



## **Středoškolská technika 2025**

**Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT**

# **Konstrukce proudového motoru**

**Tomáš Příbyl, Mikuláš Kodl, Martin Sobola**

Gymnázium Jana Nerudy, škola hlavního města Prahy  
Hellichova 3/457, Praha 1, 118 00

# Poděkování

Tímto bychom rádi vyjádřili naše poděkování panu Mgr. Kamilu Cinkrautovi za vedení naší práce, jeho cenné rady, trpělivost, a hlavně také čas, který nám při tvorbě věnoval.

Dále bychom rádi poděkovali panu Ing. Janu Kubatovi a Ph.D. Janu Slanci z VZLÚ a také Ing. Radku Hýblovi z Hybl Turbines, s kterými jsme stavbu našeho motoru konzultovali, za jejich čas, ochotu a pomoc při plánování našeho motoru.

# Čestné prohlášení

„Tímto prohlašujeme, že jsme na této práci pracovali samostatně pod vedením vedoucího práce, a že veškerá použitá literatura byla uvedena v seznamu zdrojů.“

Martin Sobola....., Mikuláš Kodl....., Tomáš Příbyl.....

V Praze dne XX.YY.2025

# Anotace

Naše ročníková práce na téma "Proudové motory" se v první kapitole teoretické části zabývá principem jejich fungování a samotnou stavbou. V druhé kapitole navážeme praktickým využitím takového motoru. V poslední části vás poté seznámíme se stručnou historií vývoje a inovací proudových motorů.

V praktické části jsme si stanovili za cíl postavení proudového motoru vlastní výroby. A provedeme vás procesem samotné stavby.

Our thesis on the topic "Jet engines" looks in the first chapter of the theoretical part on the principles of their operation and their construction. In the second part we will follow up with the practical application of an engine. In the last section we will introduce you to a brief history of the development and innovation of jet engines.

In the practical part, we set ourselves the goal of building a jet engine by ourselves. And we will guide you through the actual building process.

# Obsah

|                                                      |    |
|------------------------------------------------------|----|
| Úvod .....                                           | 7  |
| 1. Princip fungování proudového motoru .....         | 8  |
| 1.1. Komponenty proudového motoru .....              | 8  |
| 1.1.1. Kompresor .....                               | 9  |
| 1.1.2. Spalovací komora .....                        | 10 |
| 1.1.3. Turbína .....                                 | 12 |
| 1.1.4. Výfuk .....                                   | 12 |
| 2. Aplikace proudových motorů .....                  | 15 |
| 2.1. Aplikace v letadlech .....                      | 15 |
| 2.1.1. Jednoproudový motor .....                     | 15 |
| 2.1.2. Dvouproudový motor .....                      | 15 |
| 2.1.3. Turbovrtulový motor .....                     | 16 |
| 2.2. Aplikace v řízených střelách .....              | 16 |
| 2.2.1. Náporový motor .....                          | 16 |
| 2.2.2. Náporový motor s nadzvukovým spalováním ..... | 17 |
| 2.3. Aplikace ve vlakové dopravě .....               | 17 |
| 2.3.1. M-497 .....                                   | 18 |
| 2.3.2. Rohr aerotrain .....                          | 18 |
| 2.3.3. SVL .....                                     | 18 |
| 2.4. Aplikace v automobilech .....                   | 19 |
| 2.4.1. Thrust SSC .....                              | 19 |
| 3. Historie proudových motorů .....                  | 20 |
| 3.1. První proudové motory v UK .....                | 20 |
| 3.2 První proudové motory v Německu .....            | 21 |
| 3.3. Poválečný vývoj .....                           | 23 |
| 3.3.1. Nadzvukové lety .....                         | 23 |
| 3.4. Současnost .....                                | 24 |
| 4. Praktická část .....                              | 25 |
| 4.1 Plány .....                                      | 25 |
| 4.2 Průběh konstrukce .....                          | 26 |
| 4.2.1 Olejový systém .....                           | 26 |
| 3.2.2 Spalovací komora .....                         | 27 |
| 3.2.3. Kompletace motoru .....                       | 29 |
| 4.3. Běh motoru .....                                | 31 |
| 4.3.1. Startování .....                              | 31 |
| 4.3.2 Volnoběh .....                                 | 32 |
| 4.3.3 Zastavení .....                                | 32 |
| Závěr .....                                          | 33 |



# Úvod

Proudový motor je zařízení, které funguje na principu vytváření tahu. Je tvořena 4 hlavními komponenty – kompresor, spalovací komora, turbína a výfuk. Toto zařízení prošlo dlouholetým vývojem počínaje 30. léta minulého století. V dnešní době se využívá v široké škále nejen dopravních prostředků.

V naší práci se zaměřujeme na samotný princip fungování tohoto motoru a popisem hlavních komponentů tohoto stroje. Následně se zabýváme jeho aplikací a historickým vývojem v letecké dopravě.

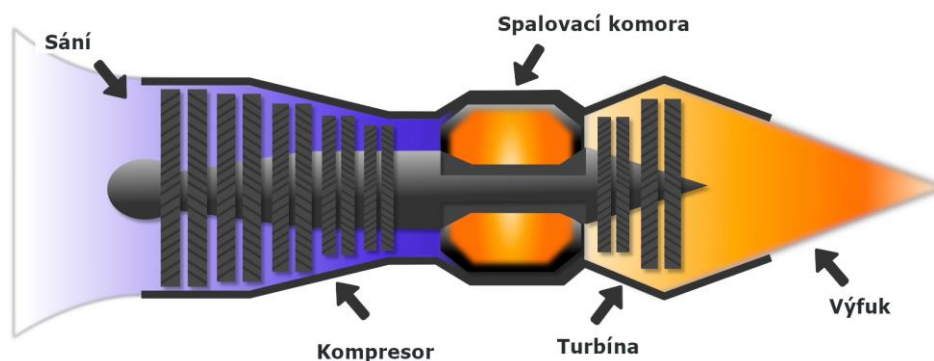
Jako praktickou část jsme zvolili vlastnoruční sestavění motoru na podobné bázi z automobilového turba a námi sestrojených součástí. Chceme docílit samotného spuštění a několika testů, zdali motor opravdu funguje.

# 1. Princip fungování proudového motoru

Proudový motor je typ motoru, fungující na principu produkce tahu, který na základě Newtonova zákona o akci a reakci následně tlačí motor dopředu. Z motoru vychází velké množství rychle proudícího vzduchu (tah), což tvoří akci a síla pohybující samotným motorem dopředu reakci. Jedním ze základních znaků proudového motoru je, že všechny děje, které probíhají v např. pístovém spalovacím motoru po částech (tj. sání, komprese, spalování, expanze, výfuk), probíhají v proudovém motoru současně a stále po celou dobu jeho provozu.

## 1.1. Komponenty proudového motoru

Rozdělení proudového motoru se může lišit u různých typů. Avšak pro většinu proudových motorů je společný tento průběh. Do kompresoru vstupuje nasátý vzduch z vnějšího prostředí a dochází zde k jeho stlačení, vzduch poté pokračuje do spalovací komory, kde je smísen s palivem a zapálen. Horký vzduch je vedený skrz turbínu, kterou roztáčí a zároveň zde dochází k jeho dekompresi. Kola turbíny jsou připojena na hřídeli společné i pro difuzér a větrák. Z turbíny vzduch vychází výfukem ven z motoru, což způsobuje již zmíněný tah. Jednotlivé komponenty si teď rozebereme do detailu.



