



---

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**  
**FAKULTA STROJNÍ**



**Ústav konstruování a částí strojů**

**Konstrukční úprava spouštěcího mechanismu airsoftové pušky**

**The Airsoft Gun's Triggering Mechanism Constructional Modification**

Bakalářská práce

Studijní program: B2342 TEORETICKÝ ZÁKLAD STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
Studijní obor: 2301R000 Studijní program je bezoborový

Vedoucí práce: Ing. Jan Kanaval, Ph.D.

**Jan Kličman**

---

**Praha 2017**

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Kličman** Jméno: **Jan** Osobní číslo: **379958**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávací katedra/ústav: **Ústav konstruování a částí strojů**  
Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**  
Studijní obor: **bez oboru**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Konstrukční úprava spouštěcího mechanismu airsoftové pušky**

Název bakalářské práce anglicky:

**The Airsoft Gun's Triggering Mechanism Constructional Modification**

Pokyny pro vypracování:

V rámci závěrečné práce zpracujte formou rešerše přehled používaných (oblíbených) automatických airsoftových zbraní včetně přehledu variant konstrukčního řešení jejich spouštěcích mechanismů. Proveďte návrh úpravy spouštěcího mechanismu, který bude založen pouze na mechanicko-pneumatickém principu. Vypracujte 3D model nového konstrukčního řešení spouštěcího mechanismu a 2D výrobní výkresovou dokumentaci.

Seznam doporučené literatury:

ŠVEC, V. Části a mechanismy strojů. Spoje a části spojovací. Praha: ČVUT, 2008.  
ŠVEC, V. Části a mechanismy strojů. Mechanické převody. Praha: ČVUT, 2003.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

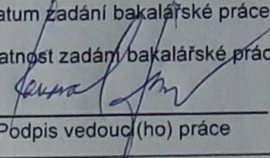
**Ing. Jan Kanaval Ph.D., ústav konstruování a částí strojů FS**

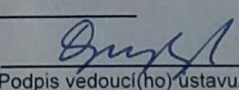
Jméno a pracoviště druhého(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

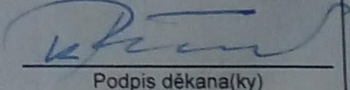
Datum zadání bakalářské práce: **25.10.2016**

Termín odevzdání bakalářské práce: **06.01.2017**

Platnost zadání bakalářské práce: \_\_\_\_\_

  
Podpis vedoucí(ho) práce

  
Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

  
Podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

27.10.2016  
Datum převzetí zadání

M. Kličman  
Podpis studenta

### **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem „Konstrukční úprava spouštěcího mechanismu airsoftové pušky“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Jana Kanavala, Ph.D. s použitím literatury uvedené na konci mé bakalářské práce v seznamu použité literatury.

V Praze 10. 1. 2017

Jan Kličman

### **Poděkování**

Rád bych touto cestou poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Janu Kanavalovi, Ph.D. za odborné vedení, pomoc, užitečné rady a cenné připomínky.

## Anotační list

Jméno autora:	Jan Kličman
Název BP:	Konstrukční úprava spouštěcího mechanismu airsoftové pušky
Anglický název:	The Airsoft Gun's Triggering Mechanism Constructional Modification
Rok:	2017
Studijní program:	B2342 Teoretický základ strojního inženýrství
Obor studia:	2301R000 Studijní program je bezoborový
Ústav:	Ústav konstruování a částí strojů
Vedoucí BP:	Ing. Jan Kanaval Ph.D.
Bibliografické údaje:	počet stran 37
	počet obrázků 11
	počet tabulek 6
	počet příloh 3
Klíčová slova:	airsoft, spoušťový mechanismus zbraně
Keywords:	airsoft, new triggering mechanism

**Anotace:** V bakalářské práci byl proveden návrh nového spouštěcího mechanismu pro stávající elektrické airsoftové zbraně tak, aby byl aplikován pouze pneumaticko-mechanický princip bez použití elektrických prvků. Byl vypracován 3D model a 2D výkres sestavení nově navržené varianty mechanismu včetně provedení vybraných návrhových a kontrolních výpočtů.

