

STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST

Obor č. 12: Tvorba učebních pomůcek, didaktická technologie

3D modely a výukové pomůcky na téma tepelné motory

STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST

Obor č. 12: Tvorba učebních pomůcek, didaktická technologie

3D modely a výukové pomůcky na téma tepelné motory

3D Models and Educational Aids on the Topic of Heat Engines

Autor: Leon Kubota

Škola: Gymnázium, Praha 6, Arabská 14

Kraj: Hlavní město Praha

Konzultant: Mgr. Jana Urzová, Ph.D.

Praha, 2025



Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou práci SOČ vypracoval samostatně a použil jsem pouze prameny a literaturu uvedené v seznamu bibliografických záznamů.

Prohlašuji, že tištěná verze a elektronická verze soutěžní práce SOČ jsou shodné.

Nemám závažný důvod proti zpřístupňování této práce v souladu se zákonem č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších předpisů.

V _____ dne _____

Podpis: _____

Poděkování

Rád bych poděkoval Mgr. Janě Urzové, Ph.D. za vedení práce, dobré rady a možnost praktického vyzkoušení mých materiálů. Dále bych chtěl poděkovat Mgr. Janu Tuzarovi za vedení původní ročníkové práce. Za zapůjčení mikrofonu jsem vděčný Gymnáziu Arabská. Děkuji také mé rodině a přátelům za poskytnutí zpětné vazby k materiálům, které jsem jim příliš často ukazoval.

Anotace

Tato práce se zabývá tvorbou učebních pomůcek pro výuku tepelných motorů. Mezi tyto pomůcky patří zejména animované výukové video vysvětlující fungování parních, spalovacích a reaktivních motorů. Dále jsem vytvořil devět 3D animovaných cyklických animací tepelných motorů. Modely těchto motorů jsou založeny na skutečných konstrukcích. V práci jsou dále obsaženy prezentace a pracovní listy na toto téma. Materiály byly vyzkoušeny ve výuce studentů druhého ročníku školy Gymnázium, Praha 6, Arabská 14.

Klíčová slova

Tepelné motory; výukové video; 3D modely; 3D animace; učební pomůcky

Abstract

This thesis is about the creation of educational tools for teaching about heat engines. Primarily, these tools include an animated educational video explaining the inner workings of steam, combustion and reaction engines. Additionally, I have created nine 3D animated cyclic animations of heat engines. The 3D models of these engines are based on real-life designs. The work also contains presentations and worksheets on this topic. The materials were piloted in a class of the second year students at Gymnázium, Prague 6, Arabská 14.

Keywords

Heat engines; educational video; 3D models; 3D animation; educational aids

Obsah

1	Úvod	8
2	Teorie tepelných motorů	9
2.1	Ideální plyn	9
2.2	Účinnost a práce	9
3	Parní motory	10
3.1	Historie parních motorů	10
3.2	Fungování parních motorů	10
3.2.1	Parní stroj	10
3.2.2	Parní turbína	11
4	Spalovací motory	12
4.1	Historie spalovacích motorů	12
4.2	Fungování spalovacích motorů	12
4.2.1	Čtyřdobý zážehový motor	13
4.2.2	Čtyřdobý vznětový motor	14
4.2.3	Dvoudobý zážehový motor	15
4.3	Výpočet hlavních parametrů spalovacích motorů	16
4.3.1	Práce	16
4.3.2	Výkon	16
4.3.3	Kroutící moment	16
5	Reaktivní motory	17
5.1	Historie reaktivních motorů	17
5.2	Fungování reaktivních motorů	17
5.3	Raketové motory	18
5.3.1	Raketové motory na tuhé palivo	18
5.3.2	Raketové motory na kapalné palivo	18
5.4	Proudové motory	19
5.4.1	Jednoproudové motory	19
5.4.2	Dvouproudové motory	19
5.5	Výpočet hlavních parametrů reaktivních motorů	20
5.5.1	Tah raketových motorů	20
5.5.2	Tah proudových motorů	20
5.5.3	Specifický impuls	20

6	Úvod do praktické části	21
7	Animace	22
7.1	Animace parního stroje	25
7.2	Animace parní turbíny	26
7.3	Animace čtyřdobého spalovacího motoru	27
7.4	Animace čtyřdobého vznětového motoru	28
7.5	Animace dvoudobého zážehového motoru	29
7.6	Animace raketového motoru na tuhé palivo	30
7.7	Animace raketového motoru na kapalné palivo	31
7.8	Animace jednoproudového motoru	32
7.9	Animace dvouproudového motoru	33
8	Video	34
8.1	Předprodukce	34
8.1.1	Cíl videa	34
8.1.2	Plánování a scénář	34
8.2	Produkce	35
8.2.1	Hlasový doprovod	35
8.2.2	Modelování	36
8.2.3	Materiály	38
8.2.4	Animace	39
8.2.5	Skutečné záběry	40
8.2.6	Renderování	41
8.3	Postprodukce	43
8.3.1	Střih a zvuk	43
8.3.2	Export a distribuce	43
9	Prezentace a pracovní listy	44
9.1	Tvorba prezentací	44
9.1.1	Obsah prezentací	44
9.1.2	Vizuální stránka prezentací	45
9.2	Tvorba pracovních listů	46
9.2.1	Návrh na hodnocení pracovních listů	46
9.3	Použití pomůcek v praxi	47
9.3.1	Úprava pracovních listů	48
9.3.2	Vyhodnocení praktického použití pomůcek	49
9.3.3	Zpětná vazba	50
10	Závěr	51
11	Seznam použitých zdrojů	52
12	Přílohy	54

1 Úvod

Tepelné motory jsou nedílnou součástí moderního světa: od sekaček a automobilů po obrovské jaderné elektrárny a vesmírné rakety. Narazíme na ně na každém rohu, prakticky ještě mnohem častěji. Proto výuku o nich považuji za důležitou. Touto prací navazuji na můj ročníkový projekt „Tepelné motory“. Po jeho dokončení jsem se rozhodl pokračovat do soutěže SOČ a vytvořit ještě lepší učební pomůcky.

V první kapitole je popsán ideální plyn, ten je pro tepelné motory velmi důležitý. Dále jsou v ní popsány základní informace o tepelných motorech. V následujících kapitolách jsou stručně popsány tepelné motory a to parní, spalovací a reaktivní. Krátce se zabývají historií, fungováním a využitím dané skupiny motorů. Na konci každé z těchto kapitol jsou uvedeny nejdůležitější rovnice týkající se těchto motorů. Tyto kapitoly slouží jako podklad pro praktickou část.

Většina existujících výukových materiálů o tepelných motorech je určena pro žáky, které toto téma již zajímá. Většinou se jedná o videa (např. 1, 2, 3 a 4), která popisují fungování konkrétního motoru. Prezentace na toto téma (např. 5, 6 nebo 7) jsou často zastaralé. Nalézt kvalitní pracovní listy (např. 8 nebo 9) na téma tepelných motorů je obtížné. 3D animace (např. 10, 11, 12 a 13) samozřejmě existují; ačkoliv některé z nich jsou velice kvalitní, získat kompletní sbírku animací v jednotném stylu se jeví jako nemožné.

Mým cílem bylo vytvořit výukové materiály, které jsou názorné, přehledné a snadno dostupné. Vytvořil jsem devět cyklických 3D animací tepelných motorů, které jsem využil ve čtyř prezentacích na toto téma. Pro vyzkoušení znalostí žáků jsem vytvořil dva pracovní listy, jeden pro žáky základních a druhý pro žáky středních škol. Poslední výukovou pomůckou je osmiminutové animované video, které zajímavou formou popíše fungování jednotlivých tepelných motorů. Na závěr jsem své pomůcky vyzkoušel ve výuce žáků druhého ročníku školy Gymnázium, Praha 6, Arabská 14.

Tepelné motory jsou zajímavé, ale také velice rozsáhlé téma, které nelze kompletně vysvětlit v několika hodinách fyziky. Mým cílem bylo vytvořit pomůcky, které žákům přiblíží základy těchto strojů. Zároveň bych v žácích rád povzbudil vlastní ambici pro další samostatné studium tepelných motorů či jiných fyzikálních a inženýrských disciplín.

2 Teorie tepelných motorů

Tepelný motor je stroj, který přeměňuje tepelnou energii na mechanickou práci. Tuto energii mu dodáváme plynou pracovní látkou.

2.1 Ideální plyn

Pro porozumění tepelným motorům je nezbytné znát ideální plyn. Zákon ideálních plynů popisuje vztahy mezi tlakem, teplotou a objemem. Ve skutečnosti je tvořen třemi zákony: izochorickým Charlesovým zákonem (1.1), izotermickým Boyleovým zákonem (1.2) a izobarickým Gay-Lussacovým zákonem (1.3). [1]

$$\frac{p}{T} = konst. \quad (1.1)$$

$$pV = konst. \quad (1.2)$$

$$\frac{V}{T} = konst. \quad (1.3)$$

p je tlak [Pa]

V je objem [m^3]

T je teplota [K]

Spojením těchto tří zákonů získáme zákon ideálního plynu, ten lze zapsat stavovou rovnicí ideálního plynu (1.4). [1]

$$pV = nRT \quad (1.4)$$

n je látkové množství [mol]

R je univerzální plynová konstanta ($8,31 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$) [$\text{J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]

Ideální plyn se však velmi liší od skutečného plynu, velikost molekul považujeme za zanedbatelnou a stejnou u všech molekul, předpokládáme náhodný pohyb dle Newtonových zákonů a zanedbáváme ztráty energie při kolizích. Ze stavové rovnice však plyne velmi důležitý poznatek: při zahřátí se plyn rozpíná. Toho využívají tepelné motory pro konání práce. [1]

2.2 Účinnost a práce

Účinnost tepelných motorů je omezena druhým termodynamickým zákonem. Účinnost tepelného motoru je podíl užitečné mechanické práce a dodaného tepla, viz rovnice (2.1). [2]

$$\eta = \frac{W}{Q_d} \quad (2.1)$$

η je účinnost [-]

W je práce [J]

Q_d je dodané teplo [J]

Práci můžeme vypočítat pomocí rovnice (2.2). [2]

$$W = Q_d - Q_o \quad (2.2)$$

Q_o je odevzdané teplo [J]

3 Parní motory

První skupinou motorů, které popíši, jsou parní motory. Jak již plyne z názvu, parní motory jsou poháněny párou. Parní stroje umožnily průmyslovou revoluci a celkově posunuly technologie lidstva kupředu, zatímco parní turbíny jsou v současnosti velmi důležité pro výrobu elektřiny.

3.1 Historie parních motorů

První praktický parní stroj vytvořil Denis Papin na konci 17. století, jeho parní stroj pracoval s pístem ve válci. Když se válec zahřál, voda v něm se přeměnila v páru a zdvihla píst, při ochlazení pára kondenzovala a stáhla píst zpět. Tento parní stroj zdokonalili T. Savery a T. Newcomen přidáním ventilu a bojleru. Dalšího zdokonalení se parní stroj dočkal na konci 18. století, kdy James Watt přidal kondenzátor a klikový mechanismus, aby mohl tento motor vykonávat otáčivý pohyb (doposud vykonával pouze kmitavý pohyb). Dále zdokonalil parní stroj tím, že páru přiváděl střídavě na obě strany válce. Tím se výrazně zvýšil výkon i účinnost. Parní stroje hrály klíčovou roli při průmyslové revoluci: pomáhaly v dolech a továrnách, poháněly lokomotivy a lodě. Díky parním motorům přezdíváme 19. století „Století páry“. [3]

První moderní parní turbínu vytvořil Charles Parsons v roce 1884, sedm let poté ji využil pro výrobu elektřiny. Později se začaly parní turbíny využívat i pro pohon lodí a nabyly obrovských výkonů, dodnes pohání největší lodě a vytváří elektřinu v tepelných elektrárnách. [4]

3.2 Fungování parních motorů

Parní motory pracují s párou tvořenou vně motoru, řadíme je tedy mezi motory s vnějším spalováním. Obecně lze říci, že pára koná práci tlačení na nějaké součástky. Toho však docilují obě skupiny parních motorů zcela odlišně. Parní stroje pracují s písty, parní turbíny přeměňují energii páry v užitečnou práci pomocí lopatek.

3.2.1 Parní stroj

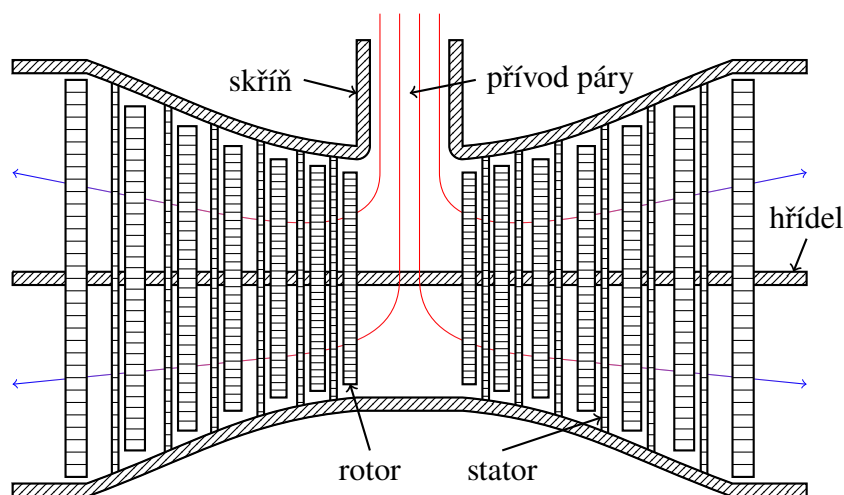
Parní stroj má píst, který se posouvá a vrací uvnitř válce. Píst je posouván tlakem páry, tu do válce přivádí ventil, použitá pára je z válce odváděna výfukovou dírou. Na píst je přes pístovou tyč napojena ojnice, která přes klikový mechanismus roztáčí hnanou hřídel. Parní stroj však nedodává točivý moment spojitě, proti klepání je na hnané hřídeli připojeno velké závaží zvané setrvačnick, které zajišťuje hladký chod parního stroje. [3][5]

Existuje řada parních motorů, které lze dělit různými způsoby, například dělení dle polohy válců. Nejběžnější jsou ležaté motory, mají velký výkon a snadno se obsluhují, jejich nevýhodou je náročnost na prostor. Stojaté motory jsou poněkud skladnější a dosahují vysokých otáček (až 3500 za minutu) a jsou často víceválcové, zato jsou složitější. Dále můžeme parní stroje dělit na plnotlaké a expanzní, u plnotlakých strojů se válec zcela naplní párou, u expanzních se pára ve válci rozpíná. Většina parních strojů je expanzních, jelikož spotřebují méně páry. [3][5]

3.2.2 Parní turbína

Parní turbíny se od parních strojů velmi liší. energii páry převádí na mechanickou práci pomocí rotorů, které jsou připojeny na hřídel a díky páře, která přes ně proudí, se točí. Aby se pára jen netočila kolem hřídele, následuje za každým rotorem stator. Ten vede páru zpět správným směrem, aby následující rotor mohl opět účinně točit hřídel. [6]

Teoreticky rozlišujeme dvě hlavní skupiny turbín: impulsní turbíny a reakční turbíny. Impulsní turbíny využívají pouze kinetickou energii páry, ta má tedy stejnou teplotu a tlak před i po průchodu rotorem. Naopak reakční turbína využívá pouze vnitřní energii a žádnou kinetickou energii. Skutečné turbíny jsou však kombinací těchto dvou, mohou být například 50 % reakční a 50 % impulsní. Na Obr. 1 je vyobrazena parní turbína. [6]



Obr. 1 – Ukázka hlavních částí parní turbíny [diagram autor]

4 Spalovací motory

Spalovací motory jsou nejrozšířenějšími tepelnými motory, využívají se v nejrůznějších zařízeních od motorových pil přes běžné automobily až po obrovské nákladní lodě. Využívají rozpínání plynu při výbuchu, ten tlačí píst a tím koná práci.

4.1 Historie spalovacích motorů

První zmínka o spalovacích motorech pochází z roku 1680, kdy fyzik Huygens navrhl spalovací motor poháněný střelným prachem. O 114 let později vyrobil dle plánů Johna Barbera Robert Street první spalovací motor, ten však byl prakticky nepoužitelný. Roku 1858 vytvořil inženýr Étienne Lenoir spalovací motor na svítiplyn, ten byl vůbec první úspěšný spalovací motor; byl užíván v průmyslu. [7][8]

Němec Nikolaus Otto po zdokonalení Lenoirova motoru roku 1876 vynalezl první čtyřdobý motor. V tuto dobu byl benzín považován za bezcennou složku ropy, Ognjen Stratonović ho však využil k pohonu prvního benzinového motoru. Později zdokonalil Gottlieb Daimler čtyřdobý motor přidáním karburátoru a opatřil jím automobil. První vznětový motor vyrobil Rudolf Diesel, ten se rychle ujal v těžkém průmyslu. [7][8]

Spalovací motory se od dob Otty a Daimlera nepřestaly vyvíjet, byly zdokonaleny a jejich výkon a účinnost stoupaly. V současnosti jsou prozkoumávány další paliva jako například zemní plyn či vodík za účelem snížení emisí. [7]

4.2 Fungování spalovacích motorů

Spalovací motory využívají rozpínání plynu při zahřátí. Aby plyn zahřál, spalují v něm palivo. Tuto energii převádí na mechanickou práci pomocí pístu, který přes klikové ústrojí točí hřídel. Palivo je tedy spalováno nespojitě v cyklech.