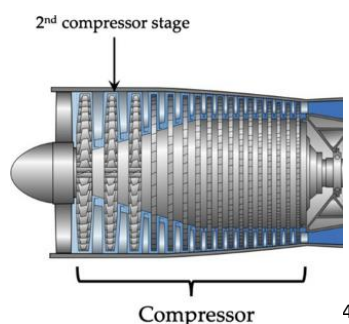
Obrázek 1 – Komponenty proudového motoru<sup>1</sup>

<sup>1</sup> How Does a Jet Engine Work? Understanding the 6 Main Types [online]. [cit. 2025-03-07]. Dostupné na World Wide Web: <<https://i0.wp.com/pilotswhoaskwhy.com/wp-content/uploads/2024/04/1440P-2K-17.png?ssl=1>>

### 1.1.1. Kompresor

Úlohou kompresoru, jak bylo již zmíněno, je, hned po vstupu vzduchu do motoru, zvýšení jeho tlaku (tudíž komprese) za účelem lepší efektivity spalování, tvorby většího tahu a také zvýšení efektivity při roztáčení turbíny. Na základě typu jejich konstrukce se kompresory dělí na axiální (osové) a radiální (odstředivé).<sup>2</sup>

Osový kompresor je soustavou statických a rotujících kol nebo pouze rotujících kol, která jsou osazena velkým množstvím lopatek. Vzduch je kompresorem tlačěn do čím dál menšího prostoru, což vede k jeho kompresi. Jelikož jeden set statického a rotujícího kola nestačí k potřebné kompresi, mývají proudové motoru těchto setů 10-15.<sup>3</sup> Tento typ motorů bývá běžný ve větších motorech, díky lepší kompresi a schopnosti vést větší množství vzduchu oproti radiálnímu kompresoru.



Obrázek 2 - Axiální (osový) kompresor

Odstředivý kompresor je výrazně kompaktnější variantou, protože obsahuje pouze jedno kolo, které tlačí vzduch k jeho vnějšímu okraji, během čehož zvyšuje jeho tlak a rychlost. Nevýhodou tohoto typu je, že komprese vzduchu nedosahuje takové efektivity jako u axiálního. Výhodou je však naopak jeho již zmíněná kompaktnost, proto se tento druh kompresoru vyskytuje především u menších motorů.

<sup>2</sup> Konstrukce proudových motorů [online]. [cit. 2025-03-09]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.leteckemotory.cz/teorie/teorie-03.php>>

<sup>3</sup> Compressor [online]. [cit. 2025-03-09]. Dostupné na World Wide Web: <<https://engineering.purdue.edu/~propulsi/propulsion/jets/basics/comp.html>>

<sup>4</sup> Failure Analysis of a Fighter Jet Engine Compressor Blade Due to Foreign Object Damage and High-Cycle Fatigue [online]. [cit. 2025-03-09]. Dostupné na World Wide Web: <[https://media.springernature.com/lw685/springer-static/image/art%3A10.1007%2Fs11668-021-01195-7/MediaObjects/11668\\_2021\\_1195\\_Fig1\\_HTML.png](https://media.springernature.com/lw685/springer-static/image/art%3A10.1007%2Fs11668-021-01195-7/MediaObjects/11668_2021_1195_Fig1_HTML.png)>

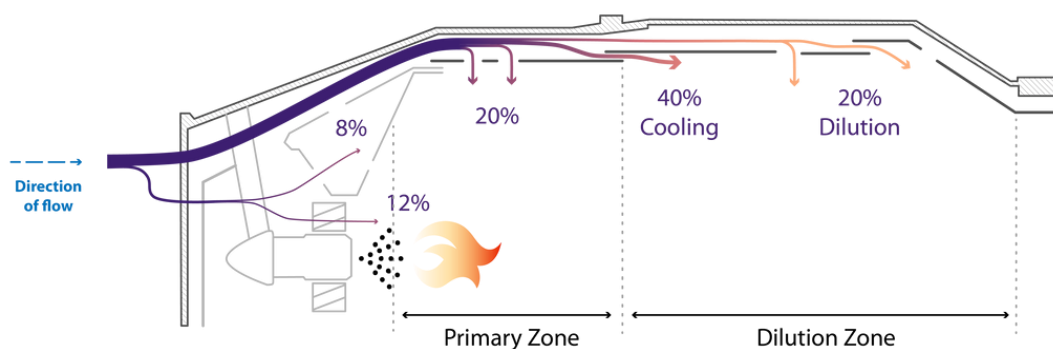


5

Obrázek 3 - Radiální (odstředivý) kompresor

### 1.1.2. Spalovací komora

Stlačený vzduch do spalovací komory vstupuje ve vysoké rychlosti, k docílení efektivního spalování však musí být zpomalen, čímž je jeho tlak ještě zvýšen. Samotného spalování se poté zúčastní zhruba 20 % vzduchu, který vstupuje do tzv. primární spalovací zóny, zbylých 80 % pokračuje okolo spalovací komory, kde zajišťuje chlazení. V primární spalovací zóně je vzduch rozvířen přidáním dalších 20 % vzduchu, smíchan s palivem a bezprostředně poté dochází k jeho vzplanutí. Tím vzduch ve spalovací komoře motoru rapidně expanduje a je tlačěn k turbíně. Jelikož plamen může na konci primární zóny dosahovat teploty až 2000°C musí být zchlazen před přejitím do turbíny. Toto chlazení zajišťuje zbylých 60 % vzduchu, který je postupně vpuštěn do spalovací komory v tzv. “ředící zóně”.



6

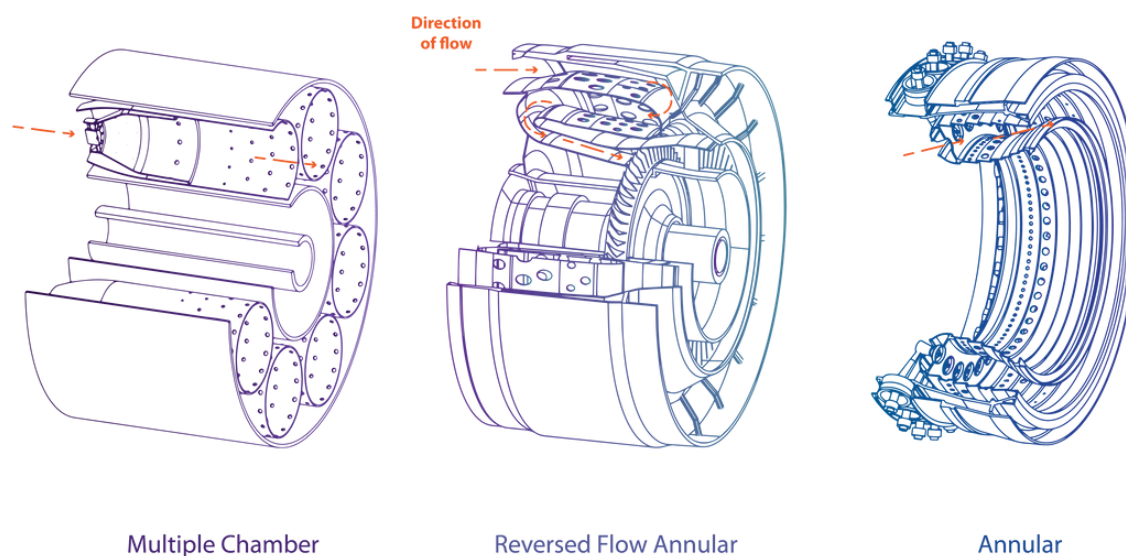
Obrázek 4 - Proudění vzduchu spalovací komorou

<sup>5</sup> Centrifugal Air Compressors [online]. [cit. 2025-03-09]. Dostupné na World Wide Web:

<<https://www.chreed.com/wp-content/uploads/2018/04/Centrifugal-Air-Compressor-Propeller.jpg>>

<sup>6</sup> Combustion Chambers [online]. [cit. 2025-03-09]. Dostupné na World Wide Web: <[https://www.jet-x.org/uploads/4/0/3/9/40399345/air-distribution-01\\_orig.png](https://www.jet-x.org/uploads/4/0/3/9/40399345/air-distribution-01_orig.png)>

Spalovací komory se dělí na 3 základní typy: Trubková, Smíšená a Prstencová.



