažje akumulatorje, da bi lahko shranili več energije v letalu (Hepperle, 2012).

3 VPLIVI NA OKOLJE

Človek je že od nekdaj odvisen od zraka, ki je ključnega pomena za naš obstoj. Je nekaj, kar nas spremlja na vsakem koraku in brez česa ne moremo živeti.

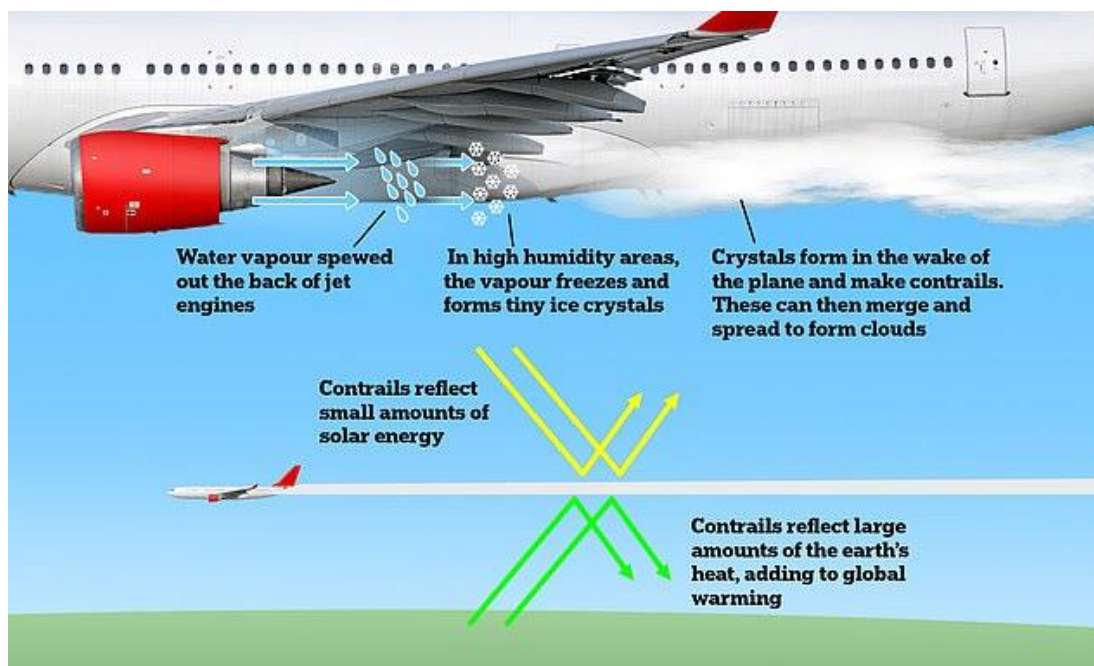
Medtem ko se v ostalih panogah, kjer se za pogon uporabljajo fosilna goriva, le-te poskuša nadomestiti ali vsaj zmanjšati njihov izpust škodljivih plinov v okolje, se v letalskem prometu to ne dogaja. Dogaja se ravno nasprotno, saj letalski promet dnevno raste, z njim pa tudi izpusti škodljivih plinov v okolje (David Suzuki Foundation, b.l.).

Dnevni prirast ogljikovega izpusta v okolje je alarmantno. Od leta 1990 do leta 2012 se je izpust povečal za 75 procentov. Znatno naj bi rasel do leta 2050, v kolikor se v letalstvu ne pričnejo uporabljati alternativna pogonska sredstva (David Suzuki Foundation, b.l.).



Slika 28: CO₂ emisije potniškega prometa
(European Environment Agency, 2014)

Po grafu je razvidno, da je letalski potniški promet največji onesnaževalec z ogljikovim dioksidom, glede na razmerje prepeljanih potnikov.



Slika 29: Posledice visoko letečih letal na okolje
(Pinkstone, 2021)

Motor letala visoko na višini izpušča delce vode, ki za letalom kristalizirajo. Ti kristalizirani delci vode se lahko povečajo med seboj in nastane sled delcev v zraku, ki jo s tal vidimo kot belo sled za letalom. Število sledi je odvisno od števila motorjev, ki jih ima letalo, ker vsak motor za seboj pušča svojo sled. Pozitivna stvar teh sledi je, da odbijejo nekaj sončne energije, vendar je ta odboj dokaj zanemarljiv. Od njih pa se odbije velika količina toplote, ki jo oddaja zemlja, kar slabo vpliva na globalno segrevanje.