Spalovací motory můžeme dělit dle způsobu zapálení plynu na zážehové a vznětové. Dále je lze dělit dle počtu dob, které se cyklicky opakují. V této kapitole popíšeme nejdůležitější tři druhy: čtyřdobé zážehové, čtyřdobé vznětové a dvoudobé zážehové. [7]

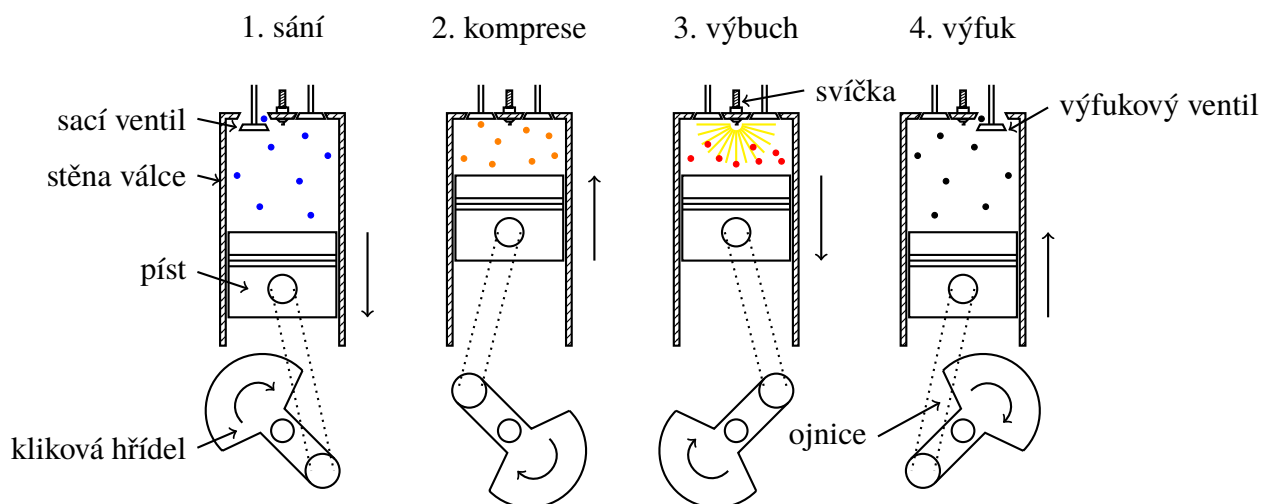
4.2.1 Čtyřdobý zážehový motor

Čtyřdobý zážehový motor je nejběžnější spalovací motor, pracuje ve čtyřech dobách: sání, komprese, expanze a výfuk. Tyto doby proběhnou za dvě otáčky klikové hřídele. Doby jsou popsány níže, graficky jsou znázorněny na Obr. 2. [9]

1. Sání: píst se pohybuje směrem dolů, tím zvětšuje pracovní prostor a tlak klesá. Skrz otevřený sací ventil do pracovního prostoru proudí vzduch smíchaný s palivem.
2. Komprese: píst se pohybuje směrem nahoru, oba ventily jsou uzavřeny. Tlak a teplota rostou, tím se tvoří směs, která je velmi snadno zážehnutelná.
3. Výbuch: elektrický výboj svíčky zážehne palivo, to se velice rychle spálí a s tím přichází vysoký tlak, který tlačí píst směrem dolů. V této době je konána užitečná práce.
4. Výfuk: po otevření výfukového ventilu proudí spaliny ven. Zbylé spaliny vytlačí píst při jeho pohybu směrem nahoru. Celý cyklus se opakuje.

V současnosti se velmi dbá na ekologii tepelných motorů. Výrobci se snaží vyrábět motory, které jsou účinné, tvoří méně škodlivých emisí a zároveň dosahují velkých výkonů. K tomu může vést vyšší kompresní poměr, komprese vzduchu vně motoru či snížení tepelných a mechanických ztrát. [9]

Čtyřdobé zážehové motory jsou hojně využívány nejen v automobilovém průmyslu, mezi jejich ostatní využití patří například letadla a motocykly.



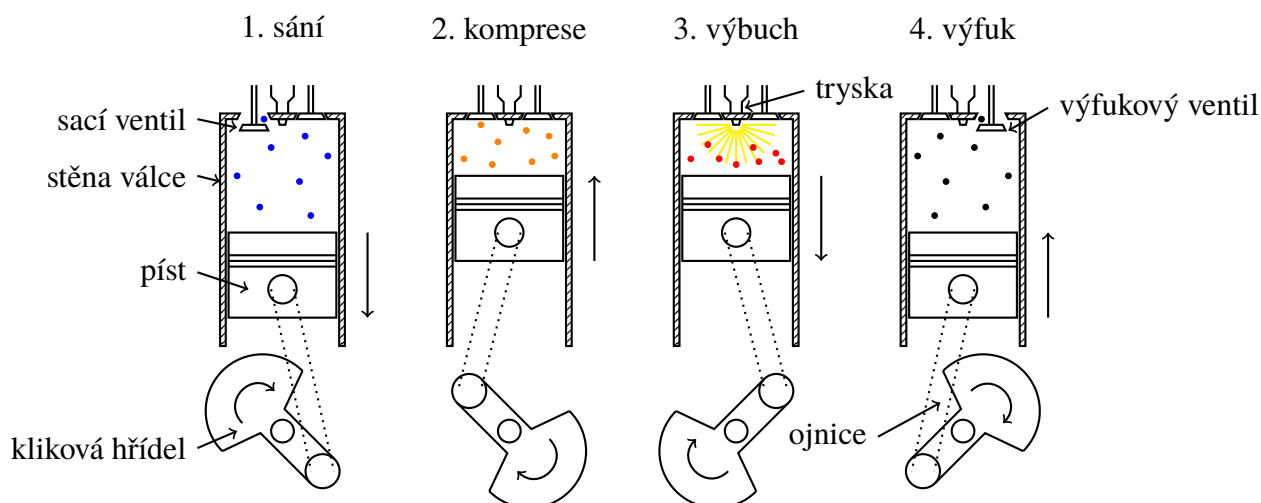
Obr. 2 – Pracovní cyklus čtyřdobého zážehového motoru [diagram autor]

4.2.2 Čtyřdobý vznětový motor

Čtyřdobý vznětový motor spaluje naftu. Stejně jako čtyřdobý zážehový motor pracuje ve čtyřech dobách, liší se v době sání a výbuchu. Tento motor je graficky znázorněn na Obr. 3. [10]

1. Sání: píst se pohybuje směrem dolů a pracovní prostor nad ním se plní čistým vzduchem bez paliva.
2. Komprese: píst se pohybuje směrem nahoru a oba ventily jsou zavřeny. Tlak a teplota rostou, konečná teplota se pohybuje v rozmezí 400–600 °C.
3. Výbuch: do žhavého vzduchu se vstříkne nafta, ta okamžitě vznítí. Vlivem vzniklého vysokého tlaku se píst pohybuje směrem dolů a koná užitečnou práci.
4. Výfuk: píst se pohybuje směrem nahoru a otevřeným výfukovým ventilem tlačí ven spaliny, cyklus se opakuje.

Vznětové motory se uplatňují v některých osobních automobilech, častěji je najdeme v nákladních automobilech, ve vlakové a lodní dopravě a jako pohon zemědělských, důlních a stavebních zařízení. [10]



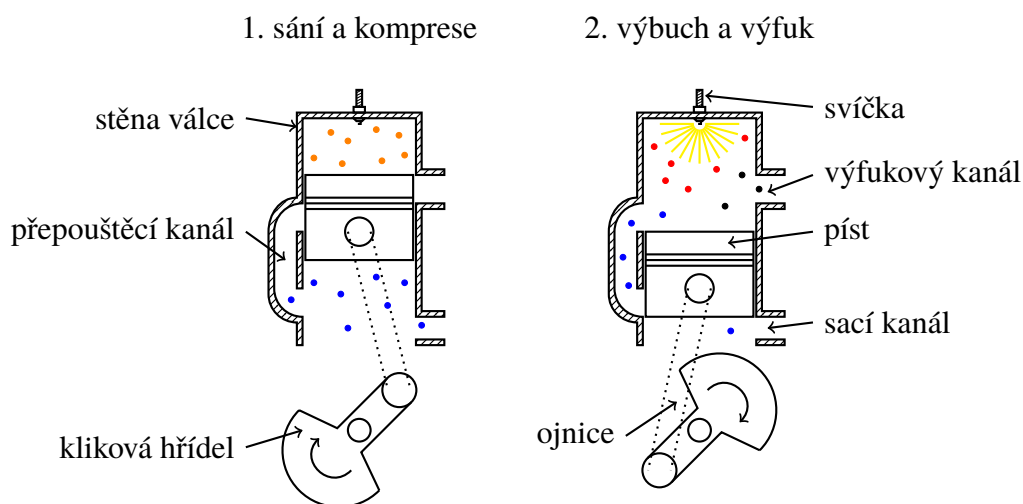
Obr. 3 – Pracovní cyklus čtyřdobého vznětového motoru [diagram autor]

4.2.3 Dvoudobý zážehový motor

Ve dvoudobém zážehovém motoru probíhají stejné čtyři děje jako ve čtyřdobých motorech ve dvou dobách. K tomu se využívá prostor pod pístem. Doby dvoudobého motoru jsou popsány níže, graficky jsou zobrazeny na Obr. 4. [11]

1. Sání a komprese: píst se pohybuje nahoru, pod něj je přiváděna směs vzuchu a paliva. Mezitím se směs nad pístem stlačuje.
2. Výbuch a výfuk: směs nad pístem se zažehne a tlačí píst dolů. Tím se odkryje výfukový kanál, kterým začnou unikat spaliny. Poté se odhalí přepouštěcí kanál, který z prostoru pod pístem přivede novou směs nad píst.

Dvoudobé motory jsou oproti čtyřdobým motorům jednodušší, přesto disponují velkým měrným výkonem. Užívají se v menších motocyklech a malé mechanizaci jako jsou například motorové pily nebo sekačky. Jsou však také méně účinné, tvoří více emisí a spalují olej. Zároveň nejsou jednoduše škálovatelné. V současnosti jsou nahrazovány malými čtyřdobými zážehovými motory. [11]



Obr. 4 – Pracovní cyklus dvoudobého vznětového motoru [diagram autor]

4.3 Výpočet hlavních parametrů spalovacích motorů

V této kapitole jsou popsány rovnice týkající se práce, výkonu a kroutícího momentu spalovacích motorů.

4.3.1 Práce

Jak již bylo zmíněno v kapitole 2.2, práci vypočítáme pomocí rovnice (3). [2]

$$W = Q_d - Q_o \quad (3)$$

W je práce [J]

Q_d je dodané teplo [J]

Q_o je odevzdané teplo [J]

Teplo Q_d je teplo dodané spalováním paliva. Odevzdané teplo Q_o je nevyužité teplo, které uniká například s výfukovými plyny či do chladiče motoru.

4.3.2 Výkon

Výkon udává množství práce, kterou dokáže motor vytvořit za určitý čas. Vypočítáme jej pomocí rovnice (4.1). [12]

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

P je výkon [W] (někdy se používá kůň, $1 \text{ kW} \approx 1,35 \text{ kůň}$)

W je práce [J]

t je čas, za který je práce konána [s]

Rovnice (4.1) obecně popisuje výkon, pro spalovací motory je však vhodnější využít rovnici (4.2). [12]

$$P = W \cdot \frac{ot}{n} \quad (4.2)$$

ot je počet otáček za sekundu [otáčky·s⁻¹]

n je počet pracovních dob za otáčku hřídele [-]

Počet pracovních dob za otáčku hřídele n se liší dle druhu motoru. Ve dvoudobých se n rovná 1 (pracovní doba proběhne každou otáčku), ve čtyřdobých je n 2 (pracovní doba proběhne každou druhou otáčku).

4.3.3 Kroutící moment

Kroutící moment (často také točivý moment) je síla, kterou se točí hřídel. Tuto sílu vypočítáme rovnicí (5). [13]

$$M_k = \vec{F} \cdot r \quad (5)$$

M_k je kroutící moment [N·m]

F je síla, kterou píst tlačí [N]

r je poloměr kružnice otáčení klikového hřídele [m]

5 Reaktivní motory

Reaktivní motory fungují na principu Newtonova třetího pohybového zákona, ten je vysvětlen v kapitole 5.2. Tyto motory urychlují plyn na vysoké rychlosti a využívají reakci vyvolanou touto akcí. Tato reakce tlačí motor vpřed.

5.1 Historie reaktivních motorů

Historie reaktivních motorů začala roku 1232, kdy Číňané využili raketový motor na střelný prach k zapálení mongolského tábořiště. O několik století později zaujaly rakety britského politika Williama Congreve, jeho rakety byly nasazeny v napoleonských válkách a ve válce USA za nezávislost. Vystupují i v americké státní hymně („*And the rockets' red glare*”). [14]

Roku 1930 získal angličan Frank Whittle patent na proudový motor a o sedm let později jej vyzkoušel, první proudové letadlo však nevyrobili angličané. Předběhli je němečtí inženýři, kteří roku 1939 opatřili letoun motorem HeS 3B s tahem 4,4 kN. [15]

Před druhou světovou válkou vytvořil Robert Goddard první raketový motor na kapalné palivo, za války jej použil jako zbraň. Němci využili raketové motory v raketě V2. Tato technologicky vyspělá zbraň velmi posunula raketovou vědu, stála však mnoho nevinných životů. [14]

Po válce se reaktivní motory rychle vyvíjely, britská firma Vickers za pomoci vědomostí získaných od Němců vyrobila dvouproudové motory. Reaktivní motory si později našli cestu i mimo vojenská využití, prvním civilním letadlem s proudovým motorem se stalo DH-106 Comet. V současnosti jsou reaktivní motory hojně využívány v letectví a kosmonautice. [15]

5.2 Fungování reaktivních motorů

Abychom porozuměli reaktivním motorům, musíme znát Newtonův třetí pohybový zákon: zákon akce a reakce. Jeho české znění je následující: [16]

„Zákon III: Pro každou akci je vždy opačná a rovná reakce; jinak: vzájemné působení dvou těles je vždy stejně velké a míří na opačné strany. Cokoliv co táhne či tlačí na něco je stejně taženo či tlačeno. Pokud prstem zatlačíte na kámen, kámen také tlačí na prst.” [16]

Reaktivní motory tohoto využívají; velkou rychlostí vypuzují plyn, který působí silou $\vec{F}_1$ a vyvolává opačnou a sobě rovnou reakci $\vec{F}_2$, ta tlačí motor vpřed, nazýváme ji tah. Tento vztah můžeme zapsat rovnicí (6). [16]

$$\vec{F}_2 = -\vec{F}_1 \quad (6)$$

$\vec{F}_2$ je síla tahu [N]

$\vec{F}_1$ je síla plynu [N]

Dle konstrukce dělíme reaktivní motory na dvě skupiny: raketové a proudové motory. [15]

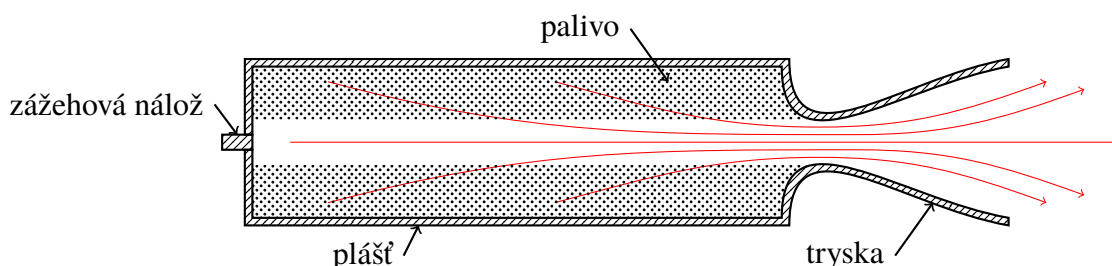
5.3 Raketové motory

Raketové motory za vysokých teplot a tlaků spalují palivo ve spalovací komoře. Spaliny unikají tryskou z motoru, čímž tvoří tah. [14]

Raketové motory dělíme na raketové motory na tuhé palivo a na kapalné palivo. [14]