Obrázek 5 - Druhy spalovacích komor

U trubkové spalovací komory (multiple chamber) jsou spalovací komory válcového tvaru umístěné okolo hřídele motoru a vzduch je do nich doveden pomocí trubek. Jednotlivé komory jsou propojeny, aby bylo zajištěno rovnoměrné rozložení tlaku a aby se plamen mohl mezi komorami rozšiřovat, což je klíčové při startu motoru.

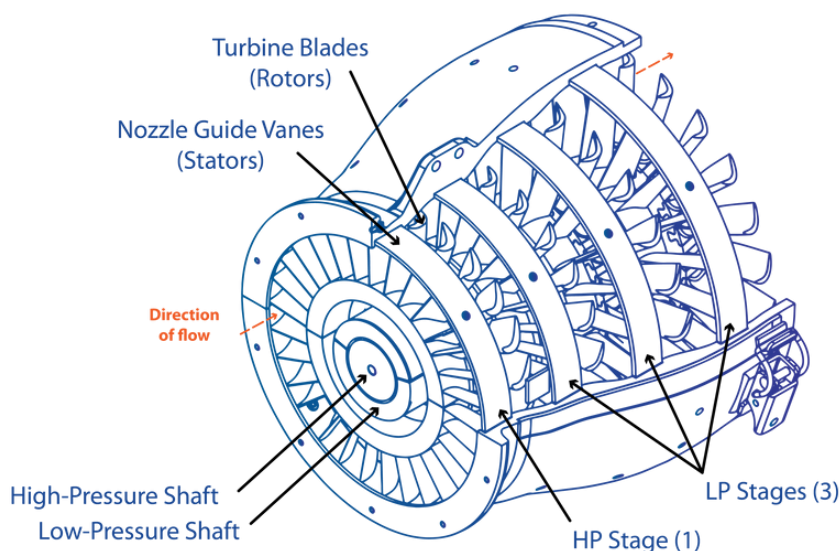
Smíšená spalovací komora (reversed fuel annular) je kombinací prstencového a trubkového typu, také je rozložena do jednotlivých komor, které se ale všechny nachází ve společném pouzdře.

Prstencová spalovací komora (annular) je jednotná komora prstencovitého tvaru, jejíž hlavní výhodou je jednodušší chlazení, lepší rozložení vzduchu díky pravidelnému tvaru, a také snadnějšímu šíření plamene v komoře. Tento typ je využíván ve všech moderních motorech s komerčním využitím.

<sup>7</sup> Combustion Chambers [online]. [cit. 2025-03-09]. Dostupné na World Wide Web: <[https://www.jet-x.org/uploads/4/0/3/9/40399345/chamber-types-01\\_orig.png](https://www.jet-x.org/uploads/4/0/3/9/40399345/chamber-types-01_orig.png)>

### 1.1.3. Turbína

Ze spalovací komory prochází vzduch turbínou, kterou roztáčí, což, jak již bylo zmíněno, zajišťuje pohon pro kompresor a sání. Turbína se stejně jako kompresor skládá z několika rotujících a statických nebo pouze rotujících kol, která jsou osazena lopatkami. Vzduch to turbíny přichází při velké teplotě, což by mohlo způsobit natavení materiálu turbíny. Jelikož rychlost turbíny dosahuje až 25 000 rpm, toto natavení by poté mohlo mít katastrofické následky. Proto jsou po celém pouzdru turbíny nachází otvory, kterými vzduch proudící okolo vstupuje dovnitř a ochlazuje ji. Kola turbíny se postupně zvětšují (viz. Obr. 6), díky čemuž se tlak vzduchu snižuje ještě před opuštěním motoru. Turbína bývá většinou vyrobena z poniklované oceli, která má dobrou tepelnou odolnost.



8

Obrázek 6 - Turbína

### 1.1.4. Výfuk

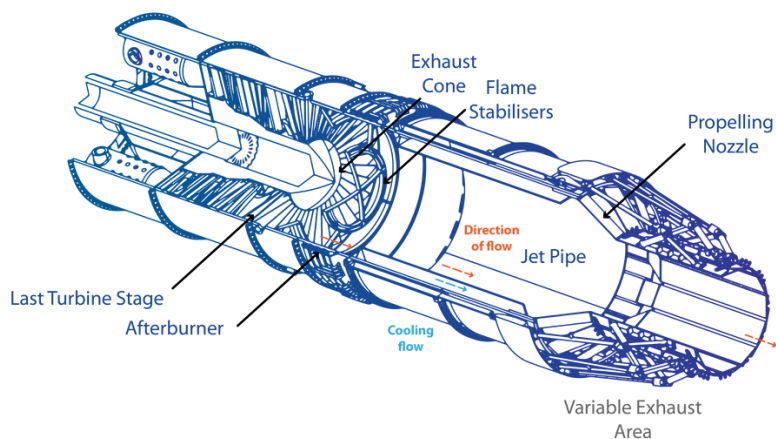
Výfuk se značně liší u jednotlivých typů proudových motorů. Pokud se jedná o motory pro komerční využití, jedná se pouze o jednoduché zúžení na konci motoru, kdy je vzduch zrychlován a při opuštění motoru tvoří podle zákona akce a reakce sílu, pohybující motorem vpřed.

<sup>8</sup> Turbines [online]. [cit. 2025-03-09]. Dostupné na World Wide Web: <[https://www.jet-x.org/uploads/4/0/3/9/40399345/turbine-01\\_1\\_orig.png](https://www.jet-x.org/uploads/4/0/3/9/40399345/turbine-01_1_orig.png)>



Obrázek 7 - Výfuk motoru na komerčním letadle

U některých motorů je však výfuk doplněn o tzv. afterburner. Afterburner je využíván především u stíhacích letounů, nikoliv však u komerčních letadel, kvůli zvýšené spotřebě a hluku. V prostoru mezi turbínou a výfukem je totiž se vzduchem smícháno další palivo, které je po výstupu do výfukové části opět spáleno právě afterburnerem, čímž se zvýší tah motoru. Toto se však nevyužívá po celou dobu letu právě díky již dříve zmíněné spotřebě.



10

Obrázek 8 - Letecký motor s afterburnerem

<sup>9</sup> The Function of the Cone at the Exhaust of Jet Engines [online]. [cit. 2025-03-09]. Dostupné na World Wide Web: <<https://i0.wp.com/mondortiz.com/wp-content/uploads/2024/03/Mond-Ortiz-Website-Photo-No-Watermark-S-10.jpg>>

<sup>10</sup> Exhaust [online]. [cit. 2025-03-09]. Dostupné na World Wide Web: <[https://www.jet-x.org/uploads/4/0/3/9/40399345/exhaust-01\\_1\\_orig.png](https://www.jet-x.org/uploads/4/0/3/9/40399345/exhaust-01_1_orig.png)>



## 2. Aplikace proudových motorů

### 2.1. Aplikace v letadlech

Proudový motor je v moderní době nejpoužívanější pohonný prostředek v civilní letecké dopravě na delší trasy, neboť je efektivnější a produkuje větší tah než vrtulový motor. Jsou ale různé typy proudových motorů určené na různé podmínky. My si některé z nich podrobněji probereme.

#### 2.1.1. Jednoprúdový motor

Nejjednodušší typ proudového motoru u letadel, který se poprvé objevuje už za druhé světové války. Tento typ proudového motoru se vyznačuje pouze jedním proudem vzduchu, který skrz motor putuje. Ten prochází všemi prvky motoru, tedy kompresorem, spalovací komorou, turbínou a tryskou. Díky jeho efektivitě při vyšších rychlostech nahradil vrtulové motory, které se do té doby používaly.