4.1. LETALSKI HRUP

Pri nekaterih motorjih je velika slabost njihov hrup. Ferdinand in Katrašnik (2015, 227) navajata: "pri turbinskih potisnih motorjih ločimo glede na vir nastanka več vrst hrupa, hrup iztekajočega toka izpušnih plinov, hrup, ki se širi v okolico zaradi vibracij okrova motorja – posebno v področju dovodnika, ventilatorja in kompresorjev, ter hrup, ki je posledica obtekanja (trenja) zraka okoli okrova motorja". Nenehna rast letalskega prometa s tem povzroča veliko težavo in pritisk na okolje (Habjan, 2011).

Letalski hrup je nezaželen zvok, saj je izredno nevaren za naše zdravje, predvsem lahko povzroči okvare sluha. To stanje je še posebno pereče okoli letališč, saj so tu letala blizu tal ali na samem letališču (Federal Aviation Administration, 2021).

Daljša izpostavljenost hrupa, ki presega 85 dB lahko pripelje do trajne okvare sluha. V okolici letališč pa hrup mnogokrat presega 100 dB, še posebno med vzletanjem letal, kjer hrup doseže 155 dB. Prag bolečine ušesa je 130 dB. Da bi se izognili tem težavam, je po večjih letališčih na svetu prepovedano vzletanje v nočnem času, saj ima letalo med vzletom motorje na polni moči, pristajajo pa lahko samo po določenih zračnih koridorjih in samo z ene strani. S tem se nekatera letališča izogibajo večjih naselij (Federal Aviation Administration, 2021). Metode za znižanje ravni hrupa so lahko povezane s samo konstrukcijo motorja, uporabo prevlek na motorju ali izdelavo lopatic ventilatorjev s kompozitnih materialov, ki lahko nadomestijo kovinske dele (Ferdinant in Katrašnik, 2015).

V Sloveniji je to področje hrupa zelo dobro pokrito s Pravilnikom o hrupu zrakoplovov (Pravilnik o hrupu zrakoplovov, 2000). Zaradi teh in drugih pravilnikov so proizvajalci letal in zrakoplovov primorani poiskati bolj tihe in okolju prijazne rešitve za njihove motorje.

Danes morajo vsa letala v Evropski uniji upoštevati standarde za hrup. Izjema so vojaška letala.

4.2. IZPUSTI LETALSKIH MOTORJEV

Največji problem v letalstvu ni zvok, vendar izpuhi motorjev, ki jih letala uporabljajo. Izpuhi iz letalskih motorjev vsebujejo pline in delce kot so: CO₂ (ogljikov dioksid), H₂O (voda), CO (ogljikov monoksid), NO_x (dušikov oksid), SO₂ (žveplov oksid) ter saje in delce kerozina, ki niso izgoreli.

CO₂ (ogljikov dioksid) predstavlja kar 70 % izpusta letalskega motorja. Ogljikov dioksid pa se pomeša v atmosfero z enakim škodljivim učinkom kot CO₂ izpusti iz drugih motorjev, ki uporabljajo fosilna goriva. CO₂ ima v turbinskih motorjih pri izgorevanju razmerje 3,16 kg proizvedenega CO₂ za 1 kg porabljenega goriva. Od vsega oddanega ogljikovega dioksida v ozračje se 30 % odstrani naravno v razponu 30 let, 50 % se odstrani v nekaj 100 letih in 20 % ostane v atmosferi tisoče let (Overton, 2019).

H₂O (vodna para), ki jo oddaja letalski motor je dokaj zanemarljiva in se iz ozračja odstrani v roku 1–2 tednov. Ker je vodna para toplogredni plin, seveda tudi ta vpliva na segrevanje ozračja. Vodna para je tudi razlog, da letala na nebu puščajo sledi, ki izgledajo kot oblaki (Schumann, 2002).

NO_x (dušikov oksid) se proizvede, ko zrak potuje skozi visoko temperaturno/visoko tlačno gorilno komoro in se dušik in oksid združita ter tvorita dušikov oksid. Predstavlja manj kot 1 % izpusta (Federal Aviation Administration, 2005).

SO₂ (žveplov oksid) se proizvede, ko je manjša količina žvepla, ki je prisotna v gorivu združena s kisikom med izgorevanjem motorja (Federal Aviation Administration, 2005).



*Slika 29: Prikaz B52 pri vzletu
(Cenciotti, b.l.)*

Vsi od naštetih plinov so škodljivi za okolje, vendar noben tako kot CO₂, saj ga letalo največ izpusti v zrak. Za primer lahko vzamemo Boeing 747 (Nukina, 2019). Ko je letalo napolnjeno z gorivom prevaža 199,158 litrov goriva. Pri opisu izpušnega plina CO₂ je bilo podano, da za vsak liter goriva, ki ga letalo porabi, nastane 3,16 kg CO₂.

$$199,158 \times 3,16 = 629,339,28 \text{ kg CO}_2$$

Letalo v eni uri porabi 11 ton goriva, kar je 4 litre vsako sekundo.