**Abstract:** The bachelor thesis puts forward a proposal for a new triggering mechanism for existing electrical airsoft weapons, which would allow to apply only pneumatic-mechanical principle without the use of electrical elements. A 3D model and a 2D drawing of the newly proposed variant of the mechanism have been prepared, including the execution of selected proposal and control calculations.

## Obsah

1	Úvod .....	- 8 -
2	Airsoft .....	- 9 -
2.1	Airsoftové zbraně .....	- 10 -
2.1.1	Manuální zbraně.....	- 12 -
2.1.2	Plynové zbraně.....	- 13 -
2.1.3	Elektrické zbraně .....	- 15 -
2.2	Střelivo .....	- 17 -
2.3	Hop-up systém .....	- 18 -
2.4	Zbraně na paintball.....	- 19 -
3	Konstrukční návrh spoušťového mechanismu .....	- 21 -
3.1	Hnací plyn .....	- 21 -
3.2	Funkční návrh.....	- 21 -
3.3	Návrh a výpočet hlavních dílů spoušťového mechanismu.....	- 23 -
3.3.1	Návrh pneumatických prvků .....	- 25 -
3.3.2	Návrh pružiny .....	- 26 -
3.3.3	Kontrola na vnitřní přetlak.....	- 28 -
3.4	Teoretická úst'ová rychlost .....	- 29 -
4	Závěr .....	- 33 -
	Použitá literatura .....	- 34 -
	Seznam obrázků .....	- 36 -
	Seznam tabulek .....	- 36 -
	Seznam příloh.....	- 37 -
	Seznam výkresů .....	- 37 -

### Seznam zkratk a symbolů

Značka	Veličina	Rozměr
a	Zrychlení	[m/s <sup>2</sup> ]
c	Tuhost pružiny	[N/mm]
c <sub>p</sub>	Rychlost plynu	[m/s]
F	Síla	[N]
$\dot{m}$	Hmotnostní tok	[kg/s <sup>1</sup> ]
n <sub>c</sub>	Celkový počet závitů pružiny	[-]
n <sub>č</sub>	Počet činných závitů pružiny	[-]
n <sub>z</sub>	Počet závěrných závitů	[-]
p	Tlak	[Pa]
r	Měrná plynová konstanta	[J/kg <sup>1</sup> *K <sup>1</sup> ]
S	Plocha	[m <sup>2</sup> ]
T	Termodynamická teplota	[K]
t	Čas	[s]
V	Objem	[m <sup>3</sup> ]
v	Rychlost	[m/s]
κ	Izoentropický montitel	[-]
σ <sub>o</sub>	Napětí osově	[N/mm <sup>2</sup> ]
σ <sub>t</sub>	Napětí tečné	[N/mm <sup>2</sup> ]
σ <sub>t</sub>	Napětí redukované	[N/mm <sup>2</sup> ]

Zde neuvedené symboly a označení jsou vysvětleny v textu.

# 1 Úvod

Bakalářská práce na téma „Konstrukční úprava spouštěcího mechanismu airsoftové pušky“ se zabývá konstrukční úpravou stávajícího spouštěcího mechanismu elektrické zbraně a jeho přestavbou na zbraň, která využívá k vymetení střely stlačený plyn.

Motivací pro vznik této práce byl požadavek z řad aktivních hráčů. Důvodem je vysoká poruchovost zbraní obsahující elektroniku. Často dojde k vybití akumulátoru, přepálení pojistek, zničení kontaktů či ke zkratu vlivem zatečení vody do elektroinstalace zbraně.

V úvodu práce je provedená rešerše, která obsahuje popis airsoftu jako sportu, princip fungování zbraní a legislativu s těmito zbraněmi spojenou. Dále je zde popsán jeden z možných principů fungování zbraní na paintball jakožto výchozí předloha pro inovaci zbraně.