#### 2.1.2. Dvouproudový motor

Jelikož jednoprúdové motory měly při nižších rychlostech horší tah než vrtulové motory, bylo potřeba vynalézt motor, který by byl vhodný jak na nižší, tak i vyšší rychlosti zároveň.

Dvouproudový motor se na rozdíl od jednoprúdového liší dalším proudem vzduchu, který prochází pouze nízkotlakou částí kompresoru (dmychadlem) a následně se oddělí od prvního proudu, který pokračuje dál do spalovací komory. Druhý proud po oddělení obtéká vnitřek zvenčí a může se připojit k prvnímu proudu až v trysce, nebo může mít vlastní oddělenou trysku. Poměr mezi těmito dvěma proudy se nazývá obtokový poměr, a z pravidla čím větší je, tím více vzduchu obtéká motor a méně jde skrz.<sup>11</sup>

Tento typ motoru se s vysokým obtokovým poměrem na civilních proudových letadlech vyskytuje nejčastěji, a to právě z důvodu vysoké efektivity v nižších i vyšších podzvukových rychlostech.<sup>11</sup>

---

<sup>11</sup> Turbofan Engine [online]. [cit. 2025-05-30]. Dostupné na World Wide Web: <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/aturbf.html>

S menším obtokovým poměrem se dvouproudový motor blíží spíše k jednoproudovým motorům, a proto se oba typy používají spíše pro vojenské účely, kdy je nadzvuková rychlost potřebná.

### 2.1.3. Turbovrtulový motor

Turbovrtulový motor se liší od dvouproudového vrtulí, která je na místě dmychadla ve předu motoru. Tato konstrukce je vhodná pro letadla, která létají kratší vzdálenosti při nižších rychlostech a zároveň umožňuje větší efektivitu než vrtulová letadla bez proudového motoru.<sup>12</sup>

## 2.2. Aplikace v řízených střelách

Řízené střely jsou navrženy pro vysoké rychlosti s dlouhým doletem. Jelikož ale dosahují malých rozměrů, musí být i motor kompaktní a vysoce efektivní v provozovaném prostředí. Starší střely tak používaly dvouproudový motor, jako například motor Williams F107 používaný ve střelách BGM-109 Tomahawk nebo AGM-86<sup>13, 14</sup>. Pro nadzvukové rychlosti ale dvouproudový motor nestačí, a proto se začaly vyvíjet střely s motorem náporovým a později i s náporovým s nadzvukovým spalováním.

### 2.2.1. Náporový motor

Náporový motor neboli ramjet je motor navržený pro vysoké rychlosti nad mach 1. Při této rychlosti není potřeba rotační kompresor, jelikož vzduch při vstupu do motoru zpomalí pod mach 1 a dostatečně se stlačí vlastní rychlostí. Následně se smísí s palivem a zapálí, čímž vznikají expandující žhavé plyny, které vystupují z motoru a tvoří tah. Pro urychlení střely nad mach 1 se ale musí použít jiné motory nebo rakety, jelikož náporový motor pod mach 1 nevytváří žádný tah.<sup>15</sup>

---

<sup>12</sup> Turboprop Engine [online]. [cit. 2025-05-30]. Dostupné na World Wide Web: <<https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/aturbp.html>>

<sup>13</sup> Cruise Missile Engines [online]. [cit. 2025-05-30]. Dostupné na World Wide Web: <<https://web.archive.org/web/20240708162401/https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20030002808/downloads/20030002808.pdf>>

<sup>14</sup> F107-WR-400 [online]. [cit. 2025-05-30]. Dostupné na World Wide Web: <[https://web.archive.org/web/20111014173739/http://www.alternatewars.com/SAC/F107-WR-400\\_Turbofan\\_PCS\\_-\\_October\\_1984.pdf](https://web.archive.org/web/20111014173739/http://www.alternatewars.com/SAC/F107-WR-400_Turbofan_PCS_-_October_1984.pdf)>

<sup>15</sup> Ramjet Parts [online]. [cit. 2025-05-30]. Dostupné na World Wide Web: <<https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/rampart.html>>

Příklad použití takového motoru v řízených střelách je střela země-vzduch RIM-8 „Talos“.<sup>16</sup> Na rozdíl od střel s dvouproudovým motorem, jako střela BGM-109 s maximální rychlostí 0.7 mach, může tato střela díky náporovému motoru dosahovat až rychlosti 2.7 mach.<sup>17, 18</sup>

### 2.2.2. Náporový motor s nadzvukovým spalováním

Náporový motor s nadzvukovým spalováním neboli scramjet je velmi podobný náporovému motoru, ale jak název napovídá, místo podzvukového spalování se vzduch spaluje při nadzvukové rychlosti. To je potřeba pro dosažení rychlostí nad mach 5, jelikož zpomalování vzduchu generuje obrovské množství tepla a snižuje efektivitu, což neumožňuje motorům ramjet operovat nad mach 5.<sup>19</sup>

Tyto motory se používají v experimentálních střelách, přičemž nejznámější je X-43A, která dosáhla rychlosti až 9,6 mach a stala se tak nejrychlejší střelou na světě.<sup>20</sup>

## 2.3. Aplikace ve vlakové dopravě

V polovině 20. století byl nárůst inovací v železniční dopravě, a to z důvodu nízké rychlosti vlaků a nárůstu automobilové dopravy. Jedním z nápadů, jak zrychlit železniční dopravu, byl použit proudový motor jako pohonnou jednotku pro vlak. Je ale nutno říct, že všechny proudové vlaky byly pouze experimentální a žádný nebyl hromadně rozšířen. Zde si rozebereme některé známější pokusy.

---

<sup>16</sup> EVOLUTION OF THE TALOS MISSILE [online]. [cit. 2025-05-30]. Dostupné na World Wide Web: <<https://secwww.jhuapl.edu/techdigest/content/techdigest/pdf/V03-N02/03-02-Garten.pdf>>

<sup>17</sup> BGM-109 Tomahawk [online]. [cit. 2025-05-30]. Dostupné na World Wide Web: <<https://media.defense.gov/2017/Apr/07/2001728332/-1/-1/1/AFD-170407-554-018.pdf>>

<sup>18</sup> History of Ramjet and Scramjet Propulsion Development for U.S. Navy Missiles [online]. [cit. 2025-05-30]. Dostupné na World Wide Web: <<https://secwww.jhuapl.edu/techdigest/content/techdigest/pdf/V18-N02/18-02-Waltrup.pdf>>

<sup>19</sup> Scramjet Propulsion [online]. [cit. 2025-05-30]. Dostupné na World Wide Web: <<https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/scramjet.html>>

<sup>20</sup> X-43A Hyper-X [online]. [cit. 2025-05-30]. Dostupné na World Wide Web: <<https://www.nasa.gov/reference/x-43a/>>

### 2.3.1. M-497

M-497 byla Americká testovací lokomotiva poháněná proudovým motorem vyrobená v roce 1966. Na výrobu použili diesellový příměstský vlak, na který nasadili dva GE-J47-19 jednoproudové motory, které byly určené pro letadlo B-36 Peacemaker. Při testovacích jízdách dosáhla lokomotiva rychlosti 183,85 mph (295 km/h) a stala se tak nejrychlejší lokomotivou v Americe.<sup>21</sup>

### 2.3.2. Rohr aerotrain

Rohr aerotrain byla Americká testovací lokomotiva, která navazovala na koncept Francouzského Aérotrain.<sup>22</sup> Fungovala tak na bázi vzdušné levitace, v podstatě jako vznášedlo. Místo dvou železných kolejí tak potřebovala pouze betonovou dráhu ve tvaru obráceného T, nad kterou se pomocí proudového motoru vznášela. Tato jednotka dosahovala rychlostí až 150 mph (241 km/h) a měla kapacitu 60 cestujících.<sup>23</sup>

### 2.3.3. SVL

Jelikož Sovětský svaz nechtěl zůstat pozadu v tomto ohledu, také investoval do experimentální lokomotivy, tentokrát pod názvem „Vysokorychlostní laboratorní lokomotiva“ (SVL). Ta byla vyrobená podobně jako M-497, akorát použili vlak RD22 s proudovými motory RD45, které byly určené pro Mig-15. Tato vlaková jednotka dosáhla při testování rychlostí až 187 km/h.<sup>24</sup>

---

<sup>21</sup> THE FLIGHT OF THE M-497 [online]. [cit. 2025-05-30]. Dostupné na World Wide Web:

<<https://web.archive.org/web/20130228091737/http://www.midwesthsr.org/sites/default/files/pdf/M-497.pdf>>

<sup>22</sup> Aérotrain, high speed rail and nuclear technology: the lessons of Jean Bertin [online]. [cit. 2025-05-30].