5.3.1 Raketové motory na tuhé palivo

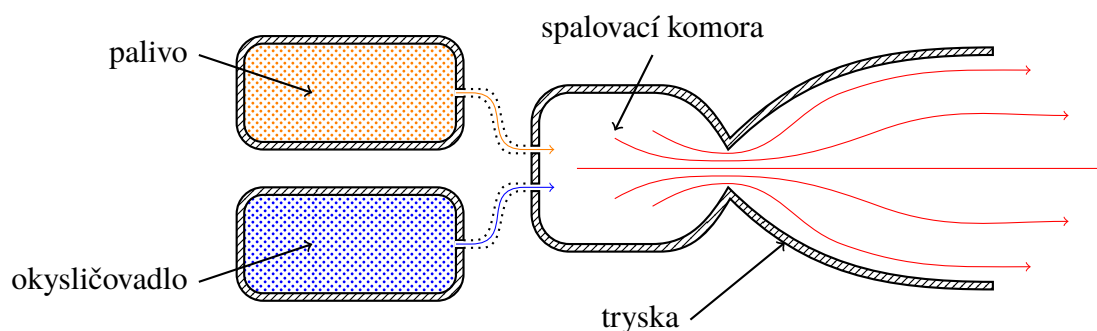
Raketový motor na tuhé palivo (viz Obr. 5) je nejjednodušším raketovým motorem, nemá žádné pohyblivé části. Jeho nejdůležitější částí je samotné tuhé palivo, to je ve spalovací komoře zžehnuto náloží a poté uniká skrze trysku. Z této jednoduchosti plyne jeho hlavní výhoda, kterou je cena. Jeho nevýhodou je neuhasitelnost spalování a neovladatelnost tahu. [14]



Obr. 5 – Schéma raketového motoru na tuhé palivo [diagram autor]

5.3.2 Raketové motory na kapalné palivo

Kapalné raketové motory využívají místo tuhého paliva palivo kapalné, to se za vysokého tlaku spolu s kapalným okysličovadlem spaluje ve spalovací komoře. Výhodou těchto motorů je dobré ovládání tahu a možnost opětného zážehu, nevýhodou je značně vyšší cena a komplexita. Tento motor je vyobrazen na Obr. 6. [14]



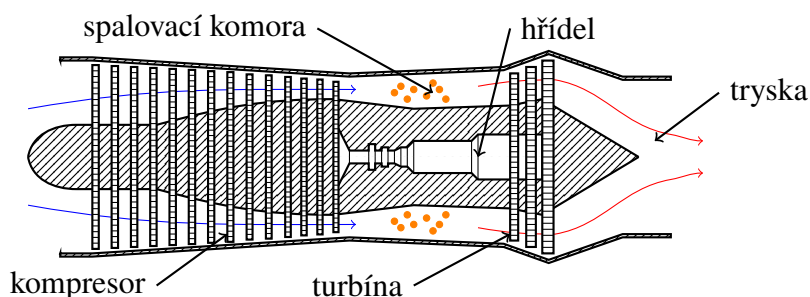
Obr. 6 – Schéma raketového motoru na kapalné palivo [diagram autor]

5.4 Proudové motory

Proudové motory urychlují nasátý vzduch za pomoci spalování. Dělají to různými způsoby, většina proudových motorů má čtyři části. Nejprve kompresor stlačí nasátý vzduch, poté je tento vzduch ve spalovací komoře obohacen o palivo a spálen. Následně žhavé spaliny točí turbínou, která zpětně pohání kompresor. Poslední částí je tryska, skrze kterou je vysokou rychlostí vyfukován plyn, čímž motor tvoří tah. Proudové motory dělíme dle konstrukce na dvě hlavní skupiny: jednoproudové a dvouproudové motory. [15]

5.4.1 Jednoproudové motory

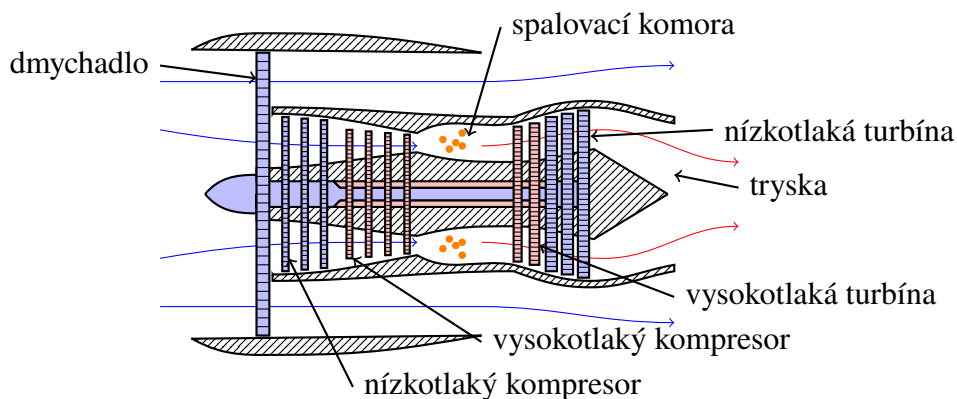
Tyto motory jsou oproti dvouproudovým motorům jednoduché, jsou však méně účinné, a proto jsou jimi v současnosti mnohdy nahrazeny. Dříve se pro jejich jednoduchost využívaly ve větších proudových letadlech, pro jejich vyšší výkon se využívají převážně pro vojenské účely. Příklad jednoproudového motoru naleznete na Obr. 7. [15]



Obr. 7 – Schéma jednoproudového motoru [diagram autor]

5.4.2 Dvouproudové motory

Dvouproudové motory rozdělují proud ve dva. Oba proudy se nasají dmychadlem a poté se rozdělí na vnitřní a obtokový. Vnitřní proud pokračuje jádrem motoru do kompresoru, postupuje skrze spalovací komoru a turbínu až do trysky, kde se spojí s obtokovým proudem a tvoří tah. Vzniká také nový parametr: obtokový poměr. Obecně lze říci, že čím vyšší je obtokový poměr, tím účinnější je motor. Zároveň platí, že čím nižší je, tím vyšší má výkon. Protože jsou dvouproudové motory účinnější, jsou využívány ve valné většině civilních i vojenských letounů. Jeho konstrukce je popsána na Obr. 8. [15]



Obr. 8 – Schéma dvouproudového motoru [obrázek autor]

5.5 Výpočet hlavních parametrů reaktivních motorů

V této kapitole vysvětlím rovnice o reaktivních motorech, přesněji rovnice pro výpočet tahu raketových a proudových motorů. Také popíši rovnici pro specifický impuls.

5.5.1 Tah raketových motorů

Tah raketového motoru můžeme vypočítat pomocí rovnice (7). [17]

$$\vec{F} = \dot{m} \cdot v \quad (7)$$

$\vec{F}$ je tah [N]

$\dot{m}$ je hmotnostní průtok [$\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$]

v je výstupní rychlost [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]

5.5.2 Tah proudových motorů

Tah je jedním z nejdůležitějších parametrů proudového motoru, vypočítáme jej rovnicí (8). [17]

$$\vec{F} = \dot{m}_1 \cdot v_1 - \dot{m}_0 \cdot v_0 \quad (8)$$

$\vec{F}$ je tah [N]

$\dot{m}_1$ je výstupní hmotnostní průtok [$\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$]

v_1 je výstupní rychlost [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]

$\dot{m}_0$ je vstupní hmotnostní průtok [$\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$]

v_0 je vstupní rychlost [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]

5.5.3 Specifický impuls

Specifický impuls je parametr, díky kterému lze snadno porovnávat různé proudové motory. Motor s vyšším specifickým impulsem je účinnější, jelikož na daný hmotnostní průtok vyvine větší tah. K výpočtu specifického impulsu raketového motoru využijeme rovnici (9.1). [17]

$$I_s = \frac{\vec{F}}{\dot{m} \cdot \vec{g}_0} \quad (9.1)$$

I_s je specifický impuls [s]

$\vec{F}$ je tah [N]

$\dot{m}$ je hmotnostní průtok [$\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$]

$\vec{g}_0$ je gravitační zrychlení na zemi ($9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$) [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$]

Pokud chceme vypočítat specifický impuls proudového motoru, místo celkového hmotnostního průtoku použijeme pouze hmotnostní průtok paliva, viz rovnice (9.2).

$$I_s = \frac{\vec{F}}{\dot{m}_f \cdot \vec{g}_0} \quad (9.2)$$

$\dot{m}_f$ je hmotnostní průtok paliva [$\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$]

6 Úvod do praktické části

V této kapitole je popsána tvorba učebních pomůcek. Mým cílem bylo vytvořit materiály, které učitelé mohou snadno využít při výuce tepelných motorů a které budou studenty bavit. Toho jsem docílil použitím 3D grafiky a animace. Věřím, že žák, kterého výuka baví, si více zapamatuje a více se naučí.

Vzhledem k mým zkušenostem s *open source softwarem* Blender pro 3D tvorbu jsem se rozhodl využít právě tento program. Blender nabízí mnoho nástrojů v okruhu 3D modelování, animace a renderování. Nejprve jsem vytvořil 3D animace jednotlivých tepelných motorů, ty jsou samostatně dostupné ke stažení v příloze, slouží však především jako podklad pro další výukové materiály, nikoliv jako samostatné výukové pomůcky.

Další výukovou pomůckou, kterou jsem vytvořil, je výukové video. To popisuje tepelné motory pomocí názorné a dynamické 3D animace s hlasovým komentářem. Opět jsem využil *software* Blender spolu s programem Audacity pro nahrání hlasu a zvukové knihovny Soundly. Toto video může učitel promítat o hodině či zaslat žákům pro samostatné shlédnutí. Video je dostupné na platformě Youtube.

Dále jsem vytvořil 4 prezentace, první je určena pro obecné seznámení s tepelnými motory, zbylé tři podrobněji popisují každý druh těchto strojů. Pro snadné sdílení jsem využil služby Google Sheets, díky které mají učitelé a žáci snadný přístup k prezentačním odkudkoliv. Tyto prezentace obsahují již zmíněné animace a vlastní ilustrační obrázky.

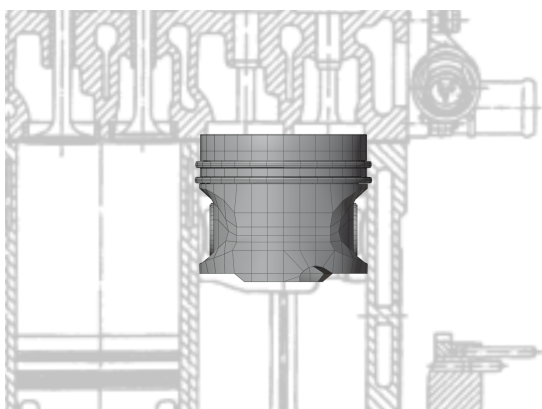
Poslední výukovou pomůckou jsou pracovní listy, ty jsem vytvořil pomocí sázecího softwaru L^AT_EX. První z nich je určen pro žáky základních škol, druhý pro žáky druhého stupně středních škol a gymnázií. Součástí jsou samozřejmě pracovní listy se správnými odpověďmi a návrh na hodnocení. Pracovní listy mohou sloužit pro procvičení či jako písemné práce.

Dohromady by tyto pomůcky měly pokrýt výuku jedné až tří vyučovacích hodin v závislosti na způsobu vyučování. Mým cílem bylo nejen vytvořit obsahově hodnotné materiály, ale také díky zajímavé grafické stránce zaujmout žákovu pozornost a vzbudit v něm zájem nejen o tepelné motory, ale o celou fyziku. V následujících kapitolách popíši tvorbu a návrh na použití mých materiálů. Na závěr jsem vyzkoušel své materiály ve výuce žáků druhého ročníku školy Gymnázium, Praha 6, Arabská 14.

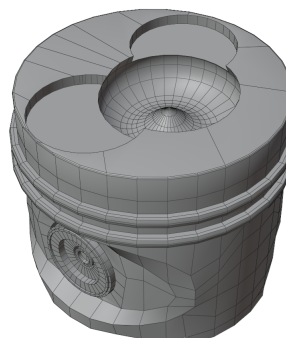
7 Animace

Pro tvorbu animací jsem využil *software* Blender, a to na základě mých předešlých zkušeností. Tvorbu animací popíši na příkladu čtyřdobého vznětového motoru *Volkswagen R4 8v 1.9 TDI*, ostatní animace jsem tvořil obdobně.

Nejprve jsem za pomoci technických výkresů vytvořil geometrii jednotlivých součástí daného motoru, v tomto případě pístu. Tvorba z výkresu (na Obr. 9 – vlevo) je standardním postupem, je však nutno používat i jiné zdroje a domýšlet si třetí rozměr. Na Obr. 9 – vpravo je hotový model pístu.

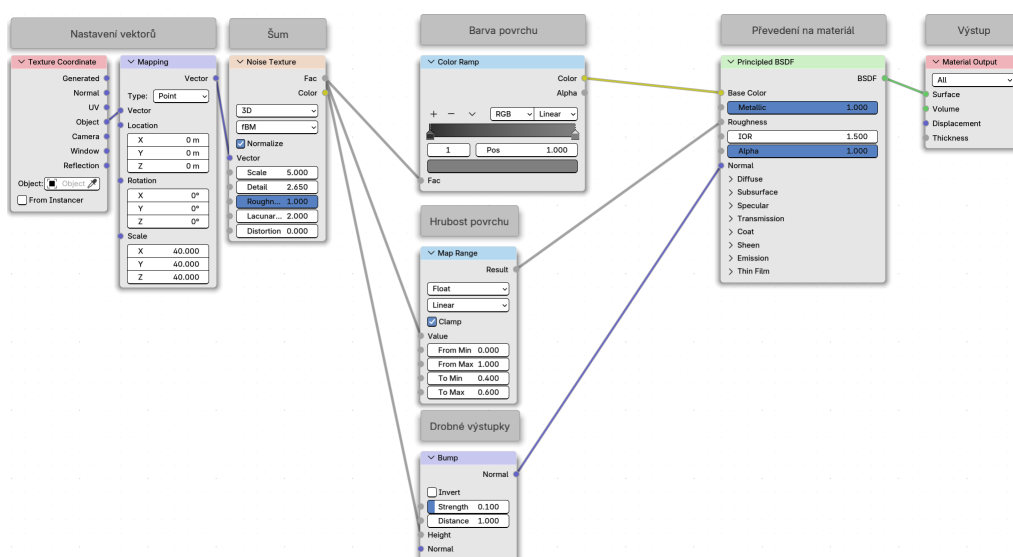


Obr. 9 – vlevo: Tvorba pístu motoru VW R4 8v 1.9 TDI s použitím technických výkresů [obrázek autor]



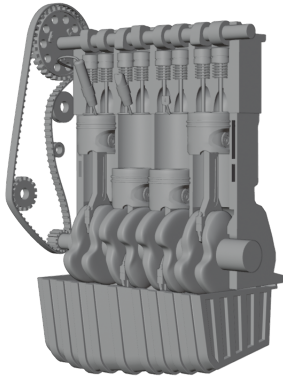
Obr. 9 – vpravo: Hotový píst motoru VW R4 8v 1.9 TDI [obrázek autor]

Po vytvoření všech součástí motoru je nutno přidat materiály, rozhodl jsem se je tvořit procedurálně. Tento postup, vyobrazen na Obr. 10, je tvořen různě spojenými operacemi, které určují, jak se má materiál chovat.

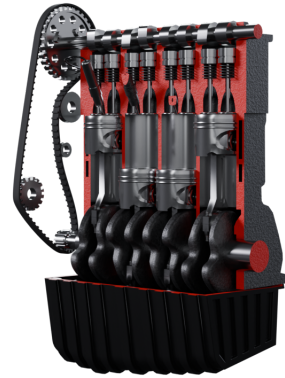


Obr. 10 – Ukázka procedurální tvorby materiálů [obrázek autor]

Na Obr. 11 – vlevo je motor *1.9 TDI* před přidáním materiálů, na Obr. 11 – vpravo po přidání materiálů. Plochy, kde byl motor rozříznut, jsem obarvil červeně.



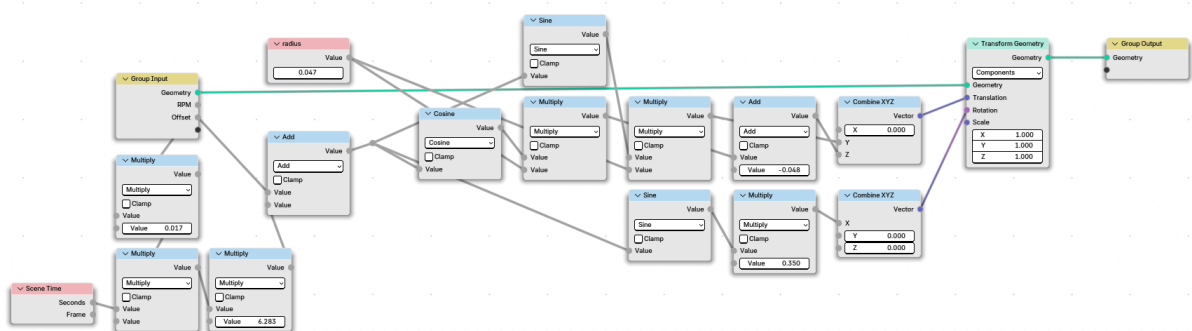
Obr. 11 – vlevo: Motor *1.9 TDI* před přidáním materiálů [obrázek autor]



Obr. 11 – vpravo: Motor *1.9 TDI* po přidání materiálů [obrázek autor]

Model motoru je dokončený, je však statický. Animace jsem přidal procedurálně, k tomu jsem využil geometry nodes. Ty dokáží nedestruktivně, tedy způsobem, při kterém nedochází k nevratným změnám, upravovat geometrii modelů. Tvorba animace parní turbíny, proudových a raketových motorů byla poměrně jednoduchá, nejsložitější byla animace čtyřdobých motorů a parního stroje, a to kvůli jejich komplexním klikovým mechanismům.