V praktické části práce je dále navržena nová varianta spouštěcího mechanismu pro obecnou zbraň. Zde je prezentován 3D model nové varianty, společně s 2D výkresy sestavení nové varianty. V této praktické části jsou uvedeny potřebné návrhové a konstrukční výpočty vybraných vyráběných součástí.

Hlavním cílem bakalářské práce je tedy návrh nového mechanismu, který bude využívat díly z původní elektrické zbraně, avšak bez použití elektrických prvků (akumulátory, kontakty, pojistky, aj).



## 2 Airsoft

Airsoft je hra, ve které proti sobě „bojují“ příslušníci dvou a více týmu, kteří se z „boje“ vyřazují pomocí airsoftových zbraní, jenž vystřelují plastové projektily (kuličky). Jedná se o celosvětově rozšířený sport s velkým množstvím herních variací. Zde je možno uvést krátké hry, rekonstrukce historických bitev nebo rozsáhle „bitvy“, kterých se účastní i několik stovek hráčů. [2], [8], [9]

Počátek airsoftu lze najít v Japonsku v 80. letech 20. století, a to především proto, že civilní osoby nemohly legálně vlastnit střelné zbraně. Původně se jednalo o repliky, které vystřelovaly 6 mm plastové pelety nebo kuličky. První pušky byly poháněny stlačeným vzduchem a byly založeny na principu poloautomatické pušky, kde bylo potřeba před každým výstřelem natáhnout pružinu (podobně jako je tomu u současných vzduchových pistolí). [1], [2], [9]

Po vylepšení střeleckých vlastností airsoftových zbraní bylo možné používat zbraně na sportovní úrovni. Díky těmto vylepšením se zbraně rychle rozšířily do okolních zemí, jako byly Filipíny, Čína, Korea nebo Tchaj-wan. Do Spojených států amerických a Evropy se airsoft dostává až začátkem 90. let minulého století. V České republice se airsoft začal rozšiřovat v první polovině 90. let 20. století.[1], [2]

I přes celosvětovou oblíbenost airsoftu je stále většina světové výroby těchto zbraní soustředěná do Asijských zemí - Japonsko, Tchaj-Wan a Čína. V současné době je vývoj airsoftových zbraní v podstatě na nulové úrovni, což nutí jejich majitele vymýšlet vlastní vylepšení a úpravy zbraní, či kupovat modifikované díly od specializovaných firem. [3], [9]

## 2.1 Airsoftové zbraně

V České republice se airsoftové zbraně dle zákona č. 119/2002 Sb. považují za zbraně kategorie D pokud:

- se jedná o mechanicky napínané zbraně s napínací silou větší než 150 N,
- ústňová energie projektilu nepřesahuje 16 J,
- je střela uváděná do pohybu pomocí stlačeného vzduchu nebo jiného plynu. [4]

Jako takové jsou airsoftové zbraně zahrnuty mezi výrobky, které nejsou považovány za hračky, ale za zbraně kategorie D, tedy zbraně nepodléhající registraci. Přesná definice kategorie zní: “Zbraně kategorie D nebo střelivo do této zbraně může nabývat do vlastnictví, držet a případně nosit plnoletá a plně svéprávná fyzická osoba anebo právnická osoba”. [4]

Aby bylo možné používat airsoftové zbraně legálně, je třeba je využívat v bezpečných prostorách s dohledem odpovědné osoby nebo musí být tento prostor vyznačen jako místo, kde probíhá střelba. Dále je vyžadováno, aby všechny osoby nacházející se v tomto prostoru byly vybaveny vhodnými ochrannými pomůckami. Dále je zakázáno tyto zbraně používat v místě, kde by mohlo dojít k ohrožení života nebo zdraví osoby nebo způsobena škoda na majetku. [5]

Zákon také zakazuje nošení zbraní kategorie D viditelně na veřejnosti nebo veřejně přístupném místě, nejedná-li se o divadelní představení, historickou rekonstrukci, či jinou kulturní akci. Podobně je zakázáno nošení a manipulace se zbraněmi kategorie D osobám, jejichž schopnosti jsou ovlivněné požitím alkoholických nápojů, návykových látek, léků nebo důsledkem nemoci. [5]