Dostupné na World Wide Web:

<[https://web.archive.org/web/20200919121652/https://www.solidariteetprogres.org/IMG/pdf/karelvereeycken.fr-aerotrain\\_high\\_speed\\_rail\\_and\\_nuclear\\_technology\\_the\\_lessons\\_of\\_jean\\_bertin.pdf](https://web.archive.org/web/20200919121652/https://www.solidariteetprogres.org/IMG/pdf/karelvereeycken.fr-aerotrain_high_speed_rail_and_nuclear_technology_the_lessons_of_jean_bertin.pdf)>

<sup>23</sup> THE ROHR AEROTRAIN TRACKED AIR-CUSHION VEHICLE (TACV) [online]. [cit. 2025-05-30].

Dostupné na World Wide Web:

<<https://web.archive.org/web/20100305130142/http://www.shonner.com/aerotrain/index.htm>>

<sup>24</sup> High-speed laboratory car SVL [online]. [cit. 2025-05-30]. Dostupné na World Wide Web:

<<https://en.topwar.ru/68994-skorostnoy-vagon-laboratoriya-svl.html>>

## 2.4. Aplikace v automobilech

Proudový motor se v automobilech používá výhradně pro překonání rychlostního rekordu.

### 2.4.1. Thrust SSC

Thrust SSC je jediné vozidlo, které překonalo rychlost zvuku a drží tak i světový rychlostní rekord. Toho dosáhlo v roce 1997, kdy překonalo rychlost 1227 km/h na poušti v Nevadě. Této rychlosti dosáhlo pomocí dvou motorů Rolls-Royce Spey, které byly vyráběné pro letadla F-4 Phantom.<sup>25</sup>

---

<sup>25</sup> ThrustSSC [online]. [cit. 2025-05-30]. Dostupné na World Wide Web: <<https://www.transport-museum.com/visiting/thrustssc.aspx>>

### 3. Historie proudových motorů

Začátek éry leteckých motorů sahá do 20. let 20. století. Nicméně prvotní myšlenky principu proudových motorů, tj. pohon založený na akceleraci pomocí zahřátých plynů, se objevily již ve středověku. Starověkým předchůdcem může být například zařízení zvané „aeolipile“<sup>26</sup>, které vlivem páry vytvářelo rotační pohyb. Jedná se o první reaktivní pohonný přístroj.

Za zakladatele samotných proudových motorů se považují dva vynálezci – Frank Whittle ze Spojených království a Hans von Ohain z Německa. Oba průkopníci na motorech pracovali samostatně a nezávisle na sebe vyvinuli první funkční letecké proudové motory.<sup>27</sup>

#### 3.1. První proudové motory v UK

Britský inženýr Frank Whittle přišel s myšlenkou sestrojení motoru založeného na principu expanze horkých plynů. Roku 1937 se poprvé rozběhl první testovací subjekt pod názvem Whittle Unit. 2 roky na to byla od Britského ministerstva letectví vydána zakázka na letovou zkoušku nástupnického motoru Power Jets W.1, který se po vzletu stal prvním leteckým motorem Británie.<sup>28</sup>

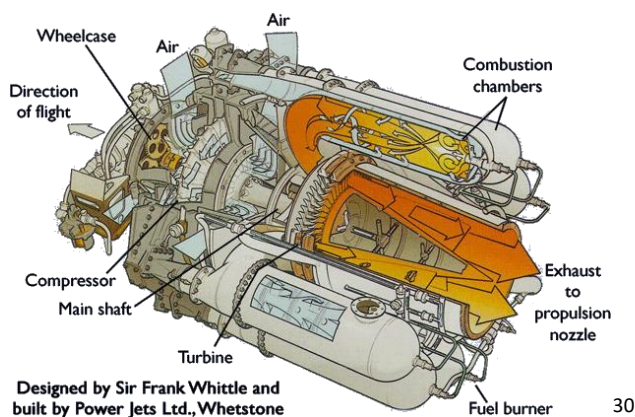
---

<sup>26</sup> Aeolipile neboli Héronova baňka je parní koule s tryskami, odkud vychází horký plyn.

<sup>27</sup> National air and space museum [online]. [cit. 2025-03-05]. Dostupné na World Wide Web: <[https://airandspace.si.edu/collection-objects/whittle-w1x-turbojet-engine/nasm\\_A19500082000](https://airandspace.si.edu/collection-objects/whittle-w1x-turbojet-engine/nasm_A19500082000)>

<sup>28</sup> Spojovací vojsko [online]. [cit. 2025-03-05]. Dostupné na World Wide Web: <<https://spojar.mo.gov.cz/clanky/historie-jetovych-motoru-od-prvnich-pokusu-po-soucasnost>>

Ocelový motor o hmotnosti 254 kg měl při maximálních otáčkách za minutu tah o velikosti 5 516 N. Pro porovnání americké letouny Boeing 737 létají s motory CFM56, které mají tah okolo 150 kN.<sup>29</sup> Spalovací komora se skládá z deseti podjednotek. Kompresor byl radiální/odstředivý s dvěma vstupy.



Obrázek 9 – Schéma motoru Power Jets W.1

## 3.2 První proudové motory v Německu

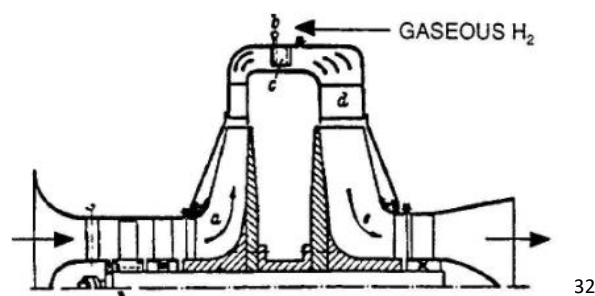
Nezávisle na Whittleovi navrhl podobný koncept německý inženýr Hans von Ohain, který pracoval pod firmou Heinkel. Jeho první, demonstrační motor pod názvem HeS 1 byl uveden roku 1937 před společností. Plechový motor o tahu 1,1 kN při rychlosti 10 000 ot/min byl poháněn vodíkem. Skládal se z radiálního kompresoru a zády k němu turbínou s radiálním vstupem. Vstup horkého plynu zvaný „vodíkový hořák“ byl umístěn mezi kompresor a turbínu jako o obrázku 5.<sup>31</sup>

<sup>29</sup> MTU Aero Engines[online]. [cit. 2025-03-05]. Dostupné na World Wide Web:

<<https://www.mtu.de/en/engines/commercial-aircraft-engines/narrowbody-and-regional-jets/cfm56-2/-5b/-7/>>

<sup>30</sup> Clean PNG[online]. [cit. 2025-03-05]. Dostupné na World Wide Web: <<https://www.cleanpng.com/png-midland-air-museum-jet-engine-airplane-jet-aircraft-2499240/>>

<sup>31</sup> Hans von Ohain[online]. [cit. 2025-03-08]. Dostupné na World Wide Web: <[http://proudove-motory.cz/download/Hans\\_von\\_Ohain.pdf](http://proudove-motory.cz/download/Hans_von_Ohain.pdf)>



Obrázek 10 – Schéma motoru HeS 1

Po intenzivním vývoji spalovacích komor firmou Heinkel, která chtěl docílit vzniku proudového motoru s kapalným palivem, vznikli návrhy motorů HeS 3. Nově navržený motor se ze začátku potýkal s nedostatečným tahem. Později se tento problém vyřešil a motor se stal součástí prvního plně funkčního proudového letadla na světě.