4 UGOTOVITVE RAZISKAVE

Med raziskavo je bilo ugotovljeno, da je letalski promet izredno velik onesnaževalec okolja. Okolja ne obremenjujejo manjša športna letala, saj imajo le-ta manjše motorje. Velik onesnaževalec so večja potniška letala. Kot primer lahko vzamemo potniško letalo BOEING 747-200, ki ima nameščene 4 turboventilatorske motorje, ki v eni uri porabijo 11 ton goriva. Večje in težje kot je letalo, močnejše motorje potrebuje, da lahko dvigne sebe in tovor, ki ga želi prevažati, večje izpuste proizvede v ozračje.

Tako pri letalih kot pri avtomobilih v prihodnosti strmimo k električnemu pogonu. Medtem, ko so sami električni motorji lažji od batnega ali turbinskega, tu nastane težava s shranjevanjem energije. Teža same baterije, ki je potrebna za shranjevanje energije in doseg, ki ga letalo lahko z njo doseže. Manjše športno letalo, ki tehta 200 kg ima čas letenja 4 ure. Z baterijami se ta čas močno zmanjša, saj je teža samih baterij izredno velika. Pri večjih letalih, ki imajo več kot eden motor, bi bila poraba energije astronomska in s trenutno razvitimi baterijami nemogoča, saj bi teža letala in energija, ki bi bila shranjena v baterijah, močno omejila domet letala.

S tem se odlično spopada podjetje Pipistrel, ki ima na tržišču že več električnih letal. Vendar je zaenkrat to edino uspešno podjetje, ki proizvaja električna letala, tako da je bil dostop do kakršnihkoli načrtov nemogoč.

V prihodnje se ne pričakuje močnega napredka v letalstvu. Zadnji turboventilatorski motor je bil razvit 2016, ki ima samo zmanjšano porabo goriva ter izpust plinov za enako proizvedeno moč. Manjša športna letala bodo ostala pri batnih motorjih, saj so ventilatorski preprosto predragi. Honda je razvila manjše osebno letalo, ki ga poganja manjši turboventilatorski motor, vendar je to letalo v veliki večini cenovno nedostopno. Večja letala pa trenutno nimajo alternative, saj se poleg pandemije zdaj srečujejo tudi z dvigom cen energentov, kar je ustavilo kakršen koli razvoj v letalski industriji, ki je povezan z motorji. Elektro motorji so prihodnost v letalstvu, vendar samo pri športnih oziroma manjših letalih. Pri večjih letalih, ki uporabljajo kakršni koli ventilatorski motor pa se moramo osredotočiti, da te motorje izpopolnimo, da bodo imeli čim boljši izkoristek in čim manjši izpust škodljivih plinov v ozračje.

4.1. DOSEŽKI IN SMERI RAZVOJA SODOBNIH LETALSKIH MOTORJEV

Leta 1903 je prvi motor, ki je bil nameščen v letalo, proizvedel 12 konjskih moči.

Leta 1917 je bil v lovsko vojaško letalo nameščen motor s 160 konjskimi močmi.

Leta 1938 je bil v britansko lovsko letalo nameščen motor s 1500 konjskimi močmi.

Leta 1941 je bil v Nemško vojaško letalo prvič nameščen turboreaktivni motor.

V nadaljevanju je bilo še nekaj prelomnic, vendar so te najbolj pomembne, saj prikazujejo, kako hitro se letalska industrija razvija.

V sodobnem svetu se srečujemo z realizacijo, da je letalski promet vse večji faktor v našem življenju. Tega se zavedajo tudi proizvajalci, ki strmijo predvsem k temu, da je motor čim bolj varčen z gorivom, ki ga uporablja in da dosega minimalne standarde za izpuste in hrup.

Piše se leto 2022, vendar je najnovejši serijsko proizveden turbofan motor, ki je trenutno v uporabi, prišel na trg že leta 2016. Razvilo ga je podjetje General Electric Aircraft, vidimo pa ga na letalu Boeing 787. Motor je General Electric GE9X.

Razvoj letalske industrije in letalskih motorjev samih je izredno hiter. Zaradi dobro varovane baze podatkov letalskih proizvajalcev, glede izboljšav in načina izboljšav, do nje ne moremo dostopati.

4.2. REŠITEV NA PODROČJU ONESNAŽEVANJA V LETALSKEM PROMETU

Ameriški in angleški znanstveniki so v sodelovanju pričeli z razvijanjem nove oblike letala, ki naj bi pomagalo zmanjšati podnebne spremembe (The Cambridge MIT Institute, 2006).