Obr. 1.: Elektrická airsoftová zbraň - replika modelu M4 [7]

Všechny airsoftové zbraně užívané v České republice musí dle zákona projít kontrolou Českým úřadem pro zkoušení zbraní a střeliv, který uděluje zbrani homologaci. Je-li zbraň dovážena individuálně (i konečným spotřebitelem) je nutno si zbraň nechat ověřit výše zmíněným úřadem i v případě, že je tato zbraň běžně prodejná v České republice. Podobnou kontrolou musí procházet i střelivo prodávané na území České republiky. [2], [5]

Dle použitého mechanismu můžeme rozdělit airsoftové zbraně do tří základních skupin:

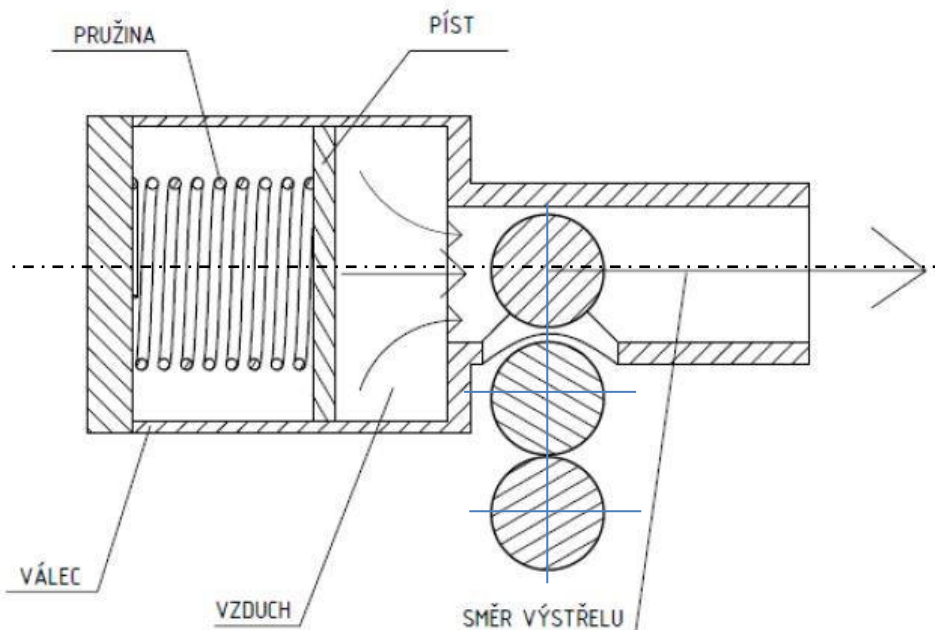
- manuální zbraně,
- elektrické zbraně,
- plynové zbraně.



Obr. 2.: Elektrická airsoftová zbraň - replika modelu M14 EBR [7]

### 2.1.1 Manuální zbraně

Zbraně založené na mechanickém principu jsou v podstatě reálně vyhlížející vzduchovky. Výstřel projektilu je zde způsobem okamžitým uvolněním nahromaděné energie. Princip fungování mechanismu je zobrazen na Obr. 3. [2], [6]



Obr. 3.: Princip manuální zbraně [6]

Tyto zbraně nepotřebují ke svému provozu žádné baterie ani plyn. Jejich výhodou je jednoduchý princip fungování a z toho plynoucí nízká cena, vysoká životnost a velká odolnost proti poškození vlivem prostředí. Střelba z těchto zbraní není příliš rychlá, protože je potřeba před každým výstřelem provést manuální stlačení pružiny. [2], [6]

Nejčastější zbraně na mechanický pohon jsou reálné repliky pravých zbraní, např. brokovnice nebo odstřelovací pušky. V případě, že je napínací síla menší než 150 N, jedná se o hračku, ne o zbraň kategorie D. [2], [3], [6]

V Tab. 1. je pro orientaci uveden přehled parametrů běžně dostupných manuálních zbraní. Existují i speciálně upravené zbraně s vyšším dostřelem či ústřovou rychlostí.