Součástí motoru bylo nově navržené umístění spalovací komory Maxem Hanhem. Dle jeho návrhu se komora umístila do nevyužitého prostoru před odstředivý kompresor, což zapříčinilo redukování velikosti hřídele a tím i hmotnosti samotného motoru, která činila 360 kg. Počet otáček za minutu se dostal na 13 000.

Tento technologický pokrok německého letectví dal značnou výhodu 3. říši, která měla v průběhu 2. světové války náskok i první nasazený proudový stíhací letoun.<sup>33</sup>

<sup>32</sup> Hans von Ohain[online]. [cit. 2025-03-08]. Dostupné na World Wide Web: <[http://proudove-motory.cz/download/Hans\\_von\\_Ohain.pdf](http://proudove-motory.cz/download/Hans_von_Ohain.pdf)>

<sup>33</sup> Hans von Ohain[online]. [cit. 2025-03-08]. Dostupné na World Wide Web: <[http://proudove-motory.cz/download/Hans\\_von\\_Ohain.pdf](http://proudove-motory.cz/download/Hans_von_Ohain.pdf)>

### 3.3. Poválečný vývoj

Po ukončení druhé světové války se letectví stalo klíčovou dopravou. Celosvětově došlo k rozšíření komerčních letů. V roce 1952 vstoupilo do služby první komerční letadlo, která ale z důvodu konstrukčních problémů nebo dlouho v provozu. Za opravdový průlom v letectví je považován vzlet letounu Boeing 707 roku 1958, který definitivně odstartoval éru proudového dopravního letectví.<sup>34</sup>

#### 3.3.1. Nadzvukové lety

V poválečném období se prudce zrychlil vývoj nadzvukových proudových motorů a letounů. Nadzvukový let je průchod atmosférou rychlostí vyšší než rychlost zvuku. První letouny byli poháněné raketovými motory. První nadzvukový proudový letoun, který byl určen pro přepravu cestujících, byl postaven ve spolupráci Velké Británie a Francie. Letadlo pod názvem Concorde uskutečnilo svůj první transatlantický let roku 1973.<sup>35</sup>

Letadlo bylo poháněno čtyřmi proudovými motory Rolls Royce/Snecma Olympus 593. Jeden motor měl tah 180 kN. Tento obrovský výkon měl za následek velikou spotřebu paliva. Celkově všechny čtyři motory spotřebovaly okolo 26 000 litrů paliva za hodinu. Motory byly připevněny na spodní část křídel, což zapříčinilo vyšší stabilitu a zmenšení případných turbulencí.

Aby letadlo dosáhlo nadzvukové rychlosti, jeho motory používali takzvané „přídavné spalování“. To smísí další palivo s plyny z primární spalovací komory a zapálí je. Tento princip se obvykle používá u nadzvukových vojenských letounů pro maximální navýšení tahu.<sup>36</sup>

---

<sup>34</sup> Spojovací vojsko [online]. [cit. 2025-03-08]. Dostupné na World Wide Web: <https://spojar.mo.gov.cz/clanky/historie-jetovych-motoru-od-prvnich-pokusu-po-soucasnost>

<sup>35</sup> Britannica Concorde [online]. [cit. 2025-03-08]. Dostupné na World Wide Web: <https://www.britannica.com/technology/Concorde>

<sup>36</sup> How stuff works: How Concorde Works [online]. [cit. 2025-03-15]. Dostupné na World Wide Web: <https://science.howstuffworks.com/transport/flight/modern/concorde4.htm>



Obrázek 11 – Rolls Royce/Snecma Olympus 593

### 3.4. Současnost

V dnešní době jsou proudové motory nejrozšířenějším pohonem letadel. Kombinací s ventilátory, které motoru zvyšují efektivitu a snižují výkon, vznikl nový typ motorů – turboventilátorové. Tyto motory využívá většina moderních civilních a vojenských letounů. Mezi špičkové motory patří General Electric GE90, který dokáže vygenerovat tah o velikosti 450 kN.<sup>38</sup> Tento motor je využit převážně pro letouny Boeing 777. Motory série Trent, které jsou vyráběny britskou firmou Rolls-Royce, jsou podobně silné a nezaostávají za již zmíněným motorem. Rolls-Royce Trent je například součástí letounů Airbus A380.

Ve vojenském letectví se stále rozvíjí nadzvukové letouny. Výzkum se snaží u proudových motorů, které například využívají letadla F-22 Raptor či Su-57, maximálně navýšit jejich výkon a funkčnost. Jednou z nových metod je schopnost „supercruise“, která dokáže dlouhodobý let udržet v nadzvukové rychlosti bez použité již zmíněného přídavného spalování.<sup>39</sup>

---

<sup>37</sup> Heritage Concorde [online]. [cit. 2025-03-15]. Dostupné na World Wide Web:

<<https://www.heritageconcorde.com/concorde-olympus-593-mk610-engines>>

<sup>38</sup> GE aerospace [online]. [cit. 2025-03-15]. Dostupné na World Wide Web:

<<https://www.geaerospace.com/commercial/aircraft-engines/ge90>>

<sup>39</sup> Spojovací vojsko [online]. [cit. 2025-03-15]. Dostupné na World Wide Web:

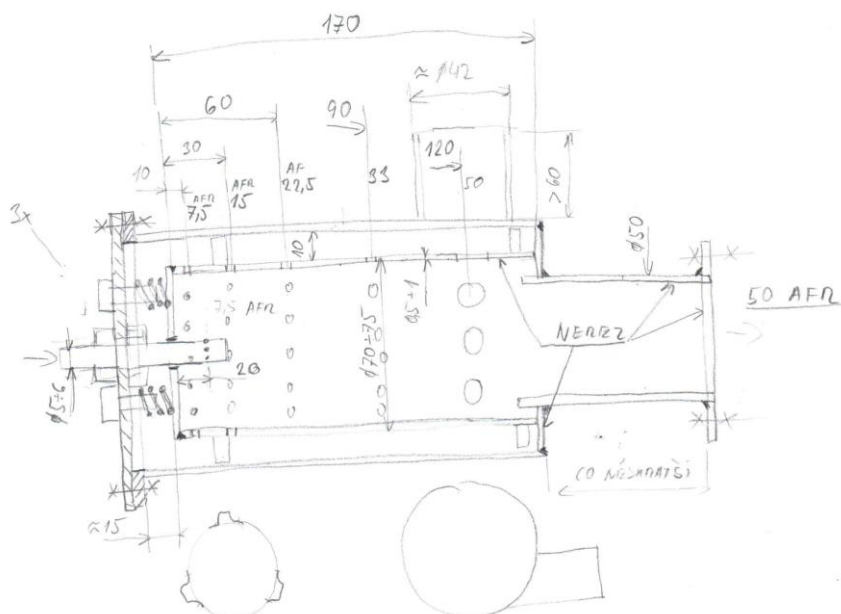
<<https://spojar.mo.gov.cz/clanky/historie-jetovych-motoru-od-prvniho-pokusu-po-soucasnost>>

## 4. Praktická část

V naší praktické části jsme se pokusili o konstrukci vlastního proudového motoru. Před samotnou stavbou jsme se však pokusili kontaktovat odborníky v tomto odvětví, aby s námi náš plán zkonzultovali. Tímto bychom tedy rádi poděkovali panu Ing. Janu Kubatovi a Ph.D. Janu Slanci z VZLÚ a také Ing. Radku Hýblovi z Hýbl Turbines za jejich čas, ochotu a pomoc při plánování konstrukce našeho motoru.