Hotová předpis pro procedurální animaci vypadá v Blenderu takto: Obr. 12.



Obr. 12 – Ukázka procedurální animace ojnice motoru 1.9 TDI [obrázek autor]

Podobným způsobem jsem animoval i otevírání a zavírání ventilů. Nakonec jsem přidal barevná „vlákna“, která zobrazují pohyb plynu v motoru (Obr. 13).



Obr. 13 – „Vlákna“ zobrazující pohyb plynu [obrázek autor]

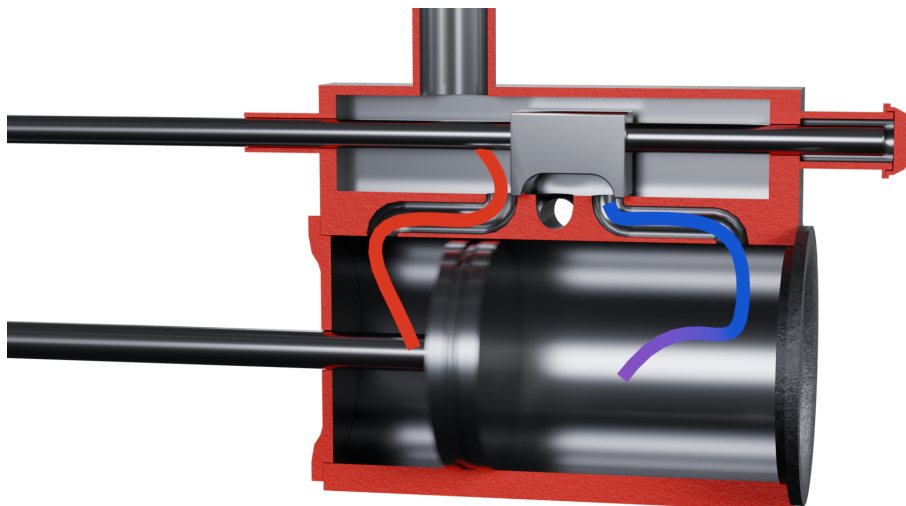
Posledním krokem je převedení 3D modelu na obrázek, tento proces je hlouběji popsán v kapitole Renderování (8.2.6). K tomu jsem použil zabudovaný *render engine* Cycles, který věrně mimikuje chování skutečného světla. Produkt tohoto postupu je na Obr. 14.



Obr. 14 – Hotový motor *Volkswagen R4 8v 1.9 TDI* [obrázek autor]

7.1 Animace parního stroje

Jako příklad parního stroje jsem vytvořil ležatý dvojčinný parní stroj se šoupátkovým rozvodem, ten můžete vidět na Obr. 15. Tento motor jako jediný není založen na žádném skutečném motoru.

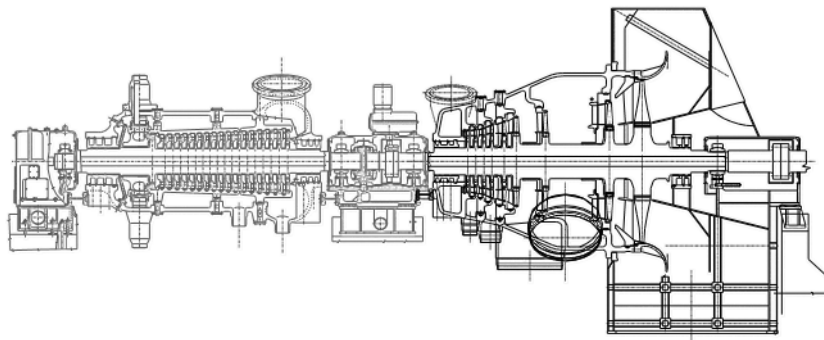


Obr. 15 – Model parního stroje [obrázek autor]

Animace je dostupná ke stažení v přílohách zde: Příloha č. 1.

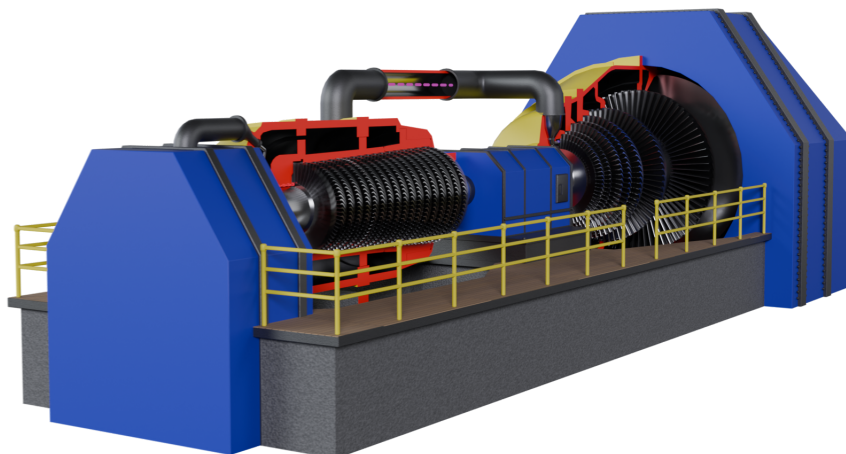
7.2 Animace parní turbíny

Vytvořil jsem 3D model parní turbíny *MTD-50* společnosti *Doosan Škoda Power*. Pro tvorbu modelu jsem využil technického výkresu na Obr. 16.



Obr. 16 – Technické výkresy parní turbíny *MTD-50* [18]

Hotový model turbíny je na Obr. 17.

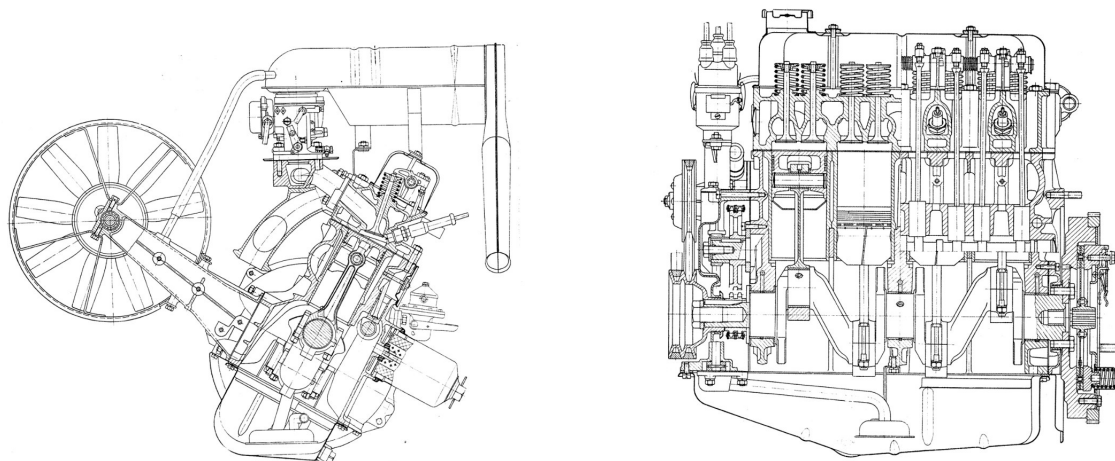


Obr. 17 – Model parní turbíny *MDT-50* [obrázek autor]

Animace je dostupná ke stažení v přílohách zde: Příloha č. 2.

7.3 Animace čtyřdobého spalovacího motoru

Jako příklad čtyřdobého spalovacího motoru jsem vybral motor *Škoda 1000 MB*. Použil jsem výkresy Obr. 18 – vlevo a Obr. 18 – vpravo.



Obr. 18 – vlevo: Průřez motoru *Škoda 1000 MB* [19] Obr. 18 – vpravo: Bok motoru *Škoda 1000 MB* [19]

Výsledek mé práce je na Obr. 19.

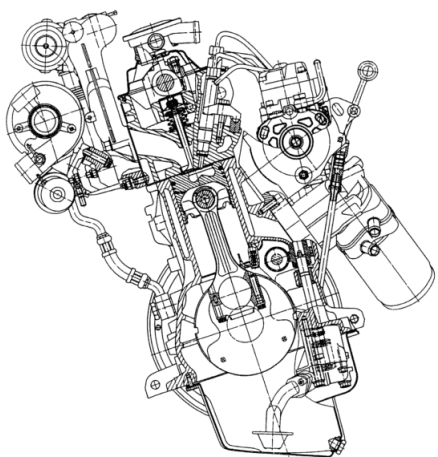


Obr. 19 – Model čtyřdobého zážehového motoru *Škoda 1000 MB* [obrázek autor]

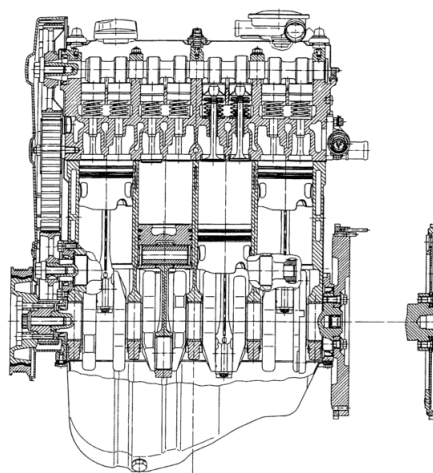
Animace je dostupná ke stažení v přílohách zde: Příloha č. 3.

7.4 Animace čtyřdobého vznětového motoru

Za předlohu pro čtyřdobý vznětový motor jsem vybral motor *Volkswagen R4 8v 1.9 TDI*. Pro tvorbu 3D modelu jsem využil technické výkresy Obr. 20 – vlevo a Obr. 20 – vpravo.

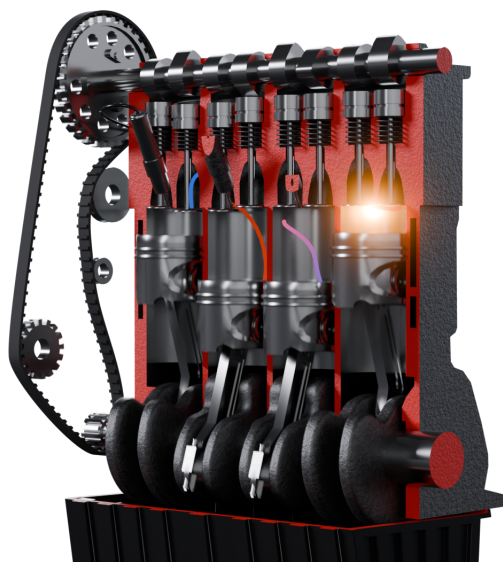


Obr. 20 – vlevo: Průřez motoru *Volkswagen R4 8v 1.9 TDI* [20]



Obr. 20 – vpravo: Bok motoru *Volkswagen R4 8v 1.9 TDI* [20]

Hotový model motoru *Volkswagen R4 8v 1.9 TDI* je na Obr. 21.

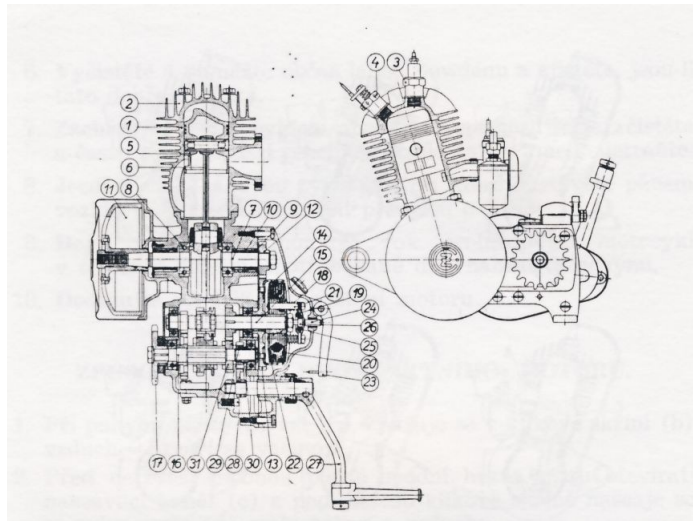


Obr. 21 – Model motoru *Volkswagen R4 8v 1.9 TDI* [obrázek autor]

Animace je dostupná ke stažení v přílohách zde: Příloha č. 4.

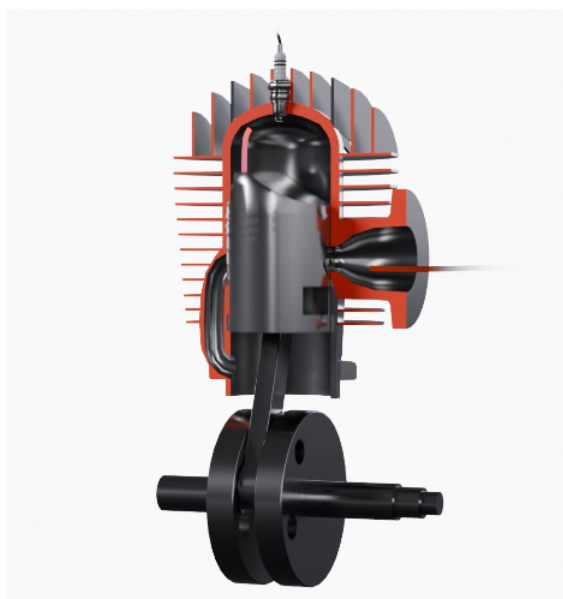
7.5 Animace dvoudobého zážehového motoru

Jako příklad dvoudobého zážehového motoru jsem vybral motor z motocyklu *Jawa-ČZ 175*. Jako podklady pro tvorbu modelu jsem využil technické výkresy Obr. 22.



Obr. 22 – Výkresy motoru *Jawa-ČZ 175* [21]

Hotový model je na Obr. 23.

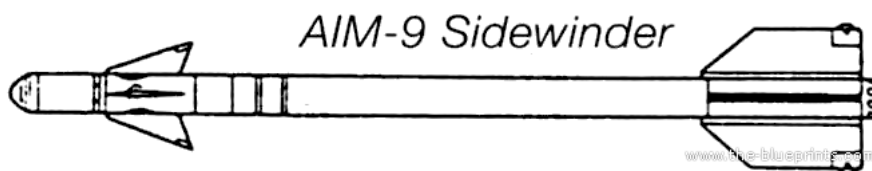


Obr. 23 – Model dvoudobého zážehového motoru *Jawa-ČZ 175* [obrázek autor]

Animace je dostupná ke stažení v přílohách zde: Příloha č. 5.

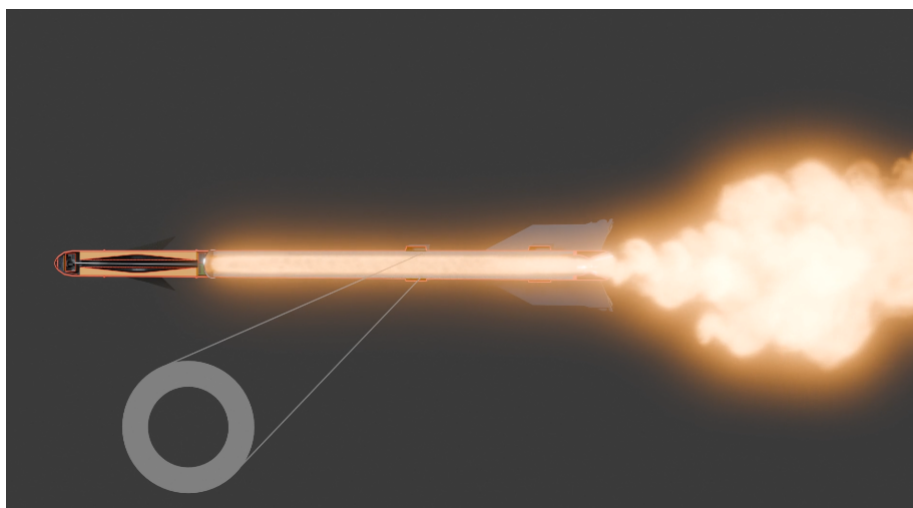
7.6 Animace raketového motoru na tuhé palivo

Jako příklad raketového motoru na tuhé palivo jsem vybral *Hercules/Bermite Mk. 36* z naváděné rakety *AIM-9 Sidewinder*. Jako podklad pro model jsem použil technický výkres Obr. 24. Pro tuto animaci jsem se rozhodl změnit barvu pozadí na tmavě šedou, aby lépe vynikl plamen, také jsem zobrazil průřez palivem.