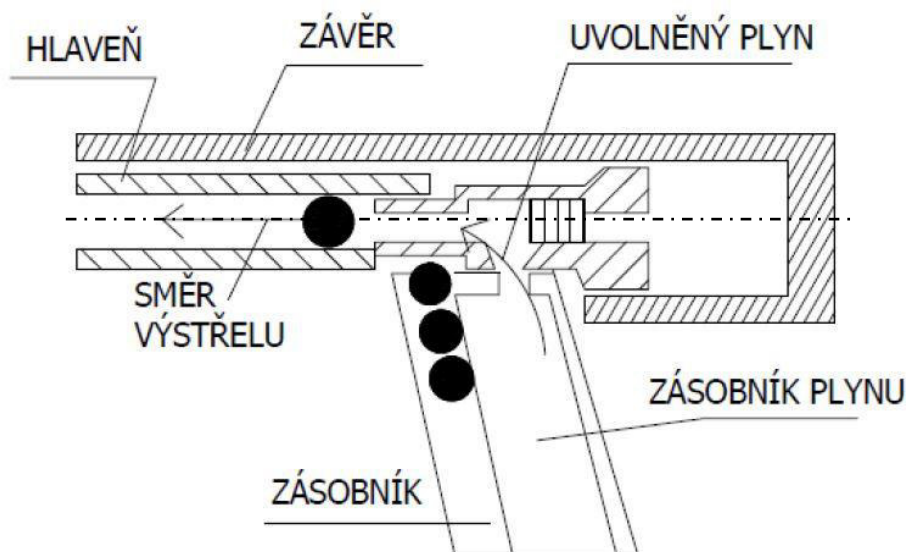
Tab. 1.: Parametry manuálních zbraní [2], [7]

Parametr	Hodnota
Dostřel zbraně	(30 – 150) m
Kadence výstřelů	-
Ústřední rychlost	(60 – 200) m/s

Poznámka: Kadence střelby je u mechanických zbraní závislá na manuální zručnosti střelce.

### 2.1.2 Plynové zbraně

Oproti ostatním typům zbraní (manuální a elektrické) neobsahují plynové zbraně žádnou pružinu, která by byla stlačovaná. Plynový pohon je používán obvykle u malých zbraní, které hráčům slouží jako záložní zbraň. Další velké uplatnění je u silných zbraní (např. odstřelovací pušky). Princip fungování zbraně je znázorněn na Obr. 4. [2], [7], [9]



Obr. 4.: Princip plynové zbraně [6]

K vystřelení projektilu se využívá předem stlačeného plynu, který je uložen v komoře zabudované v těle zbraně. Jako hnací médium se obvykle používají:

- nehořlavé plyny typu *Forane*,
- plyny typu *GreenGas*,
- $\text{CO}_2$  [2], [7], [9].

*Forane* je obchodní označení pro plyn Tetrafluorethan (jedná se o fluorovaný uhlovodík), dříve používaný jako chladivo. Nehořlavý plyn *Forane* není v Evropě a Americe příliš rozšířen. Jeho největší uplatnění je na Asijském trhu. Plyny typu *GreenGas* jsou založeny na zkapalněném propanu s příměsí dalších plynů či maziv. Oxid uhličitý je v průmyslu dlouhou dobu využíván pro různé účely (např. v potravinářském průmyslu, jako chladivo, náplň hasicích přístrojů, aj.), přesto se jako hnací plyn pro airsoftové zbraně začal používat až teprve v nedávné době. [2], [12], [13]

Plynové zbraně mohou být konstruovány s pevným nebo pohyblivým uzávěrem. Pevný uzávěr se během střelby nepohybuje. Pohyblivý uzávěr, nazývaný *BlowBack*, se během střelby pohybuje, čímž zvětšuje autentičnost zbraně. [2], [7], [9]