Oblika letala SAX-40 se močno razlikuje od običajne oblike letala. Za razliko od letal, ki smo jih tipično navajeni, ima spojena krila, ki spominjajo na netopirja. Letalo samo povzroča veliko manj hrupa kot trenutno najmodernejša letala, največja prednost pa je do 35 % manjša poraba goriva. Letalo je trenutno le prototip, saj so proizvajalci zelo previdni pri vključevanju novih oblik letal in trenutno prenavljajo in posodablajo le obstoječe vrste (The Cambridge MIT Institute, 2006).



Slika 30: Letalo SAX-40
(Liu, 2013)

V zadnjih 50 letih so proizvajalci motorjev in letal uvedli mnoge spremembe. Začeli so uporabljati lažje materiale za konstrukcijo letala in sestavo motorjev. Povečali so tudi učinkovitost motorjev.

Kako lahko zmanjšajo izpuste letalskih motorjev v okolje. Tukaj se ne pojavlja samo vprašanje goriva, ki ga letalo uporablja ali moč ki jo proizvede. Zelo pomembna je oblika letala. Letalo mora biti čim bolj aerodinamično in pomembno je, da za

poganjanje ne potrebuje velikih močnih motorjev, ki v okolje izpustijo veliko več škodljivih plinov kot manjši motorji istega tipa (Federal Aviation Administration, 2021).

Uporabljati morajo tehnologijo, ki jim je na voljo in ki se še razvija, da bi vsaj v potniškem prometu lahko izkoristili najbolj ekonomične poti od točke do točke. Pri tem veliko vlogo igrajo zamude letal. Če letalo zamudi in vzleti pozno, je to letalo na letališču s prižganimi motorji in čaka na vzlet. Če letalo ne more pristati takoj, ko se približa letališču, to letalo kroži okrog letališča in čaka na dovoljenje za pristanek. V obeh primerih motorji letala obratujejo in onesnažujejo okolje s plini ter povzročajo nepotreben hrup (Habjan, 2011).

Gorivo je velik faktor v letalstvu. Za pogon vseh vrst turbinskih letalskih motorjev se uporablja KEROZIN. Kerozin je brezbarven in vnetljiv ogljikovodik, ki se pridobiva z destilacijo surove nafte. Je tekoča frakcija z vreliščem od 150 °C do 300 °C. Uporablja se kot gorivo za reaktivne, turbopropelerske, turboventilacijske in turbogredne motorje. Batni motorji pa uporabljajo visoko oktansko gorivo (Federal Aviation Administration, 2018).

Trenutno najbolj čista vrsta energije za pogon letalskih motorjev so prav električni motorji, ki v ozračje ne oddajajo drugih emisij kot le toplote.

5 ZAKLJUČEK

Od prvega poleta leta 1903 smo prišli daleč. Razvili smo več vrst letalskih motorjev in oblik letal, na katere te motorje pritrdimo. Ugotovili smo, da mora biti motor letala zelo lahek in je lahko vodno ali zračno hlajen. Prevladujeta dva glavna tipa letalskih motorjev. Batni letalski motorji in ventilatorski motorji. Ti motorji so po svoji uporabnosti nameščeni na različna letala. Batni motorji se uporabljajo po večini samo še na starejših letalih ali manjših športnih letalih, večja letala pa uporabljajo turbinske motorje, saj proizvedejo več moči.

Po drugi svetovni vojni se je veliko vojaških letal, ki so bili v vojaški uporabi preuredilo v civilno uporabo. Poleg teh letal je bilo razvitih kar nekaj takrat zelo modernih potniških letal. Vse to je pripeljalo do izredno velikega števila letal, ki razen zahtev, ki jih mora letalo izpolnjevati, niso bila regulirana z izpusti v ozračje, saj se prvih 50–70 let v letalstvu ni dajalo posebne pozornosti ekologiji.

Problem ekologije izpustov letalskih motorjev ni nov in je prisoten od prvega poleta 1903. Velik negativni vpliv na okolje pa ima tudi letalski hrup, tako da so največji onesnaževalci okolja vojaška lovska letala, vendar jih v primerjavi z večjimi potniškimi letali ni veliko na nebu. Da bi zmanjšali hrup na letališčih, se veliko letal v skrbi za hrup in za varčevanje goriva poslužuje metode, da se po letališču premikajo samo z enim prižganim motorjem, motor pa prižge tik pred vzletom (na vzletni rampi).