Obr. 24 – Technický výkres rakety *AIM-9 Sidewinder* [22]

Dokončený model je na Obr. 25.

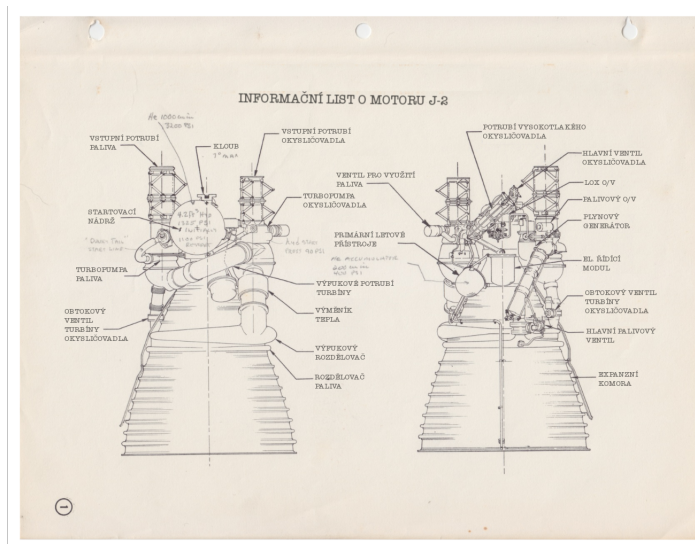


Obr. 25 – Model raketového motoru na tuhé palivo *Hercules/Bermite Mk. 36* [obrázek autor]

Animace je dostupná ke stažení v přílohách zde: Příloha č. 6.

7.7 Animace raketového motoru na kapalné palivo

Vytvořil jsem model motoru *Rocketdyne J-2*. Jako podklad pro tvorbu jsem využil technický výkres na Obr. 26. Ze stejného důvodu jako u raketového motoru na tuhé palivo jsem zvolil tmavě šedé pozadí.



Obr. 26 – Výkres raketového motoru *Rocketdyne J-2* [23, přeloženo]

Hotový model naleznete na Obr. 27.

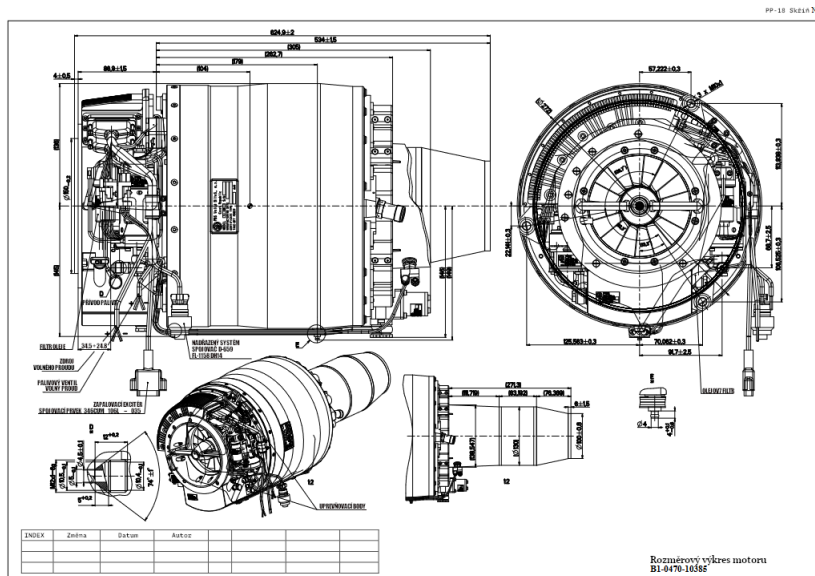


Obr. 27 – Model raketového motoru na kapalné palivo *Rocketdyne J-2* [obrázek autor]

Animace je dostupná ke stažení v přílohách zde: Příloha č. 7.

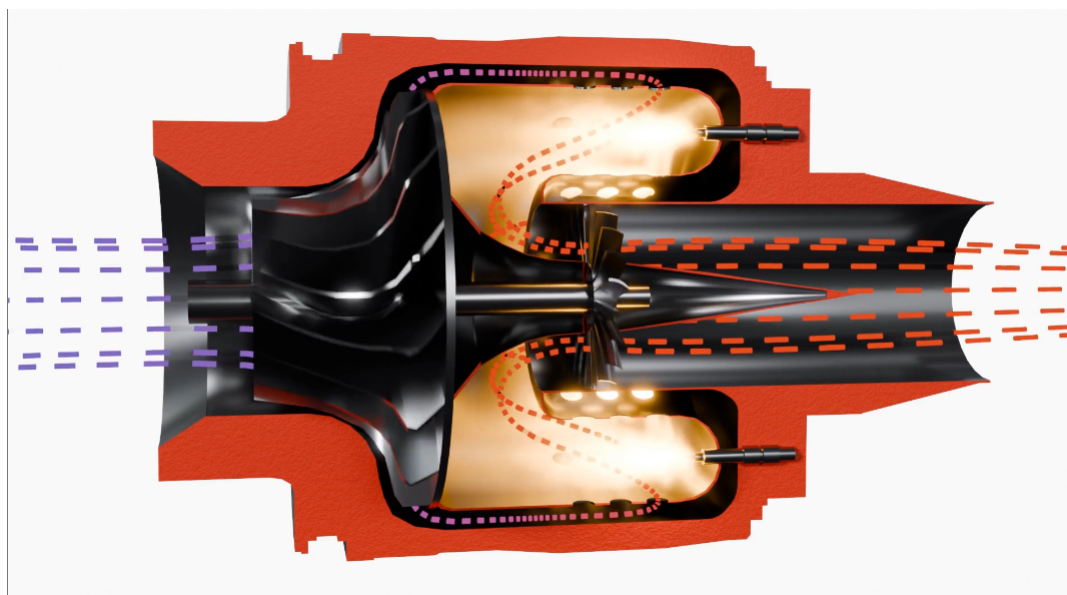
7.8 Animace jednoproudového motoru

Vytvořil jsem model kompaktního jednoproudového motoru *PBS Velká Bíteš TJ100*. Pro tvorbu modelu jsem využil výkresy Obr. 28.



Obr. 28 – Výkresy jednoproudového motoru *PBS Velká Bíteš TJ100* [24, přeloženo]

Model motoru TJ100 je na Obr. 29.

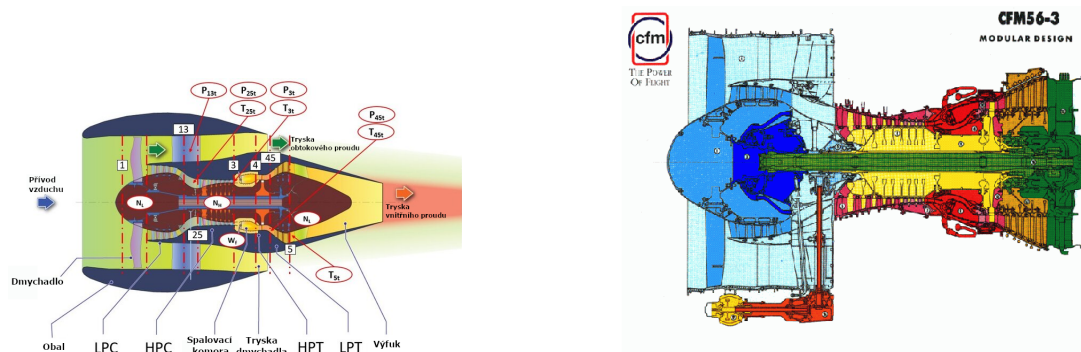


Obr. 29 – Model jednoproudového motoru *PBS Velká Bíteš TJ100* [obrázek autor]

Animace je dostupná ke stažení v přílohách zde: Příloha č. 8.

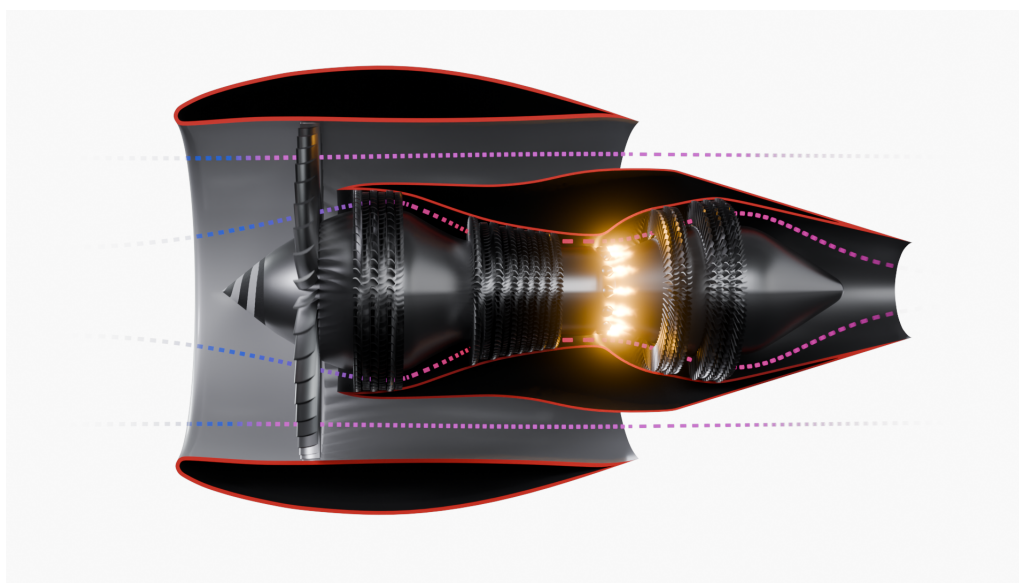
7.9 Animace dvouproudového motoru

Na popis fungování dvouproudového motoru jsem vybral motor *CFM International CFM56*, který je jedním z nejrozšířenějších proudových motorů vůbec. Ke tvorbě jsem využil výkresy Obr. 30 – vlevo a Obr. 30 – vpravo.



Obr. 30 – vlevo: Výkres motoru *CFM56* [25] Obr. 30 – vpravo: Výkres motoru *CFM56* [26, upraveno]

Hotový model je na Obr. 31.



Obr. 31 – Model dvouproudového motoru *CFM International CFM56* [obrázek autor]

Animace je dostupná ke stažení v přílohách zde: Příloha č. 9.

8 Video

Jedním z nejdůležitějších výstupů mé práce je krátké výukové video. V této kapitole popíši a odůvodním svůj postup při jeho tvorbě. Video je dostupné na platformě YouTube (viz odkaz: <https://www.youtube.com/watch?v=vvIy9x1V8KU>) a také v plné kvalitě v přílohách zde: Příloha č. 10.

8.1 Předprodukce

Proces tvorby videa začal již před začátkem samotné 3D tvorby, nejprve jsem si stanovil cíle a vytvořil přibližný plán videa, který jsem poté rozšířil do scénáře.

8.1.1 Cíl videa

Nejprve jsem si musel rozmyslet, čeho se vlastně snažím dosáhnout. Cílem mého videa je zábavně a dynamicky vysvětlit žákům látku tepelných motorů, video by zároveň nemělo být příliš dlouhé a mělo by být lehce vstřebatelné a názorné.

Abych dosáhl tohoto cíle, musel jsem vytvořit krátký, ale také dostatečně obsáhlý scénář, pomocí kterého lze účinně vysvětlit látku tepelných motorů. Samotný mluvený výklad by mohl působit nudně a nezajímavě, proto jsem pro zpestření využil 3D animaci. Snažil jsem se, aby bylo video srozumitelné a zároveň žáky zaujalo.

8.1.2 Plánování a scénář

Video je celé synchronizované s hlasovým komentářem, toto načasování by mohla rozhodit i drobná změna intonace či tempa výkladu. 3D animace je velmi složitý a časově náročný proces, a proto abych předešel opakování práce, vytvořil jsem nejprve detailní scénář, kterého jsem se později musel pevně držet.

Na tomto videu jsem s nikým nespolečně pracoval, můj scénář tedy nemusel být psán ve formátu skutečných scénářů pro film či reklamu. Důležité bylo, abych mu dokázal porozumět já sám. Postačil jednoduchý textový dokument s barevným zvýrazněním, k jeho vytvoření jsem použil textový *editor* Google docs.

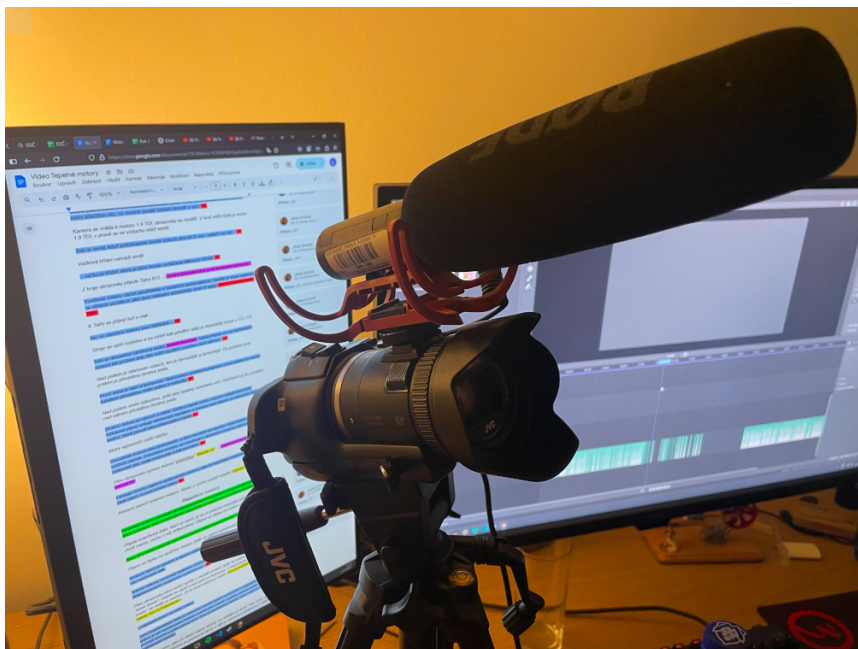
8.2 Produkce

V této kapitole je popsána samotná tvorba videa, ta probíhala téměř výhradně v prostředí *softwaru* Blender. Nejprve jsem nahrál hlasový doprovod, poté jsem vytvořil modely, které jsem následně rozhýbal a obarvil. Nakonec jsem vše vyrenderoval a připravil na postprodukci.

8.2.1 Hlasový doprovod

Hlasový doprovod je základem celého videa, řídí se dle něj veškeré vizuály. Logicky byl tedy první částí, na které jsem začal pracovat.

Zvuk jsem nahrával se zapůjčeným mikrofonom *RØDE VideoMic Rycote*. Tento mikrofon nelze přímo připojit k počítači, proto jsem jako mezičlánek využil kameru *JVS GC-PX100 BE*. Vše jsem umístil na stativ, abych mikrofon umístil do správné pozice. Hotová sestava je na Obr. 32.



Obr. 32 – Nahrávací sestava [foto autor]

Dohromady jsem nahrál přibližně hodinové video, ze kterého jsem ponechal pouze zvukovou stopu. Odebral jsem části, kde bylo ticho či kde jsem udělal chybu při čtení scénáře. Nakonec zbylo pouhých třiatdvacet minut použitelných pro účely videa. Již takto brzo v procesu tvorby bylo patrné, že video bude dlouhé přibližně osm minut.

Jelikož jsem nahrával v domácím prostředí, ve zvukové stopě šel slyšet šum. Tento šum jsem odebral pomocí *softwaru* Audacity, konkrétně jsem využil funkci *noise gate*.

Naopak pro část, kde odpočítávám start rakety, jsem potřeboval zvuk degradovat. Využil jsem opět *software* Audacity. Přidal jsem šum, fázový posun a ozvěnu, omezil jsem vysoké a nízké frekvence a na závěr jsem snížil vzorkovací frekvenci na 8000.

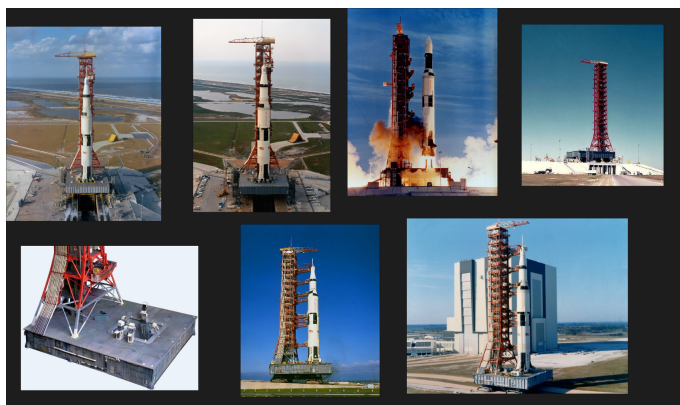
Výsledkem této části je velice kvalitní zvuková stopa, dle které budu časovat animaci videa.