Mezi výhody plynových zbraní patří větší rychlost střelby (oproti manuálním), při správné konstrukci i velká hnací síla, která je využívána pro odstřelovací pušky. Velkou nevýhodou plynových zbraní je hnací médium - plyn, jehož vlastnosti jsou závislé na teplotě okolního prostředí. Nevýhodou plynů, které se v průmyslu používají jako chladivo, je skutečnost, že dochází k ochlazení dalších částí zbraně, což může vést k urychlení stárnutí některých gumových částí (hlavně těsnění). V neposlední řadě nevýhodou plynových zbraní je jejich konstrukce a z toho plynoucí minimální možnost vlastní modifikace a vylepšení zbraně. Airsoft si jako hlavní pilíř klade co největší autentičnost zbraní, ve kterých díky tomuto požadavku není místo na velkou komoru pro uskladnění plynu. V závislosti na druhu zbraně a hnacím plynem je zbraň schopna vystřelit několik desítek projektilů, poté je nutno zbraň znovu naplnit hnacím plynem. [2], [7], [9]

V Tab. 2. je pro orientaci uveden přehled parametrů běžně dostupných plynových zbraní. Existují i speciálně upravené zbraně s vyšším dostřelem, kadencí či ústovou rychlostí.

Tab. 2.: Parametry plynových zbraní [2], [7]

Parametr	Hodnota
Dostřel zbraně	(30 – 80) m
Kadence výstřelů	(10 – 35) ran/s
Ústová rychlost	(60 – 150) m/s

### 2.1.3 Elektrické zbraně

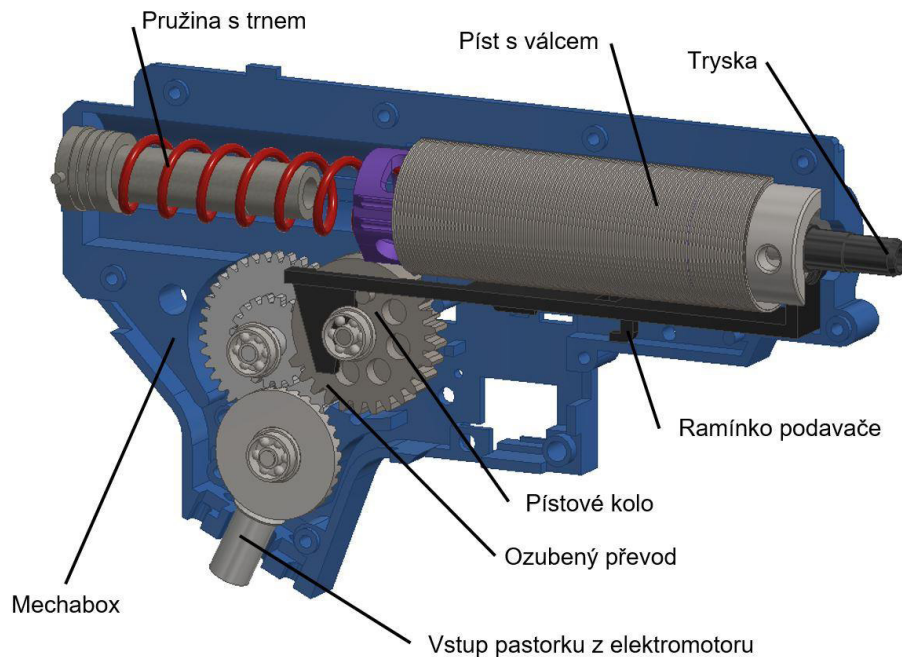
Elektrické zbraně patří mezi nejrozšířenější airsoftové zbraně. Tyto zbraně jsou označovány zkratkou AEG (z anglického airsoft electric gun). AEG vychází z historicky starších manuálních zbraní, u kterých byly střelecké vlastnosti vylepšeny přidáním elektromotoru. Tento motor uvádí do chodu celý mechanismus zbraně, proto zde odpadá nutnost manuálního natažení zbraně před každým výstřelem. [2], [6], [7]

Princip fungování mechanismu je znázorněn na Obr. 5.