Letalski promet in onesnaževanje kot njegova posledica sta se že močno razširila, zato je potrebno, da v prihodnje najdemo rešitev. Kljub tehnološkim napredkom pa se poraja največje vprašanje, kaj bo v prihodnosti bolj pomembno, vpliv hrupa ali izpust toplogrednih plinov v okolje?

6 VIRI IN LITERATURA

Adminsarin (2020). *Jet.voyage*. Pridobljeno 27. 11. 2021 z naslova <https://jet.voyage/sl/slkomercialni-letalski-prodaja-boeing-747-boeing-747-400-prodaja-novih-in-rabljenih-boeing-747-boeing-747-400/?fbclid=IwAR2jYzkbUx3VdRAYmouhrDMIW7jrgpFSnaYhIGlltpte4A2wrMAvAR3h6ok>.

Aerocorner Editorial Team (b.l.). „*The 5 Main Types of Aircraft Jet Engines*.“ *Aerocorner*. Pridobljeno 10. 12. 2021 z naslova <https://aerocorner.com/blog/type-of-aircraft-engines/#2-turbojet-engine>.

Alejandro, D. in Rosana, J. (2006): *Tu144, Technical specs; Power plant*. Pridobljeno 20. 12. 2021 z naslova http://www.tu144sst.com/techspecs/powerplant.html?fbclid=IwAR3KqII-rYR-XXHvwloCr_N_J7I0TbllhC3MKGuBjXFFOWHayGYuV4P0ko8.

Ames, D. (2016). *The truth about rotaries*. Historynet. Pridobljeno 10. 12. 2021 z naslova https://www.historynet.com/the-truth-about-rotaries/?fbclid=IwAR2E0RsltaNzMchQfs17Tte7L02CqDfM_qCF8BR1CCa1m_0MsEEURCGcwoM.

Andrews, J. P. (2019). *The Development of Jet Engines*. Understanding the Social Significance of Scientific Discovery. Pridobljeno 20. 12. 2021 z naslova https://www.encyclopedia.com/science/encyclopedias-almanacs-transcripts-and-maps/development-jet-engines?fbclid=IwAR3fzo2Pt_SVTNCRJ5eaz2vwICVxCG9AKmQRRaJFUIzxJZMvCvVBnYEDvzo.

Aviator (2019). *Aviator*. Pridobljeno 27. 11. 2021 z naslova <https://newsroom.aviator.aero/grand-opening-of-xeos-aircraft-engine-service-centre/?fbclid=IwAR3KVg7yXRYld3UoJMUKQ11LLwxrILqExKnQNYJBZGSD0hqVof2qoP6FcA>.

Cantwell, B. J. (2010). *Aircraft and rocket Propulsion*. California: Stanford University. Pridobljeno 27. 11. 2021 z naslova http://mae-nas.eng.usu.edu/MAE_6530_Web/subpages/Fundamentals%20of%20Aircraft%20and%20Rocket%20Propulsion.pdf.

Camden Miniature Steam Services (1997), reprinted from Air Board Technical Notes, RAF Air Board, 1917.

Cenciotti D (b.l.) Pridobljeno 20. 2. 2022 z naslova

https://www.pinterest.com/pin/37506609368674876/?fbclid=IwAR2FFlgPV825pEQJ JABAO2Q70cPJK758YUBEmfQe2yW7vDUT3AYCBm_xoHA.

Cleghorn D (2013). „*Incredible Homemade Rotary Engine.*“ *Model Airplanes news*. Pridobljeno 27. 11. 2021 z naslova https://www.modelairplanenews.com/incredible-scratch-built-rotary-engine/?fbclid=IwAR27dq0rbc_Sza9JoaOkcqsnVDInqhbyPki5Jq0Muh4b7mCor8HA0jkNfU.

Čertič Ž (2008). „*Delovanje motorja .*“ *Monitor*. Pridobljeno 14. 10. 2021 z naslova [https://www.monitor.si/clanek/uglasevanje-jeklenih-konjickov/123029/..](https://www.monitor.si/clanek/uglasevanje-jeklenih-konjickov/123029/)

David Suzuki Foundation (b.l.). *Air travel and climate change*. David Suzuki Foundation. Website by Briteweb. Pridobljeno 1. 5. 2022 z naslova https://david Suzuki.org/living-green/air-travel-climate-change/?fbclid=IwAR2Z2CzDMd6gGtqWhMVSviFmDquU4RSohwKxIhNxNQnCY-kDSc9JFB1_7so.

Deano (2016). „*Under the Cowl of the Flying Heritage Collection FW-190A-5.*“ *Acess Flying High*. (13. maj 2016). Pridobljeno 10. 12. 2021 z naslova https://acesflyinghigh.wordpress.com/2016/05/13/under-the-cowl-of-the-flying-heritage-collection-fw-190a-5/?fbclid=IwAR0obcQmxXVvz_ToXgG4qza-oyU-GaVJ9aWUZKrwUwtuf5LTQBy5HQiKGtk.