8.2.2 Modelování

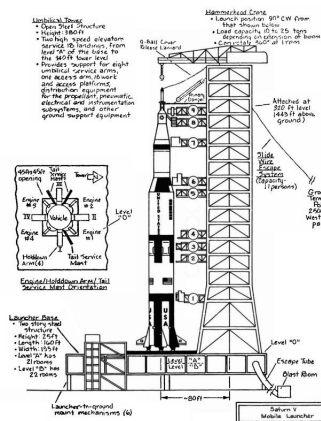
Mimo 3D modely samotných motorů, jejichž tvorbu jsem vysvětlil v kapitole Animace (7), jsem vytvořil i mnoho modelů pro dovysvětlení či vizuální zpestření. Většinou jde o motory vozidel. V této kapitole vysvětlím 3D modelování ještě podrobněji.

Tvořit modely lze dvěma způsoby: destruktivní a nedestruktivní. Při destruktivním modelování měníme geometrii objektu přímo, posouváme body ve 3D prostoru a tím upravujeme tvar. Výhodou tohoto přístupu je jednoduchost a rychlost, model však nelze zpětně upravit. Nedestruktivní modelování spočívá v budování systémů, které vytvoří geometrii. Můžeme se proto kdykoliv vrátit a upravit jakoukoliv hodnotu. Tento způsob je však velmi zdoluhavý a pro některé modely příliš nepraktický. Oba tyto způsoby mají své místo, pro většinu modelů jsem však zvolil destruktivní či kombinovaný přístup.

Při tvorbě modelu velice pomůže předloha, ať už v podobě fotografií či technických plánek. Na Obr. 33 – vlevo je soubor referenčních obrázků pro tvorbu startovní plošiny pro raketu *Saturn V* organizovaný programem PureRef, 33 – vpravo je technický výkres této plošiny.



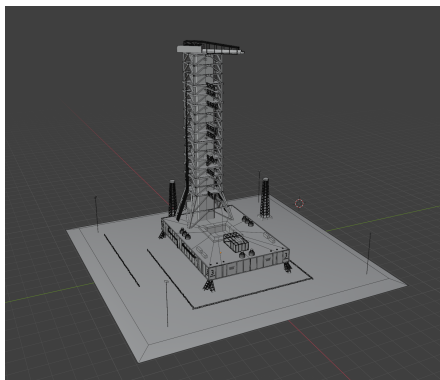
Obr. 33 – vlevo: Referenční obrázky pro tvorbu startovací plošiny, vytvořeno programem PureRef [obrázek autor]



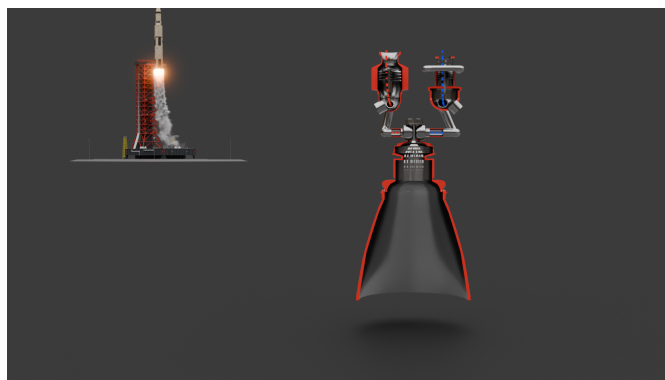
Obr. 33 – vpravo: Technický výkres startovací plošiny [27]

Po shromáždění obrázků začneme proces modelování, ten vysvětlím na této startovací plošině. Nejprve jsem si zvolil, který základní tvar je nejbližší tvořenému objektu; v tomto případě je to krychle. Tuto krychli jsem upravil do přibližného tvaru startovací plošiny. Pracuji ve skutečném měřítku, aby byl objekt po přidání do hlavní scény správně velký v porovnání s ostatními objekty. K této krychli jsem přidal různé detaily. Přístroje jsem vytvořil z menších krychlí a potrubí z válců.

Abych si usnadnil práci, využil jsem osové souměrnosti plošiny a vytvořil jsem tak pouze polovinu modelu. Také díky scénáři vím, že bude tato plošina daleko od kamery a jakým úhlem bude otočena. Nemusím tedy ztrácet čas modelováním detailů, které nepůjdou vidět. Hotový model je na Obr. 34 – vlevo, model ve videu je na Obr. 34 – vpravo.



Obr. 34 – vlevo: Model startovací plošiny [obrázek autor]



Obr. 34 – vpravo: Model startovací plošiny ve videu [obrázek autor]

Model je dokončen, jeho kvalita je samozřejmě subjektivní, můžeme však hodnotit několik objektivních kritérií:

Měli bychom se snažit o „správnou“ topologii. Obecně platí, že by objekt měl být tvořen přibližně stejně velkými čtyřúhelníky. Důležitější však je, aby nevznikaly žádné chyby při výpočtu stínů a aby se s modelem lehce pracovalo. Topologie startovací plošiny bezzávadná.

Dále by měl model použít co nejméně bodů za zachování vizuální věrnosti předloze, velké množství bodů by mohlo vést k zahlcení počítače (například naplnění paměti). Tato startovací plošina je tvořena 195 168 body, celé video obsahuje 8,5 milionů bodů.

Nejdůležitější však je, zdali model vypadá a působí přesvědčivě jako předmět, který představuje.

8.2.3 Materiály

Materiály určují, jak se světlo chová při interakci s objektem.

Lze je tvořit dvěma způsoby: můžeme použít *texture* (obrázky) a pokrýt jimi náš model. Tento způsob velice rychle docílí realistických výsledků, není však přizpůsobivý danému využití. Procedurální způsob naopak nabízí plnou kontrolu, tvoří ho jednoduché operace, které dohromady říkají Blenderu, jak se má světlo chovat při interakci s objektem.

Jelikož cílem tohoto projektu není věrná replikace skutečnosti a procedurální materiály jsou mi bližší, rozhodl jsem se je využít i pro tento projekt. Procedurální materiál se skládá z *nodů* (uzly, které upravují parametry), které jsou do sebe vzájemně zapojeny. Existuje přes 80 *nodů*, zde představím nejdůležitější z nich:

- Principled BSDF

Tento *node* je srdcem většiny materiálů, patří do kategorie *shaderů*. Ty uvádí, jak se má světlo chovat. Umožňuje nastavit například barvu, kovovost, drsnost, průhlednost či normály (ty vytváří iluzi trojrozměrného povrchu bez přidání geometrie).

- Principled Volume

Pokud jde o materiál plynu, využijeme tento *shader*. Můžeme nastavit hustotu, barvu, anizotropii lomu světla či záření plynu.

- Noise Texture

Tento uzel patří mezi generující *nody*. Generuje náhodný šum, můžeme upravit jeho velikost, detail, drsnost a vlnivost.

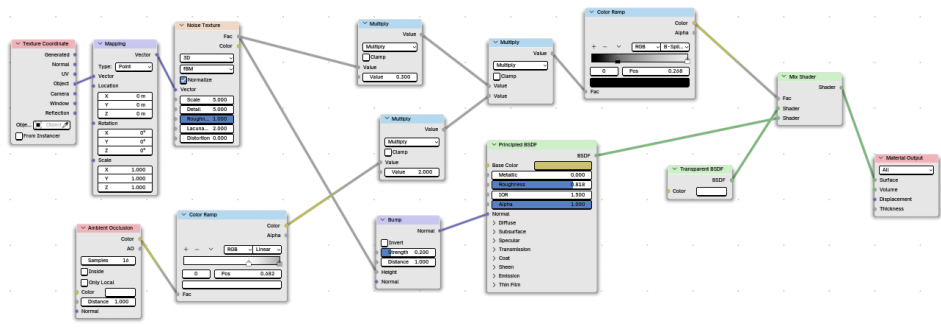
- Math Node

Patří mezi upravující *nody*, upravuje vstupní parametry pomocí různých aritmetických, trigonometrických a logických operací.

- Texture Coordinate

Umožňuje přístup k datům geometrie; můžeme získat například souřadnice, normály či UV mapu (ta se používá pro mapování 2D obrázků na 3D povrch).

Materiály se tvoří v *shader editoru*, v tomto okně přidáváme *nody*, viz Obr. 35.

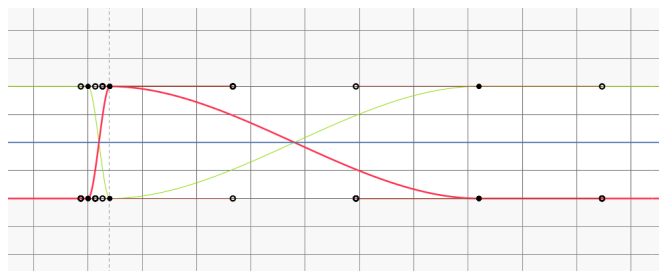


Obr. 35 – Tvorba materiálu v *shader editoru* [obrázek autor]

8.2.4 Animace

Modely jsou hotové, ale statické. Pro jejich pohyb je třeba je animovat. Využil jsem způsob animace, který je založen na přidávání klíčových snímků. Klíčový snímek obsahuje informace o tom, jakou hodnotu má mít daný parametr v daný čas. Můžeme tak nastavit pozici, rotaci a velikost objektů, upravit parametry jejich materiálů a další.

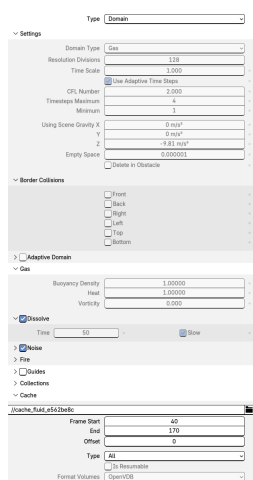
Pro detailnější ovládání klíčových snímků jsem využil graph editor, ten umožňuje přesněji měnit časování a nuance pohybu, ukázka graph editoru je na Obr. 36.



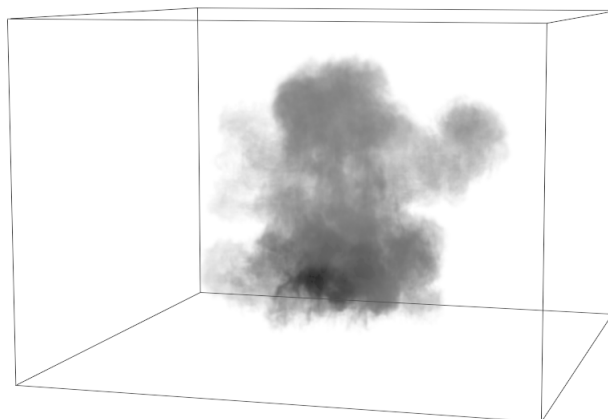
Obr. 36 – Zobrazení animace v graph editoru [obrázek autor]

Animace musela být synchronizována s komentářem, ten byl nastaven tak, aby se automaticky přehrával spolu s ní. Dále jsem využil i procedurálních animací pomocí geometry nodes. Tento přístup jsem zvolil pro animaci mechanismů, které mohou být vyjádřeny předpisy. Například animace pístů, ojníc, hřídelí, ventilů atd. Tímto způsobem jsem vytvořil i povrch vody v části „Parní motory”.

Posledním způsobem animace je simulace, tu jsem využil pro vytvoření fyzikálně založených objektů jako jsou například tuhá tělesa, částice, látky či plyny. Při tvorbě simulací je nutné správně nastavit vstupní hodnoty a poté nechat počítač simulaci vypočítat. Simulace často nevypadá tak, jak bychom si ji představovali, proto upravíme parametry a proces opakujeme, dokud nejsou výsledky uspokojivé. Příklad simulace a parametrů naleznete na Obr. 37.



Obr. 37 – vlevo: Parametry simulace [obrázek autor]



Obr. 37 – vpravo: Výsledný simulace [obrázek autor]

Obr. 37 – Simulace v prostředí *softwaru* Blender [obrázek autor]

8.2.5 Skutečné záběry

Abych propojil obsah videa se skutečností a tím poukázal na to, proč jsou tepelné motory důležité, rozhodl jsem se do videa přidat skutečné záběry. Záběry jsou pořízeny za jízdy automobilem pomocí mobilního telefonu.

Příklad skutečného záběru naleznete na Obr. 38.



Obr. 38 – Ukázka skutečného záběru z automobilu [foto autor]

Tyto záběry jsem využil v závěru videa.

8.2.6 Renderování

Trojrozměrná scéna je pouze sbírka nejrůznějších hodnot jako jsou pozice objektů, jejich geometrie, *textury*, síla světla a nesmírně mnoho dalších. Tato data se pomocí procesu zvaného renderování převedou na obrázky. Počítač simuluje odrazy paprsků světla a jejich dopady na kameru, poté zaznamená barvu a intenzitu do hodnoty *pixelu*, na který světlo dopadlo. Konkrétně jsem využil *path tracing render engine* Cycles, který věrně mimikuje skutečné světlo.

Na základě vlastních zkušeností a experimentace jsem zvolil tyto hodnoty (vypsány jen nejdůležitější):

- Resolution – 1920x1080 (HD)

Rozlišení výsledného videa, 1920x1080 je v současnosti jedno z nejrozšířenějších rozlišení. Pokud bych zvolil 2560x1440 či vyšší, čas renderování by se velice zvýšil.

- Frame Rate – 24

Počet snímků za sekundu videa, 24 je nejnižší standard který se používá.

- Max Samples – 1024

Nejvyšší počet paprsků, které dopadnou na jeden pixel. Výchozí hodnota je 4096, ta je však příliš vysoká a pro účely animace nedosažitelná.

- Persistent Data – Zapnuto

Zachovává data v operační paměti, razantně zrychlí renderování na úkor zvýšeného využívání operační paměti (desítky GB).

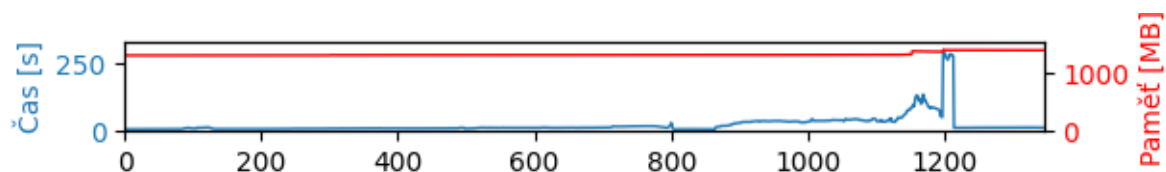
- View Transform – AgX

Způsob, kterým se vyhodnotí barva pixelu. Hlavní předností AgX je vyblednutí světlých objektů, stejně jako u skutečných kamer.

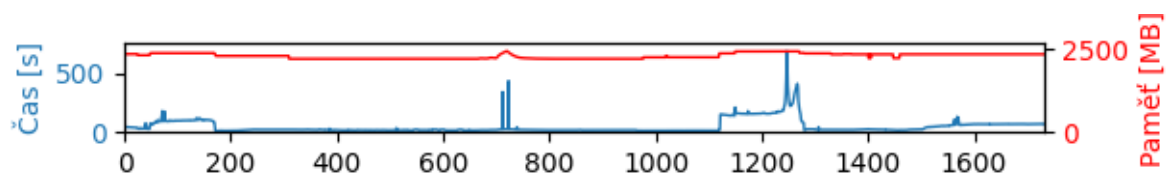
Dobu renderování však nejvíce ovlivňuje použitý *hardware*. Toto video jsem renderoval na velice výkonném pracovním počítači opatřeným grafickou kartou *Nvidia RTX 4080*, procesorem *AMD 9 7900X* a 32 GB operační paměti.

Produktem renderování v tomto případě není video, ale tisíce obrázků formátu *exr*. Tento způsob ukládání přináší mnoho výhod: render může být přerušen, části videa mohou být zpětně upraveny bez nutnosti opakovaného renderování a je zachována vysoká kvalita.

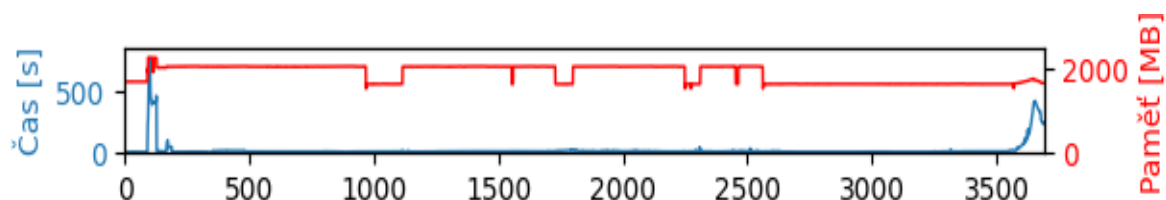
Do *metadat* obrázků jsem ukládal čas a paměť potřebnou k vykreslení snímku, pomocí vlastního programu napsaného v jazyce Python jsem vytvořil grafy, ty naleznete na Obr. 39. Celé video se renderovalo přes 120 hodin.