Celý spoušťový mechanismus je umístěn v převodové skříni nazývané *mechabox*. Ten je vyráběn z hliníkových slitin v různých velikostech a tvarech pro různé druhy zbraní. Stejnoseměrný elektromotor (poháněný nabíjecím akumulátorem) přenáší svůj krouticí moment přes pastorek do převodového mechanismu, který pohybuje pístovým kolem. Standardní převodový mechanismus se u airsoftových zbraní skládá ze 3 ozubených soukolí (6 ozubených kol) uložených pomocí ložisek do *mechaboxu*. A z převodu pístové kolo + ozubený hřeben, který je umístěn na pístu. Pro různé typy zbraní jsou využívány převody s různými převodovými poměry v závislosti na tuhosti pružiny, výkonu elektromotoru a druhu akumulátoru tak, aby bylo dosaženo optimální kadence (14 až 20) výstřelů za sekundu. [2], [6], [7]

Převod pístové kolo + ozubený hřeben pohybuje pístem, který stlačuje pružinu (uloženou na vodícím trnu) a současně přes excentrický kolík pohybuje ramínkem podavače. Při uvolnění pístu dochází ke stlačení vzduchu, který je přes trysku hnán

na projektil. Ramínko podavače má za úkol zatáhnout trysku do válce, čímž je umožněno kuličce vyskočit do prostoru před komorou. Při uvolnění podavače je tryska pomocí malé pružinky natažená na původní místo, čímž dojde k zatlačení kuličky do komory. [2], [6], [7]



Obr. 5.: Princip elektrické zbraně [autor]

Mezi výhody těchto zbraní patří rychlost střelby a možnost velkých modifikací parametrů střelby. S kvalitním akumulátorem je možno vystřelit (2000 až 10 000) ran. Nevýhodami AEG je závislost na elektrické energii, velká náchylnost na poškození vlivem okolí jako je vlhkost, otřesy nebo poškození samotného akumulátoru či přepálení pojistek. [2], [7]

V Tab. 3. je pro orientaci uveden přehled parametrů běžně dostupných elektrických zbraní. Existují i speciálně upravené zbraně s vyšším dostřelem, kadencí či ústovou rychlostí.

Tab. 3.: Parametry elektrických zbraní [2], [7]

Parametr	Hodnota
Dostřel zbraně	(40 – 70) m
Kadence výstřelů	(10 – 30) ran/s
Ústová rychlost	(50 – 110) m/s



## 2.2 Střelivo

Pro airsoftové zbraně se používá jako střelivo projektil kulovitěho tvaru označovaný zkratkou BB. Tyto kuličky jsou vyrobeny z plastu. Nejčastěji jsou jako základní materiál používány ABS nebo HIPS plasty. K dosažení požadované hmotnosti kuličky je přidáváno minerální plnivo. Standardní plastové kuličky se v přírodě rozkládají několik desítek let, proto byly v nedávné době vyvinuty BIO kuličky, u kterých je plastový základ nahrazen biologickým materiálem. Při optimálním působení přírodních podmínek (přímý sluneční svit, vlhkost ovzduší, teplota a půdní mikroorganismy a bakterie) dochází k poločas rozpadu během jednoho roku. Degradace střeliva prakticky neprobíhá, pokud střelivo není vystaveno vnějším vlivům. [2], [7], [11]

Nejčastějším projektilem používaným v airsoftových zbraních je kulička o jmenovitém průměru 6 mm (označována jako BB6mm). Méně častým, ale stále používaným jmenovitým průměrem je 8mm (BB8mm). U airsoftového střeliva se rozlišuje nejen průměr kuličky, ale i její gramáž. Ta se pohybuje od 0,12 g po 0,45 g. Lehčí kuličky se používají pro manuální zbraně, střední gramáž je využívána pro plynové a elektrické zbraně a těžké kuličky se používají pro speciálně upravené silné zbraně. Střelivo je během výroby leštěno pro lepší kvalitu povrchu, která zlepšuje průchodnost hlavní zbraně. [2], [7]