### 4.1 Plány

Po konzultaci s odborníky jsme se rozhodli pro zjednodušený “turbojet engine”. Ten funguje na podobném principu jako klasický proudový motor, avšak jeho části jsou turbo z automobilu a spalovací komora námi navržená i zkonstruovaná. Jako pohonnou hmotu jsme zvolili propan-butan, jenž je ve spalovací komoře pálen a roztáčí turbo, které druhou stranou nasává vzduch proudící zpět do spalovací komory. Turbo a spalovací komora jsou propojeny pomocí trubek. V motoru tudíž také probíhá sání, spalování a výfuk ve stejnou dobu po celou dobu jeho běhu. I když neprodukuje prakticky žádný tah, pro demonstraci jevů, které probíhají v běžném proudovém motoru.



Obrázek 9 - Náčrty spalovací komory

## 4.2 Průběh konstrukce

V rámci vlastní výroby bylo třeba zkonstruovat celou spalovací komoru společně s částí olejového systému.

### 4.2.1 Olejový systém

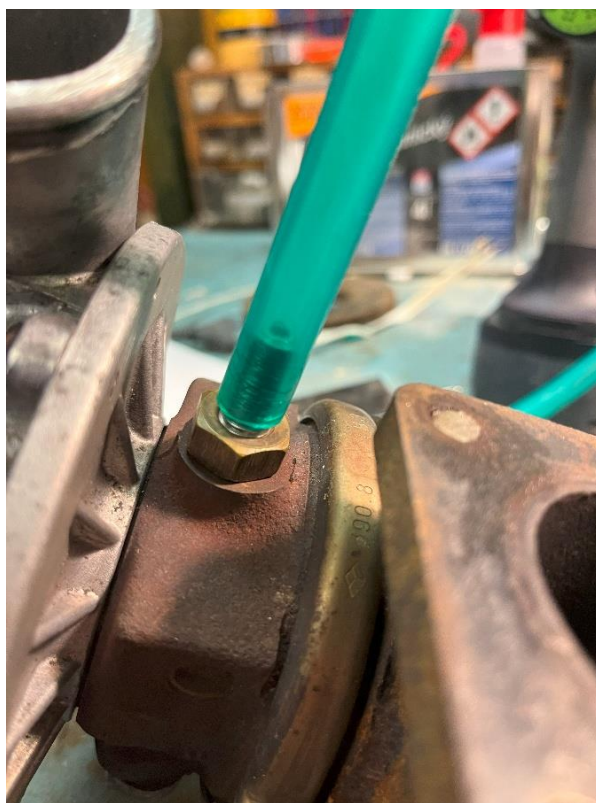
První součástí, kterou jsme pro náš motor zhotovili, je hadičník pro vstup oleje, který jsme vysoustružili ze šroubu. Tento šroub je upevněn na turbodmychadle.

Pro plnohodnotné fungování jsme potřebovali alespoň tři litry oleje, který vyhovuje požadavkům turba. Olej uložen v kanystru, který je oddělený od zbytku motoru. Do tohoto kanystru vedou pouze dvě hadice, aby kapalina mohla proudit přes turbo.

Na hadici, která vedla do turba jsme připevnili čerpadlo poháněné vnějším zdrojem elektřiny, které dostalo olej z kanystru do motoru.



*Obrázek 12 - Soustružení hadičníku*



*Obrázek 13 - Zkouška nasazení hadice na hadičník*

### 3.2.2 Spalovací komora

Základem spalovací komory je plamenec. Tato část byla nejsložitější na výrobu. Válec, který musel mít přesné rozměry, zároveň vyžadoval precizní vyvrtání různě velikých otvorů, které jsme musel přesně naměřit. Tyto díry jsou rozvržené tak, aby v každé části spalovací komory byl odpovídající poměr vzduchu a paliva. Například díry nejbližší k turbu jsou největší. To zapříčiňuje vysokou koncentraci vzduchu. Po obvodu tohoto válce jsou zároveň malé ocelové kvádry, které slouží k udržení plamence ve středu spalovací komory, tak aby se nehýbala.



*Obrázek 14 – Označení děr pro vrtání do plamence*



*Obrázek 15 – Vrtání děr plamence*



*Obrázek 16 – Výsledný plamenec*

Součástí spalovací komory je také vnější plášť. Ten je tvořen válcem, do kterého je zasunut plamenec. Do tohoto pláště jsme museli vyvrtat otvor pro koleno, které vede studený vzduch z turba do komory. Koleno je umístěno na spalovací komoru tak, aby se blížilo co nejvíce k tečně na obvod válce. Toto umístění potřebujeme z důvodu, aby zde byly minimální ztráty kvůli tření vzduchu.



*Obrázek 17 – Kontrola náklonu kolena ke spalovací komoře*



*Obrázek 18 – Části spalovací komory*

Z jedné strany je spalovací komora utěsněna přírubou společně s korkovou vrstvou mezi. Příruba je připevněná šrouby, díky čemuž dostatečně těsní a minimalizuje teplotní ztráty. Uprostřed příruby je vyvrtaný otvor utěsněný šroubem. Tento šroub je upravený tak, aby se do něj mohla zasunout vstřikovací trubice.

Mezi vnější přírubou a plamencem jsme také umístili tři pružiny, aby se spalovací komora nepohybovala směrem k přírubě a držela na místě. Pružinky jsou upevněny na šroubech okolo vstupu vstřikovací trubice.

Na straně k turbu je druhá příruba s trubicí znatelně menší, než je spalovací komora. Menší průměr zapříčiní stlačení hořícího plynu a tím zvýšení tlaku. V turbu tento plyn následně expanduje a roztáčí jeho hřídel.



*Obrázek 19 – Lisování vnější spalovací komory a přívodu do turba*



*Obrázek 18 – zhotovená spalovací komora*

### 3.2.3. Kompletace motoru

Po vytvoření spalovací komory a olejového systému, jsme měli všechny potřebné součástky pro to, abychom dokončili celý motor.

Turbo jsme připevnili šrouby na námi zkonstruovanou kozu, která drží celý motor. Postupně jsme nasadili na turbo spalovací komoru. Nasadili jsme na koleno širokou hadici, která ho propojovala s turbem. Komoru jsme pevnili šrouby, aby příruba minimalizovala ztráty, které by mohli vzniknout únikem vzduchu z možných mezer.

K dokončení nám již stačilo pouze nasadit hadice olejového systému a propanbutanové láhve. Následně jsme hadice utáhli páskami, aby nám nemohli z motoru spadnout.



*Obrázek 18 – Barvení kozy pro motor*



*Obrázek 18 – Zhotovený motor*

## 4.3. Běh motoru

Pro běh motoru je potřeba minimálně 2,5 Kg propan-butanová lahev připojená hadicí a jednosměrným ventilem do vstřikovací trubičky spalovací komory. Zároveň je potřebný mít vysavač se zpětným tahem či fukar na listí pro nastartování motoru.