Ebeling (2006). „*Protibatni motor.*“ *Wikipedija*. Pridobljeno 27. 11. 2021 z naslova https://sl.wikipedia.org/wiki/Protibatni_motor?fbclid=IwAR0p40LSTCzOKhLD8usM3-BDflqFHlyvR0BD2fpmuWy4b4qm_nUlujQehjc.

Encyclopædia Britannica (2012). Pridobljeno 27. 11. 2021 z naslova <https://www.britannica.com/technology/turbojet>.

European Environment Agency (2014). Pridobljeno 1. 5. 2022 z naslova https://www.eea.europa.eu/media/infographics/co2-emissions-from-passenger-transport/image/image_view_fullscreen?fbclid=IwAR1WCsfbt65dKX02ldVAe1XINvlq pQCCQv0JszkGmQBODcNoeLbjPlyBuvC.

Europop International (b.l.). *Europop*. Pridobljeno 27. 11. 2021 z naslova <http://www.europop-int.com/the-tp400-d6/?fbclid=IwAR3DjvJTLQeQ6GsnGRZcAYkL1bcfeUeipi7xHrSnHUImfZnKgs13pvkCsn4>.

Federal Aviation Administration (2018). *Approval of Propulsion Fuels, Additives, and Lubricating Oils*. Pridobljeno 15. 3. 2022 z naslova

https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory_Circular/AC_20-24D_Chg_1.pdf?fbclid=IwAR14QrxwA5azA2kCfrollY_31ymDPiRPrQubonZGtB2e-jPiBo5og5lrUZQ.

Federal Aviation Administration (2021). *Overview of FAA Aircraft Noise Policy and Research Efforts: Research Activities to Inform Aircraft Noise Policy.* Pridobljeno 15. 3. 2022 z naslova <https://www.regulations.gov/document/FAA-2021-0037-0001>.

Flight Instructor Guide (b.l.). „*Propeller-Torque Reaction.*“ *The Physics Of Aerobatic Flying.* b.l. Pridobljeno 10. 12. 2021 z naslova http://ffden2.phys.uaf.edu/webproj/211_fall_2016/Collin_Lasley/collin_lasley/torque.html?fbclid=IwAR2L2zu8jgeNAWCc-lf2qFUtdrSfW0NNXJOeK9WwYkEyOzCIPI0c5PZDOZg.

Flight Mechanics (b.l.). *Types of engine.* Pridobljeno 10. 12. 2021 z naslova https://www.flight-mechanic.com/types-of-engines/?fbclid=IwAR1JNDU3EvJNsWexMs0OKOWRLbLPrclqNkvc4y_EYZU6wQiLbcFPEoKLe3o.

Flint, J. in Pirault, M. (2010). *Opposed Piston Engines - Evolution, Use, And Future Applications.* eBook. Pridobljeno 27. 11. 2021 z naslova <https://vdoc.pub/documents/opposed-piston-engines-evolution-use-and-future-applications-6kkpk2rumns0>.

Galante, N. (2003). *NASA.* Pridobljeno 10. 12. 2021 z naslova <https://www.nasa.gov/vision/earth/technologies/solarFarm.html>.

Habjan, R. *Vpliv letališča Jožeta Pučnika na okolico; diplomsko delo.* Višja strokovna šola B&B. 2011, Pridobljeno 10. 12. 2021 z naslova https://bb.si/f/docs/diplomskadela/habjan_rok_1.pdf.

Hepperle, M. (2012). *Electric Flight – Potential and Limitations.* *Institute of Aerodynamics and Flow Technology.* Pridobljeno 20. 2. 2022 z naslova https://www.researchgate.net/publication/234738753_Electric_Flight_-_Potential_and_Limitations/link/0c960532aefec235d6000000/download.

Hetman, K. P. (2017). „*Aero Engines - Inline Engines.*“ *Polot.* Pridobljeno 10. 12. 2021 z naslova https://www.polot.net/en/aero_engines_inline_engines_part_5.

Kellner, T. (2016) *We've Got An Exclusive Look At Boeing's Brand New 737 MAX Jet.* Pridobljeno 25. 2. 2022 z naslova

https://www.ge.com/news/reports/weve-got-an-exclusive-look-at-boeing-brand-new-737-max-jet?fbclid=IwAR3OKg_5-KYCr_mD5Vr1ChQsUEsujFYsBxY1D6weQn6P8u-jv1Vh8k1NzYk .