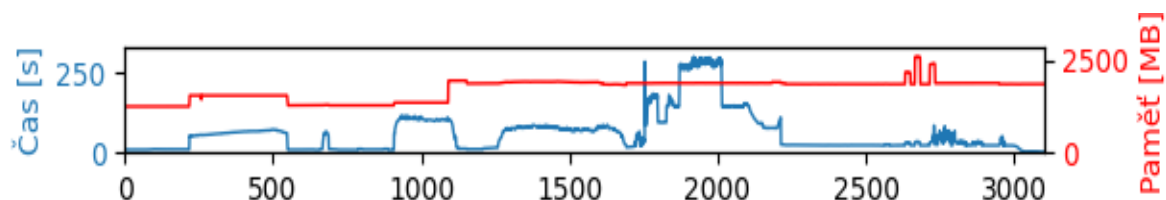
Obr. 39.1: Graf času a paměti potřebné k renderování části „Úvod” [graf autor]



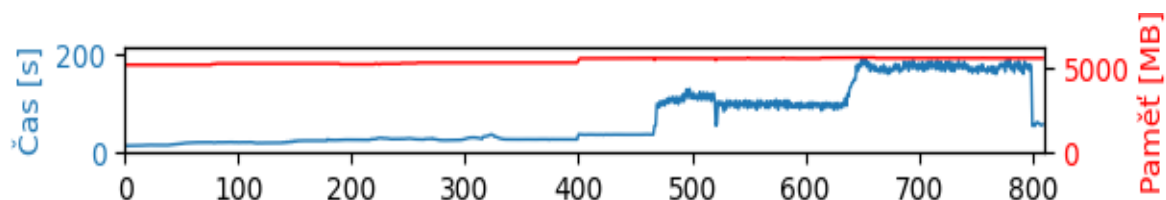
Obr. 39.2: Graf času a paměti potřebné k renderování části „Parní motory” [graf autor]



Obr. 39.3: Graf času a paměti potřebné k renderování části „Spalovací motory” [graf autor]



Obr. 39.4: Graf času a paměti potřebné k renderování části „Reaktivní motory” [graf autor]



Obr. 39.5: Graf času a paměti potřebné k renderování části „Shrnutí” [graf autor]

Obr. 39 – Grafy času a paměti potřebné k renderování

Tyto grafy jsou užitečné pro určení výpočetně náročných částí. Obecně je nejnáročnější renderovat plyny a modely s velkým množstvím bodů.

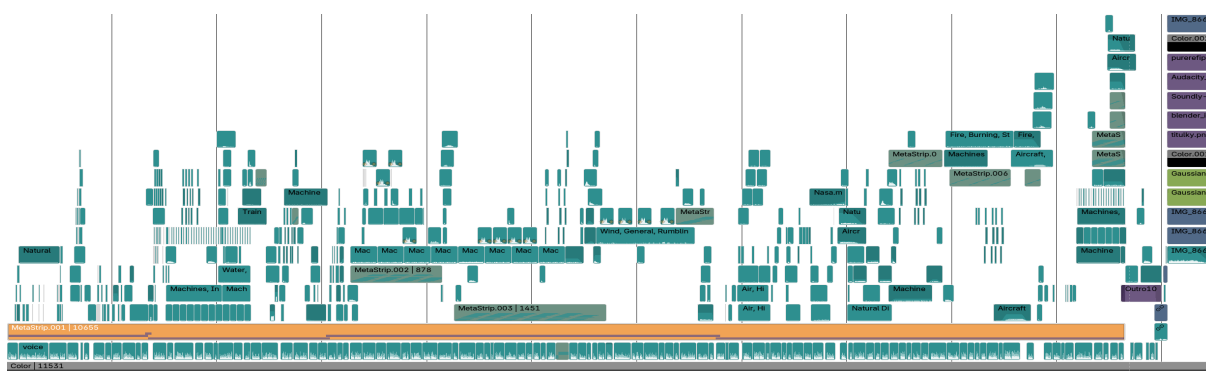
8.3 Postprodukce

Po vyrenderování ještě není hotovo. Je třeba převést video ze souborů exr na konvenční video soubor, seřadit video jej, přidat zvuk a nakonec ho exportovat a zveřejnit.

8.3.1 Střih a zvuk

Vyrenderované sekvence snímků jsem přidal do časové osy Blenderu, na konec videa jsem přidal skutečné záběry. V těchto skutečných záběrech jsem kvůli soukromí řidičů rozmazal poznávací značky vozidel.

Z knihovny zvuků Soundly jsem do osy přidal stovky zvuků, které doplňují vizuál videa. Osu po přidání zvuků vidíte na Obr. 40.



Obr. 40 – Osa videa po přidání zvuků [obrázek autor]

Většinou tyto zvuky patří mezi nezajímavé *whooshes* (hvízdnutí, pohyb větru), dopady, posuny a podobně. Přesto dodávají videu nutné zvukové pozadí tak, aby upoutaly pozornost.

8.3.2 Export a distribuce

Na závěr jsem video exportoval ve formátu FFmpeg a kontejneru MPEG-4. Pro maximální kompatibilitu jsem využil video kodek H.264 a audio kodek AAC. Pro zachování kvality jsem se rozhodl pro export se stálým datovým tokem.

Výsledné video jsem poté nahrál na platformu Youtube, přidal jsem náhledový obrázek, název a popis. Video je dostupné z odkazu: <https://www.youtube.com/watch?v=vvIy9x1V8KU>. Také je dostupné ke stažení v původní kvalitě v přílohách zde: Příloha č. 10.

9 Presentace a pracovní listy

Celkem jsem vytvořil 4 prezentace a 2 pracovní listy. Tyto pomůcky jsem vyzkoušel ve výuce. Jejich tvorba a zdokonalení na základě zkušeností nabytých ve výuce je popsáno v následujících podkapitolách.

9.1 Tvorba prezentací

Prezentace jsem tvořil v softwaru Google Slides, jsou dostupné v přílohách: Přílohy č. 11-14. Obecná prezentace „Tepelné motory“ zabere přibližně jednu vyučovací hodinu, a to i s příklady. Ostatní prezentace trvají přibližně 20 minut.

Cílem prezentací bylo účinně popsat látku tepelných motorů, toho jsem docílil stručnými body. Historie v prezentacích není příliš zastoupena, zaměřil jsem se na fungování a využití daných motorů. K vysvětlení fungování velmi pomohly animace.

9.1.1 Obsah prezentací

Prezentace obecně seznamují s tepelnými motory (nebo konkrétními druhy motorů). Nejprve přiblíží fungování, které učitel dále vysvětlí na animacích. Následují příklady využití. Ke každé skupině motorů jsou vysvětleny rovnice.

Na závěr jsou příklady. Učitel vždy vyvolá dva žáky, kteří budou soutěžit svými znalostmi. Žák, který jako první správně spočítá příklad, získá dobrou známku či body. Nejprve se odkryjí dvě zadání, pro každého žáka jedno (viz Obr. 41 – vlevo), jakmile ho žáci spočítají, učitel vysvětlí postup a výsledek na snímku Obr. 41 – vpravo.

⚠ Extra náročné

Stíhačky - tah proudového motoru

$$F = \dot{m}_1 \cdot v_1 - \dot{m}_0 \cdot v_0$$
$$\dot{m}_0 = \rho \cdot v_0 \cdot S$$

Vypočítejte tah stíhačky, letí rychlostí 540 km/h ve výšce 12 km, ρ je 0,8 kg/m³

$v_1 = 800$ m/s	$v_1 = 640$ m/s
$\dot{m}_1 = 125$ kg/s	$\dot{m}_1 = 150$ kg/s
$S = 0,9$ m ²	$S = 1,2$ m ²

Obr. 41 – vlevo: Dvě zadání příkladu, žáci soutěží v jeho spočítání [obrázek autor]

⚠ Extra náročné

Stíhačky - tah proudového motoru

$$F = \dot{m}_1 \cdot v_1 - \dot{m}_0 \cdot v_0$$
$$\dot{m}_0 = \rho \cdot v_0 \cdot S$$

Vypočítejte tah stíhačky, letí rychlostí 540 km/h ve výšce 12 km, ρ je 0,8 kg/m³

$v_1 = 800$ m/s	$v_1 = 640$ m/s
$\dot{m}_1 = 125$ kg/s	$\dot{m}_1 = 150$ kg/s
$S = 0,9$ m ²	$S = 1,2$ m ²

Správně použijeme dostupné informace, výška vůbec není potřeba. Převědeme rychlost na m/s a dosadíme hmotnostní průtok do rovnice pro tah:

$$F = \dot{m}_1 \cdot v_1 - (\rho \cdot v_0 \cdot S) \cdot v_0$$

$F = 83800$ N = 83,8 kN $F = 74400$ N = 74,4 kN

Obr. 41 – vpravo: Ukázka postupu a řešení příkladu [obrázek autor]

V úplném závěru prezentace jsem přidal QR kódy a odkazy, pomocí kterých lze snadno přecházet mezi prezentacemi. Také jsem přidal odkaz na své výukové video.

9.1.2 Vizuální stránka prezentací

Pro vizuální stránku prezentací jsem zvolil tmavě červené detaily doplněné ilustračními obrázky vozidel, ve kterých se daný typ motoru používá. Na Obr. 42 jsou popsány jednotlivé části tvorby takového obrázku.



Obr. 42.1: První hrubý model



Obr. 42.2: Hotový model



Obr. 42.3: Model s texturami



Obr. 42.4: Hotový snímek z prezentace

Obr. 42 – Proces tvorby ilustračního obrázku nákladního automobilu Tatra 813 [obrázek autor]

Dále jsem vytvořil obrázky, na kterých lze názorně vidět princip fungování daného motoru: pro parní motory jsem vytvořil obrázek tlakového hrnce, pro spalovací motory píst tlačení výbuchem a pro reaktivní motory vyfukující se balónek.

9.2 Tvorba pracovních listů

Vyrobil jsem pracovní list pro žáky základních škol a dvě verze pro středoškoláky. Tvořil jsem pomocí sázecího softwaru $\text{\LaTeX}$. Pracovní list pro základní školy jsem vyzkoušel ve výuce žáků druhého ročníku školy Gymnázium, Praha 6, Arabská 14 (více v podkapitole Použití pomůcek v praxi (9.3)). Pracovní listy by měly být používány spolu s prezentacemi, které jsem vytvořil v kapitole Prezentace a pracovní listy (9).

Pracovní listy jsou dostupné v přílohách zde: Přílohy č. 15-20.

9.2.1 Návrh na hodnocení pracovních listů

Učitel se při použití mých pracovních listů může řídit tímto návrhem, nebo může hodnotit dle vlastního úsudku. V obou případech mu práci usnadní opravené šablony pracovních listů, ty jsou také v přílohách.

V pracovním listu pro základní školy může žák získat nejvýše 23 bodů. První cvičení je velice jednoduché, proto ho doporučuji hodnotit přísně a za každou chybu strhnout bod z maximálních tří. Ve druhém cvičení ztratí žák bod za každý řádek, toto cvičení žáci bez problémů zvládají. Ve třetím cvičení doplňují žáci hodnoty do tabulky, za každý řádek s chybou ztratí bod. Cvičení 4 a 5 jsou za jeden bod, v odpovědi by se měly vyskytnout čísla motorů a odůvodnění. Ve cvičení 6 získá žák bod za nakreslení šipek a následně za správné popsání. Sedmé cvičení je velice jednoduché, za každou chybnou odpověď ztratí žák bod, takto doporučuji hodnotit i cvičení osm. Cvičení 9 a 10 jsou příklady, žák získá bod za správný převod, za dosazení do rovnic a za správný výsledek. Průměrně žáci získali 80% bodů (viz kapitola Použití pomůcek v praxi [9.3]).

Narozdíl od pracovních listů pro základní školy jsem pracovní listy pro střední školy nevyzkoušel. V prvních čtyřech cvičeních ztratí žák bod za každou špatnou odpověď, ve cvičení 5 za každý nesprávný řádek. Ve cvičení 6 ztratí žák bod za každou chybu. Cvičení 7 a 8 odpovídají cvičením 7 a 3 z pracovního sešitu pro základní školy, cvičení 9 je kombinací cvičení 4 a 5. Cvičení 10, 11 a 12 jsou příklady. Žák dostane 2 body za převod jednotek, dosazení do rovnic a výsledek, může se při tom dopustit drobné chyby a ztratí pouze jeden bod. Celkový počet bodů je 40.

9.3 Použití pomůcek v praxi

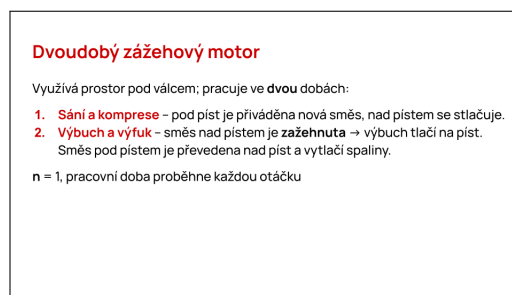
Pracovní list pro základní školy a prezentaci „Tepelné motory” jsem vyzkoušel ve výuce žáků druhého ročníku školy Gymnázum, Praha 6, Arabská 14. Učil jsem dvě hodiny, nejprve jsem učil třídu 2.B. Přednesl jsem prezentaci a poté rozdál pracovní papíry jako domácí úkol. Ve druhé hodině jsem učil třídu 2.A, rozdál jsem pracovní listy před hodinou, aby je žáci vyplňovali současně s prezentací a více se soustředili. Termín odevzdání byl o několik hodin později.

Mé materiály napoprvé nebyly perfektní. Prezentace potřebovala drobné úpravy, její následnost byla místy neohrabaná a nelogická. Tyto problémy jsem opravil upravením pořadí snímků a změnou či přidáním obrázků.

Žáci měli potíže s identifikací svíčky, přidal jsem tedy obrázek svíčky k vysvětlení zážehových motorů, aby na něj učitel mohl upozornit. Dále bylo složité vysvětlit počet pracovních dob za otáčku hřídele. Přidal jsem popisný text ke vzorci výkonu spalovacích motorů. Upravené snímky jsou na Obr. 43 – vlevo a Obr. 43 – vpravo.

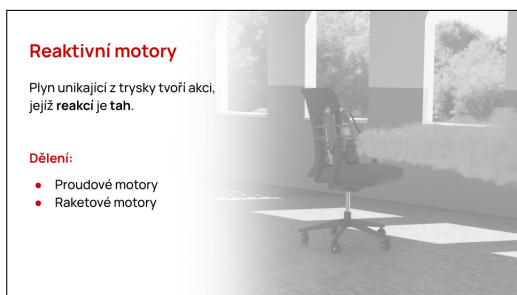


Obr. 43 – vlevo: Obrázek svíčky u vysvětlení čtyřdobých zážehových motorů [obrázek autor]

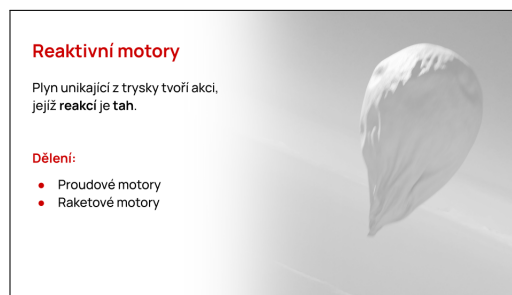


Obr. 43 – vpravo: Přidání vysvětlení počtu dob za otáčku [obrázek autor]

Také jsem vytvořil nový obrázek pro znázornění akce a reakce, jelikož starý obrázek židle (viz Obr. 44 – vlevo) tlačené hasicími přístroji byl nevyhovující. Nový obrázek Obr. 44 – vpravo odlétajícího nafukujícího balónku je mnohem názornější a pochopitelnější.



Obr. 44 – vlevo: Obrázek židle s hasicími přístroji u vysvětlení zákona akce a reakce [obrázek autor]



Obr. 44 – vpravo: Obrázek nafukovacího balónku u vysvětlení zákona akce a reakce [obrázek autor]

Dále jsem musel opravit chyby v příkladech. Jelikož jsem příklady mnohokrát přepracovával, výsledky nebyly vždy správné. V hotové verzi je toto samozřejmě opraveno. Některým žákům dělaly příklady potíže, především kvůli jejich problémům s převody jednotek, s drobnou asistencí je však vyřešili správně.