### 4.3.1. Startování

Pro nastartování našeho motoru je potřeba tým alespoň 2 lidí, přičemž jeden reguluje vstřikování propan-butanu a rychlost vzduchu turbem a druhý s pochodní zapaluje vystupující propan-butan z turba. Nejtěžší částí při startování našeho motoru je dostat plamen, který hoří za turbem, dovnitř do spalovací komory. Aby se plamen dostal dovnitř, musí člověk regulující propan-butan a vzduch přidávat a ubírat rychlost vzduchu, což v praxi vypadá tak, že hadicí vysavače pohybuje před turbem nahoru a dolů. Zároveň ale musí být uvnitř spalovací komory správné množství propan-butanu, a tak při regulování vzduchu ještě musí pomalu přidávat nebo ubírat plyn. Správné množství se dá ale poznat jednoduše, a to proto, že při správném množství skáče plamen dovnitř, a to vydává unikátní bouchnutí. V ten moment se musí přitlačit hadice vysavače až dovnitř do vstupu turba a následně přidávat propan-butan. Hadice se ve vstupu drží do té doby než lze cítit, jak vzduch začíná procházet mezerou mezi hadicí a okrajem vstupu do turba, tedy vás to začíná sát dovnitř. V ten moment vysuneme hadici a motor se stává soběstačným, jelikož pouhé spalování propan-butanu roztáčí turbo. Motor se také v tento moment dostává do volnoběhu.

Při startování může teplota výstupních plynů dosáhnout až 1100 °C, což přesahuje teploty, kterých turbo v automobilu normálně dosahuje. Proto je potřeba při startu přidávat propan-butan až do té doby, než se stane soběstačným. V ten moment je rychlost vzduchu natolik velká, že se motor začíná sám chladit, a teplota klesá.

### 4.3.2 Volnoběh

Při volnoběhu se teplota výstupních plynů pohybuje kolem 380 °C, což je méně než teplota, kterou turbo normálně v automobilu zažívá.

V této fázi stojí za to ocenit, že tento motor, vyrobený ze zbytků ocelového potrubí, zrezlých plechů a turba z vrakoviště, doopravdy funguje.

### 4.3.3 Zastavení

Zastavit motor je naštěstí na rozdíl od nastartování velmi jednoduché. Stačí vypnout přívod propan-butanu, a motor se vypne. Důležité ale je znovu začít foukat vysavačem dovnitř turba, aby se spalovací komora mohla co nejrychleji ochladit.

# Závěr

V naší teoretické části jsme shrnuli princip fungování proudového motoru, rozmanitou aplikaci a stručnou historii těchto přístrojů. Z námi načtených zdrojů jsme vybrali důležité informace o jednotlivých součástech motoru a samotné stavbě, a historické momenty, které definovali dnešní proudové motory. Práci jsme tak vypracovali způsobem, aby kdokoli, kdo si ji přečte, měl alespoň základní či mírně rozšířené znalosti o tomto tématu.

Pro praktickou část jsme si vybrali samotnou konstrukci tohoto motoru. Tohoto těžko realizovatelného cíle jsme dosáhli za odborné pomoci. Námi navržený systém motoru jsme převedli do hmotné podoby. Získáním turba, čerpadla a materiálů na výrobu jsme mohli docílit finálního sestavení. Problémem bylo ale turbo s malým průměrem, které nám mohlo zapříčinit nepovedené nastartování. To se ale naštěstí nakonec nestalo a po několika pokusech jsme motor úspěšně nastartovali. Proto pokládáme naše cíle za splněné a samotné sestrojení za úspěch.

# Zdroje

## Odkazy

<http://www.leteckemotory.cz/teorie/typy-leteckych-motoru/>

<https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/93427/F2-DP-2021-Novotny-Pavel-Navrh%20turbiny%20pro%20turbohridelovy%20motor.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>

<https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/UEET/StudentSite/engines.html>

<https://youtu.be/L24Wf0VITE0?si=j2FS0gRzwauKTEw7>

<http://www.leteckemotory.cz/teorie/teorie-03.php>

<https://chatgpt.com/>

<https://engineering.purdue.edu/~propulsi/propulsion/jets/basics/comp.html>

<https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/centrf.html>

<https://cs.stanford.edu/people/eroberts/courses/ww2/projects/jet-airplanes/how.html>

[https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/84913/F2-BP-2019-Pavlov-Ilia-Bakalarska%20prace\\_Finalni\\_verze.pdf?sequence=-1&isAllowed=y](https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/84913/F2-BP-2019-Pavlov-Ilia-Bakalarska%20prace_Finalni_verze.pdf?sequence=-1&isAllowed=y)

<https://www.jet-x.org/a4.html>

<https://www.jet-x.org/a5.html>

<https://www.jet-x.org/a6.html>

<https://spojar.mo.gov.cz/clanky/historie-jetovych-motoru-od-prvnich-pokusu-po-soucasnost>

<sup>3</sup>[https://airandspace.si.edu/collection-objects/whittle-w1x-turbojet-engine/nasm\\_A19500082000](https://airandspace.si.edu/collection-objects/whittle-w1x-turbojet-engine/nasm_A19500082000)

<https://www.mtu.de/engines/commercial-aircraft-engines/narrowbody-and-regional-jets/cfm56-2/-5b/-7/>

[http://proudove-motory.cz/download/Hans\\_von\\_Ohain.pdf](http://proudove-motory.cz/download/Hans_von_Ohain.pdf)

<https://spojar.mo.gov.cz/clanky/historie-jetovych-motoru-od-prvnich-pokusu-po-soucasnost>

<https://www.britannica.com/technology/Concorde>

<https://science.howstuffworks.com/transport/flight/modern/concorde4.htm>

<https://www.geaerospace.com/commercial/aircraft-engines/ge90>

<https://spojar.mo.gov.cz/clanky/historie-jetovych-motoru-od-prvnich-pokusu-po-soucasnost>

## Obrázky

Obrázek 1

<https://i0.wp.com/pilotswhoaskwhy.com/wpcontent/uploads/2024/04/1440P-2K-17.png?ssl=1>

Obrázek 2

[https://media.springernature.com/lw685/springer-static/image/art%3A10.1007%2Fs11668-021-01195-7/MediaObjects/11668\\_2021\\_1195\\_Fig1\\_HTML.png](https://media.springernature.com/lw685/springer-static/image/art%3A10.1007%2Fs11668-021-01195-7/MediaObjects/11668_2021_1195_Fig1_HTML.png)

Obrázek 3

<https://www.chreed.com/wp-content/uploads/2018/04/Centrifugal-Air-Compressor-Propeller.jpg>

Obrázek 4

[https://www.jet-x.org/uploads/4/0/3/9/40399345/air-distribution-01\\_orig.png](https://www.jet-x.org/uploads/4/0/3/9/40399345/air-distribution-01_orig.png)

Obrázek 5

[https://www.jet-x.org/uploads/4/0/3/9/40399345/chamber-types-01\\_orig.png](https://www.jet-x.org/uploads/4/0/3/9/40399345/chamber-types-01_orig.png)

Obrázek 6

[https://www.jet-x.org/uploads/4/0/3/9/40399345/turbine-01\\_1\\_orig.png](https://www.jet-x.org/uploads/4/0/3/9/40399345/turbine-01_1_orig.png)

Obrázek 7

<https://i0.wp.com/mondortiz.com/wp-content/uploads/2024/03/Mond-Ortiz-Website-Photo-No-Watermark-S-10.jpg>

Obrázek 8

[https://www.jet-x.org/uploads/4/0/3/9/40399345/exhaust-01\\_1\\_orig.png](https://www.jet-x.org/uploads/4/0/3/9/40399345/exhaust-01_1_orig.png)

Obrázek 9

<https://www.midlandairmuseum.co.uk/jet.php>

Obrázek 10

[http://proudove-motory.cz/download/Hans\\_von\\_Ohain.pdf](http://proudove-motory.cz/download/Hans_von_Ohain.pdf)

Obrázek 11

<https://www.heritageconcorde.com/concorde-olympus-593-mk610-engines>