Liu, Y. (2013). *Research gate. Sax-40* Pridobljeno 30. 10. 2021 z naslova https://www.researchgate.net/figure/Silent-Aircraft-eXperimental-design-SAX-40_fig1_281269726?fbclid=IwAR3CF_Z9HDb7R-Yve12kb6cZzHvo0C6oWLi5b0McoqlaJp_jCy588NJv34k.

Military Factory (2019) . „*AEG D.I. Military Factory*. Pridobljeno 10. 12. 2021 z naslova https://www.militaryfactory.com/aircraft/detail.php?aircraft_id=1780&fbclid=IwAR3TTrvddpnraYujxHwkORyDSdOG8Fe7WAZiRYBy-s1AYDnGOgA1fVW-ps.

Military Factory (b.l.): *Inline Engine-Powered Aircraft*. Pridobljeno 10. 12. 2021 z naslova <https://www.militaryfactory.com/aircraft/inline-engine-powered-aircraft.php>.

NASA (2014) *Armstrong Fact Sheet: Pathfinder Solar-Powered Aircraft*. Pridobljeno 25. 2. 2022 z naslova <https://www.nasa.gov/centers/armstrong/news/FactSheets/FS-034-DFRC.html>.

National Museum of the US Navy (2015). *Wikimedia commons*. Pridobljeno 10. 12. 2021 z naslova https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kaman_K-225_-_330-PS-2417_%28USN_708453%29_%2818160147725%29.jpg.

National Park Service (2015). *Wright Brothers; 1903-The First Flight. National Memorial North Carolina*. Pridobljeno 14. 10. 2021 z naslova <https://www.nps.gov/wrbr/learn/historyculture/thefirstflight.htm>.

National Park Service (2017). „*The Wright Flyer*.“ *National Park Service, U.S. Department Interior*. Pridobljeno 14. 10. 2021 z naslova <https://www.nps.gov/articles/wrightflyer.htm?fbclid=IwAR2ytQ8pT7GQhKTJ3vanNQnM4EozWPnqqpEwIHGADQ7n5ehDgeyRv8sjv-Y..>

Cummins, N. (2020). *Simpleflying*. Pridobljeno 27. 11. 2021 z naslova . <https://simpleflying.com/coronavirus-boeing-777x/>.

Nukina, K (2019). *Boeing 747: Weight, Length, Range, Wingspan & Other Specs*. Pridobljeno 2. 5. 2022 z naslova <https://knaviation.net/boeing-747-specs/>..

Overton, J. (2019). *Fact Sheet | The Growth in Greenhouse Gas Emissions from Commercial Aviation*. Environmental and Energy Study Institute.

Pridobljeno 1. 5. 2022 z naslova https://www.eesi.org/papers/view/fact-sheet-the-growth-in-greenhouse-gas-emissions-from-commercial-aviation?fbclid=IwAR2eK3iYERglCeobwAO2dMWtZU8_Dp2TcyzQ4cwy79kyuGa8AjkvfUW_O-0.

Parker, J. (2021). „Supermarine Spitfire F Mk.IX MH603.“ *Warbird Digest Magazine*. Pridobljeno 10. 12. 2021 z naslova <https://warbirdsnews.com/warbird-restorations/supermarine-spitfire-f-mk-ix-mh603-restoration-update-november-2021.html?fbclid=IwAR0XiksZPiyRv48J4TKXQh4QaYmWqJ79uFxc83TREQG-KFSgmiYmtUdVSnQ>.

Richter, P. (2009). „File:Le Rhone 9C.jpg.“ *Wikipedia*. Pridobljeno 27. 11. 2021 z naslova https://en.wikipedia.org/wiki/File:Le_Rhone_9C.jpg?fbclid=IwAR2d5bz4sBAaFUrk2cEH3NmGieh6-g4ZzLWwjYaFvgl3ihL97a5HPTKQ_s4.

Pinkstone, J. (2021). *Dailymail*. Pridobljeno 1. 5. 2022 z naslova <https://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-9461243/British-company-building-software-eradicate-contrails.html>.

Planephotos (b.l.). *Bells official website*. Pridobljeno 10. 12. 2021 z naslova <https://plane-crazy.k-hosting.co.uk/Aircraft/Jets/Me262/me262.htm>.

Podgoršek, B. (2007). *sierra5.net*. Pridobljeno 27. 11. 2021 z naslova <https://sierra5.net/sistemi-oborozitev/letalski-motorji/turbogredni-motorji..>

Podgoršek, B. (2007b). *sierra5.net*. Pridobljeno 27. 11. 2021 z naslova https://sierra5.net/sistemi-oborozitev/letalski-motorji/turbovijacni-motorji?fbclid=IwAR14fLdUjHH8LZ4432AXw4HoIO19FqDrAMS0GJqQuj_DsIk0PcQHrMEzj-o.