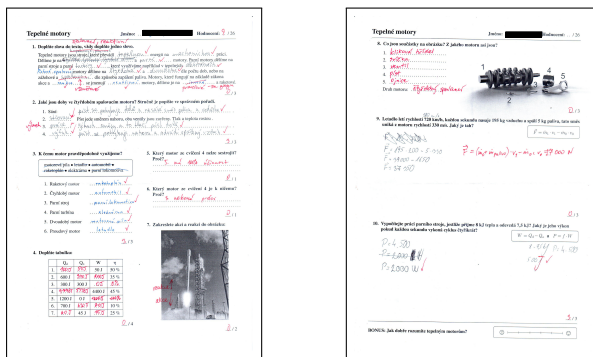
9.3.1 Úprava pracovních listů

Jak již bylo zmíněno, pracovní listy jsem zadal jako dobrovolný domácí úkol, termín odevzdání byl stanoven na tentýž den. Žáci pracovali ve dvojicích. Výsledky jsou shrnuty v Tab. 1.

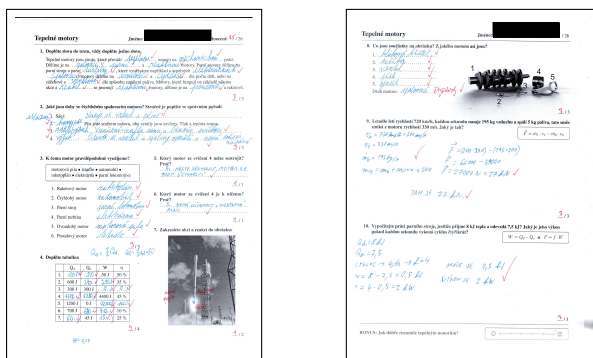
Cvičení	Celkem	Třída 2.B	Třída 2.A
Celkem	76,5 %	73,1 %	80,0 %
Cv. 1 (doplnění)	77,3 %	76,9 %	77,7 %
Cv. 2 (doplnění)	97,3 %	97,4 %	97,2 %
Cv. 3 (počítání)	97,3 %	94,9 %	100 %
Cv. 4 (doplnění)	84,0 %	69,2 %	100 %
Cv. 5 (doplnění)	68,0 %	46,2 %	91,7 %
Cv. 6 (zakreslení)	72,0 %	76,9 %	66,7 %
Cv. 7 (přiřazení)	62,0 %	38,4 %	87,5 %
Cv. 8 (doplnění)	58,7 %	64,1 %	52,8 %
Cv. 9 (příklad)	46,7 %	56,4 %	36,1 %
Cv. 10 (příklad)	85,3 %	84,6 %	86,1 %

Tab. 1: Hodnocení pracovních listů [tabulka autor]

Zde přikládám dva vyplněné pracovní listy. Obr. 45 – nahoře patří mezi méně úspěšné, naopak Obr. 45 – dole je jedním z nejúspěšnějších.



Obr. 45 – nahoře: Neúspěšné řešení pracovního listu [obrázek autor]



Obr. 45 – dole: Úspěšné řešení pracovního listu [obrázek autor]

Naskenované pracovní listky jsou dostupné v přílohách zde: Příloha č. 21.

Zkušenosti z výuky jsem využil ke zdokonalení mých materiálů. Snížil jsem počet bodů za jednoduchá cvičení 2 a 3. Ve cvičení 4 žáci doplňovali hodnoty do tabulky, někteří žáci (převážně ze třídy 2.B) toto cvičení přeskočili, pravděpodobně bylo příliš dlouhé. Ve finální verzi jsem ho zkrátil. Cvičení 5 a 6 navazují na cvičení 4, což je jasně řečeno v zadání. Žáci zadání často nečetli a tak jsem se rozhodl upravit rozvržení pracovního papíru, abych zdůraznil jejich návaznost. Původní rozvržení je znázorněno na Obr. 46 – vlevo, upravené rozvržení na Obr. 46 – vpravo.

Jméno a hodnocení	
Cvičení 1	
Cvičení 2	
Cvičení 3	Cvičení 5
	Cvičení 6
	Cvičení 7
Cvičení 4	

Obr. 46 – vlevo: Původní rozvržení první strany pracovního listu [diagram autor]

Jméno a hodnocení	
Cvičení 1	
Cvičení 2	
Cvičení 4	Cvičení 5
	Cvičení 6
Cvičení 3	Cvičení 7

Obr. 46 – vpravo: Upravené rozvržení první strany pracovního listu [diagram autor]

Dále jsem upravil obrázky pro lepší tisk a změnil jsem obrázek ze cvičení 8, jelikož měli žáci potíže rozeznat některé malé součástky. Nakonec jsem vyměnil pořadí posledních dvou cvičení, aby byl jednodušší příklad první.

9.3.2 Vyhodnocení praktického použití pomůcek

Při výuce jsem odkryl mnoho nedostatků prezentací, pracovních listů i mého samotného výstupu. Tyto zkušenosti jsem využil ke zdokonalení svých výukových pomůcek, a to nejen těch, které jsem přímo v hodinách využil.

Prezentaci jsem upravil nejméně, přidal jsem jen několik obrázků a lehce upravil text. Pracovní listy pro základní školy jsem zdokonalil a zpřehlednil; principy, které jsem se naučil, jsem aplikoval i na pracovní listy pro střední školy. Nejvíce jsem změnil svůj výklad, ten byl ve druhé hodině výrazně lepší.

Z těchto dvou hodin jsem se naučil mnoho, a doufám, že žáci také. V budoucnosti bych rád vyzkoušel další materiály na různorodějších třídách, například i na základní škole.

9.3.3 Zpětná vazba

Přibližně týden po výuce jsem žákům rozdál papíry na zpětnou vazbu (viz Obr. 47). Ptal jsem se na sedm uzavřených otázek, ve kterých žáci hodnotili jednotlivé části výuky. Shrnutí těchto hodnocení naleznete v Tab. 2.

Jméno: Třída: Body: 5/5

1. Tepelným motorům: nerozumím

2. Hodina mě: nebavila

3. Hodnocení jednotlivých částí:

- výstup:
- prezentace:
- animace:
- příklady:
- pracovní listy:

4. Co bych mohl vylepšit?
.....
.....
.....

5. Jakákoliv další zpětná vazba:
.....
.....
.....

Díky za vyplnění!

Název části	Celkem	Třída 2.B	Třída 2.A
Porozumění	50,73 %	52,55 %	49,26 %
Zábavnost	82,75 %	90,10 %	76,54 %
Výstup	77,24 %	76,61 %	77,78 %
Prezentace	83,44 %	81,39 %	85,19 %
Animace	93,28 %	91,48 %	94,81 %
Příklady	73,78 %	80,00 %	71,48 %
Pracovní listy	74,08 %	75,74 %	72,67 %

Tab. 2: Hodnocení pracovních listů [tabulka autor]

Obr. 47 – Papír pro vyplnění zpětné vazby [obrázek autor]

Žáky hodina bavila, přestože mnozí z nich uvedli, že tématu příliš nerozumí. Výsledky pracovních listů však dopadly obstojně, průměrný žák dostal dvojku (76,5 %). V pracovním listu byl dále prostor na uvedení porozumění látce, průměrně žáci označili 3,6 z 5. Tato neshoda byla pravděpodobně způsobena mým výkladem, kdy jsem některé informace dostatečně nevysvětlil. Nejkladněji byly hodnoceny animace.

Dále jsem se zeptal na dvě otevřené otázky. Z celkových padesáti žáků si 18 z nich stěžovalo na příliš rychlý výklad. Dále žáci kritizovali dotazník, který nebyl příliš intuitivní. Žáci hodnotili souboj v počítání u tabule kladně.

10 Závěr

Po dokončení původního ročníkového projektu jsem se rozhodl pokračovat do soutěže SOČ s tím, že výukové pomůcky jen lehce vylepším a přepracuji. Nakonec jsem svou původní práci podstatně rozšířil. Vylepšil jsem modely, přepracoval prezentace a pracovní listy a samozřejmě jsem vytvořil i animované výukové video.

Dále jsem tyto materiály vyzkoušel v praxi, tato zkušenost mi přinesla důležité zkušenosti a informace, které jsem využil k dalšímu zdokonalení mých materiálů.

Přestože se 3D modelování v Blenderu věnuji již pátým rokem, naučil jsem se díky tomuto projektu nové vědomosti. Tvorba výukového videa mě naučila mnoho o organizaci velkých projektů. Pro jeho tvorbu jsem využil sedm souborů .blend. Ty dohromady zaplnily přes 60 GB úložiště. Doufám, že mé materiály budou využívány pro výuku tepelných motorů nejen na škole Gymnázium, Praha 6, Arabská 14 a že je budou mít rádi učitelé i žáci.

I přes velkou časovou náročnost (tvorba videa trvala téměř tisíc hodin) mě tvorba tohoto projektu bavila. Pokud bych se v budoucnosti rozhodl jej rozšířit, pravděpodobně bych sáhl po novém tématu jako je například aerodynamika.

11 Seznam použitých zdrojů

1. KEVIN KM, Cooper JS. Ideal Gas Behavior. *StatPearls* [online]. 2023 [cit. 2024-09-07]. Dostupné z: <http://europepmc.org/books/NBK441936>.
2. JINLIANG, Xu; YAWEN, Zheng; YANJUAN, Wang. *An actual thermal efficiency expression for heat engines: Effect of heat transfer roadmaps* [online]. 2017. [cit. 2024-08-30]. Dostupné z: <https://bjmfht.ncepu.edu.cn/docs/2017-09/20170901164645826277.pdf>.
3. VAGNEROVÁ, Lea. *Parní stroj* [online]. 2019. [cit. 2024-09-08]. Dostupné z: http://stretech.fs.cvut.cz/2019/sbornik_2019/sbornik2019/99.pdf. Gymnázium Botičská.
4. HOSSLI, Walter. Steam Turbines. *Scientific American* [online]. 1969 [cit. 2024-09-10]. Dostupné z: <https://www.jstor.org/stable/24926337>.
5. FLIMEL, Lukáš. *Parní stroj* [online]. 2013. [cit. 2024-09-08]. Dostupné z: https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=63638. Vysoké učení technické v Brně.
6. MATHEW, Sabin. *Working of Steam Turbine* [online]. 2013. [cit. 2024-09-12]. Dostupné z: <https://www.lesics.com/working-of-steam-turbine.html>.
7. CHROMÝ, Martin. *Výzkumné spalovací motory* [online]. 2010. [cit. 2024-09-13]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/15468>. Vysoké učení technické v Brně.
8. RAȚIU, Sorin. The History of the Internal Combustion Engine [online]. 2003 [cit. 2024-09-13]. Dostupné z: <https://annals.fih.upt.ro/pdf-full/2003/ANNALS-2003-3-21.pdf>.
9. MRÁZ, Lukáš. *Čtyřdobý atmosférický zážehový motor* [online]. 2017. [cit. 2024-09-23]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11025/28893>. Dis. pr. Západočeská univerzita v Plzni.
10. HLADÍK, David. *Návrh konstrukce vznětového motoru* [online]. 2017. [cit. 2024-09-23]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/10467/73064>. Dis. pr. České vysoké učení technické v Praze.
11. ŠAFAŘÍK, Petr. *Dvoudobý motor pro paragliding* [online]. 2008. [cit. 2024-09-27]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/81350>. Dis. pr. Vysoké technické učení v Brně.
12. Ideal Otto Cycle [online]. 2021 [cit. 2024-09-25]. Dostupné z: <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/BGP/ottoa.html>.
13. PEKÁREK, Ing. Stanislav. *Technologie oprav I* [online]. 2015. [cit. 2024-03-23]. ISBN 978-80-88058-21-2. Dostupné z: <https://ejmskoly.publi.cz/book/160-technologie-oprav-1>.
14. CEJPEK, Jakub. *Návrh raketového motoru* [online]. 2009. [cit. 2024-09-17]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/12306>. Dis. pr. Vysoké učení technické v Brně.
15. DOSEDĚL, Filip. *Přehled technických aspektů vývoje leteckých proudových motorů* [online]. 2008. [cit. 2024-09-17]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/2073>. Dis. pr. Vysoké učení technické v Brně.

16. DOURMASHKIN, Peter. *Newton's Laws of Motion* [online]. 2012. [cit. 2024-09-20]. Dostupné z: https://ocw.mit.edu/courses/8-01sc-classical-mechanics-fall-2016/mit8_01scs22_chapter7.pdf. Dis. pr.
17. NASA. *Propulsion Index* [online]. 2021. [cit. 2024-10-17]. Dostupné z: <https://www.grc.nasa.gov/WWW/k-12/airplane/shorttp.html>.
18. PRCHLÍK, Luboš. Application Aspects of Steam Turbines for Combined Heat and Power Generation [online]. 2015 [cit. 2024-09-30]. Dostupné z: <http://www.vok.nu/wp-content/uploads/2015/04/Panndagarna-2015-Lubos-Prchlik.pdf>.
19. DUCHOŇ, Jiří. *Škoda 1000 MB - Legenda slaví 60 let* [online]. AUTOMOBIL, 2024 [cit. 2024-11-26]. Dostupné z: https://www.automobilrevue.cz/rubriky/specialy/skoda-1000-mb-legenda-slavi-60-let_49752.html.
20. GEORGI, B. et al. Realizing Future Trends in Diesel Engine Developement. *Volkswagen AG* [online]. 1997 [cit. 2024-10-05]. Dostupné z: <https://pics.tdiclub.com/data/500/19210sae972686.pdf>.
21. ČTRNÁCTÝ, Michal. *ČZ 175 (1935-46)* [online]. 2011. [cit. 2024-11-26]. Dostupné z: http://michalovyzetky.cz/index.php?obsah=modely&clanek=cz_175.
22. SARANGA, Dr. Dan. *AIM-9 Sidewinder* [online]. [B.r.]. [cit. 2023-11-18]. Dostupné z: https://www.the-blueprints.com/blueprints/weapons/bulletsmissiles/71620/view/aim-9_sidewinder/.
23. ROCKETDYNE. *Rocketdyne* [online]. [B.r.]. [cit. 2024-12-05]. Dostupné z: <https://www.chrispennello.com/j2/J-2%20Engine%20Fact%20Sheet.pdf>.
24. MINIJETS.ORG. *PBS TJ-100* [online]. 2024. [cit. 2024-10-05]. Dostupné z: <https://minijets.org/en/100-150/pbs-tj100/>.
25. JOSE RODRIGO Luis Sanchez de Leon, J.L. Montañés. *A Reduced Order Model for Monitoring Aeroengines Condition in Real-Time* [online]. 2023. [cit. 2023-11-04]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/372213753_A_Reduced_Order_Model_for_Monitoring_Aeroengines_Condition_in_Real-Time. s. 25.
26. MARTA, Prof. André Calado. *Off-Design Performance Prediction of the CFM56-3 Aircraft Engine* [online]. Técnico Lisboa, 2015 [cit. 2023-11-04]. Dostupné z: https://mdo.tecnico.ulisboa.pt/wp-content/uploads/publications_MScThesis_Martins_2015.pdf.
27. NASA. *Launch Umbilical Tower (LUT)/obile Launcher* [online]. [B.r.]. [cit. 2025-01-06]. Dostupné z: <http://heroicrelics.org/info/lut/mobile-launcher.html>.

12 Přílohy

Animace:

- Příloha č. 1 Animace parního stroje: formát *mp4* nebo *gif*.
- Příloha č. 2 Animace parní turbíny: formát *mp4* nebo *gif*.
- Příloha č. 3 Animace čtyřdobého zážehového motoru: formát *mp4* nebo *gif*.
- Příloha č. 4 Animace čtyřdobého vznětového motoru: formát *mp4* nebo *gif*.
- Příloha č. 5 Animace dvoudobého zážehového motoru: formát *mp4* nebo *gif*.
- Příloha č. 6 Animace raketového motoru na tuhé palivo: formát *mp4* nebo *gif*.
- Příloha č. 7 Animace raketového motoru na kapalné palivo: formát *mp4* nebo *gif*.
- Příloha č. 8 Animace jednoproudového motoru: formát *mp4* nebo *gif*.
- Příloha č. 9 Animace dvouproudového motoru: formát *mp4* nebo *gif*.

Video:

- Příloha č. 10 Animované výukové video: *mp4* nebo *online*.

Prezentace:

- Příloha č. 11 Prezentace „Tepelné motory”: *pdf* nebo *online*.
- Příloha č. 12 Prezentace „Parní motory”: *pdf* nebo *online*.
- Příloha č. 13 Prezentace „Spalovací motory”: *pdf* nebo *online*.
- Příloha č. 14 Prezentace „Reaktivní motory”: *pdf* nebo *online*.

Pracovní listy:

- Příloha č. 15 Pracovní list pro ZŠ: *pdf*.
- Příloha č. 16 Řešení pracovního listu pro ZŠ: *pdf*.
- Příloha č. 17 Pracovní list pro SŠ (Var. A): *pdf*.
- Příloha č. 18 Řešení pracovního listu pro SŠ (Var. A): *pdf*.
- Příloha č. 19 Pracovní list pro SŠ (Var. B): *pdf*.
- Příloha č. 20 Řešení pracovního listu pro SŠ (Var. B): *pdf*.

Další přílohy:

- Příloha č. 21 Vypracované pracovní listy pro ZŠ: *pdf*.