Podgoršek, B. (2007c) *sierra5.net*. Pridobljeno 27. 11. 2021 z naslova <https://sierra5.net/sistemi-oborozitev/letalski-motorji/turboventilatorski-motorji>.

Podgoršek, B. (2007d) *sierra5.net*. Pridobljeno 27. 11. 2021 z naslova <https://sierra5.net/sistemi-oborozitev/letalski-motorji/statoturboreakcijski-motorji-ramjet?fbclid=IwAR1WCSfbt65dKX02ldVAe1XINvlqpQCCQv0JszkGmQBODcNoelbjPlyBuvc>.

Pravilnik o hrupu zrakoplovov (2000). Uradni list RS, št. 55/00, 18/01 – ZLet, 40/04 in 75/08. Pridobljeno 20. 2. 2022 z naslova <http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=PRAV2866>.

Rodriguez, C. L (2015). Piston Engine, aviation maintenance technician certification series. USA: Aircraft technical book company. 2015. Poglavje 1 str 13.

Rutkowski, A. (b.l.) *Andrzej Rutkowski Fotografia Lotnicza* Pridobljeno 10. 12. 2021 z naslova http://www.photo-plane.com/index.php/pl/portfolio/58?fbclid=IwAR2s9HrP3x9X_Y_kQo2vosUDRQkK0TQ6B0N74u6oslsqe6dtiOFOu2rKV9s.

Schumann, U (2002). *Aircraft Emissions*. Volume 3, Causes and consequences of global environmental change. Pridobljeno 1. 5. 2022 z naslova https://www.researchgate.net/publication/225010745_On_the_Effect_of_Emissions_from_Aircraft_Engines_on_the_State_of_the_Atmosphere.

Smithsonian National Air and Space Museum (b.l.). *Inventing a Flying Machine 1903; Engine*. Pridobljeno 14. 10. 2021 z naslova <https://airandspace.si.edu/exhibitions/wright-brothers/online/fly/1903/engine.cfm..>

Švarc, A. (2020). Rotacijski motor je poganjal prvo svetovno vojno. Pridobljeno 10. 12. 2021 z naslova <http://avtomanija.com/default.asp?rb=7&id=349>.

Trenc, F. in Katrašnik, T. (2015). *Letalski motorji*. Ljubljana: Fakulteta za strojništvo, Univerza v Ljubljani.

Trenc, F. in Katrašnik T. (2020). „Kako deluje letalski motor.“ *strojnik.si*. 6. Pridobljeno 10. 12. 2021 z naslova https://strojnik.si/blog-clanki/kako-deluje-letalski-motor/?fbclid=IwAR3u5aTrJeHqXW_xzYSRshaZY1sw3tbou0RgAy_3gGKOGK5QUsFnGzXopw.

Twombly, J. L (2014). *Technique Left turning Tendencies*. Pridobljeno 10. 12. 2021 z naslova <https://www.aopa.org/news-and-media/all-news/2014/october/flight-training-magazine/technique--left-turning-tendencies?fbclid=IwAR07jmOx4BNNqkou1OcHYxaCU-jwd-VVoShHFLetf0W5lioIUfgTPGlcQkc>.

The Cambridge MIT Institute (2006). *The 'Silent' Aircraft Initiative*. Pridobljeno 14. 10. 2021 z naslova http://silentaircraft.org/?fbclid=IwAR00DDKZMzyidNDUI_1WVpNJVwh09aTLpcyQ-aGBfxdSonV6L3mrNsEf6s..

Udris, A (2015). *How Does A Radial Engine Work?* Pridobljeno 10. 12. 2021 z naslova <https://www.boldmethod.com/learn-to-fly/aircraft-systems/radial-engine/>

Unique cars and parts (b.l.): History of the V8 Engine.

Pridobljeno 27. 11. 2021 z naslova
https://www.uniquecarsandparts.com.au/history_v8_engine.

Wikipedija (2005). „Rolls-Royce Merlin.“ *Wikipedija*. Pridobljeno 27. 11. 2021 z naslova https://sl.wikipedia.org/wiki/Rolls-Royce_Merlin..

Wikipedia (2014). GT 101 gas turbine engines for use in Panther tanks.

Pridobljeno 20. 12. 2021 z naslova <http://lurch2.blogspot.com/2014/11/gt-101-gas-turbine-engines-for-use-in.html>.

Wygonik, P. (2014). Criteria for the assessment of the engine efficiency of the multi purpose aircraft missions. *Journal of Kones powertrain and Transport*. 2014. .