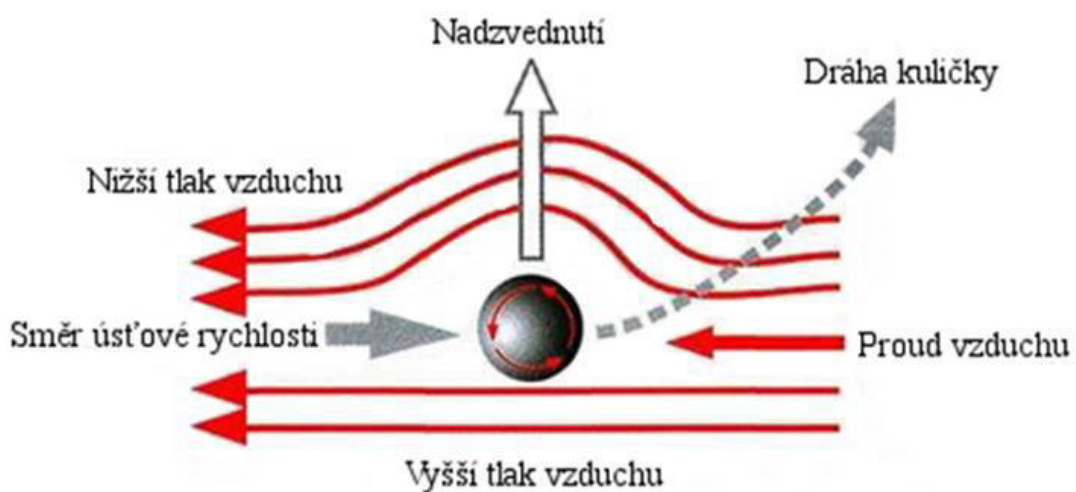
Střelivo je uloženo v zásobníku, který stejně jako celá zbraň vypadá co nejvíce realisticky. V zásobníku je pružina, která vytlačuje kuličky před hop-up komoru zbraně. V případě plynových zbraní obsahuje zásobník i komoru na stlačený plyn. Kapacita zásobníku je různá, podle jeho typu se může množství střeliva pohybovat od 9 po 600 kuliček. [2], [7], [17], [18]

## 2.3 Hop-up systém

U reálných zbraní dochází při vystřelení projektilu k jeho rotaci pomocí vrtání hlavně. Rotace projektilu slouží ke gyroskopické stabilitě, která zlepšuje přesnost střelby zbraně a její dostřel. U většiny kvalitních zbraní na airsoft je tohoto efektu dosaženo pomocí hop-up systému. Tato součástka se nazývá *Hop-upová komora* a bývá umístěná na začátku hlavně zbraně. [2], [7]

Uvnitř hop-up komory se nachází výstupek (v horní části na začátku komory), nejčastěji gumový, který pomocí třecí síly udává vystřelenému projektilu rotaci. Velikost výstupku do komory lze nastavovat v závislosti na hmotnosti projektilu a druhu zbraně. Při správně nastaveném hop-up systému lze zvýšit dostřel a přesnost střelby, avšak při špatném nastavení se výrazně zhoršují střelecké vlastnosti zbraně. [2], [6]

Po vystřelení kuličky a její rotaci v hop-up komoře dochází k Magnusovu efektu. Na vystřelenou rotující kuličku působí obtékající vzduch. Vzduch obtékající horní část kuličky je strháván rotací kuličky, čímž dochází k jeho zrychlení. Naopak vzduch na spodní straně kuličky je rotací zpomalován. Tím dochází k rozdílným rychlostem proudícího vzduchu na horní a spodní části kuličky. Na vystřelený projektil tím vlastně působí vztlaková síla (viz Obr. 6.), čímž je dosaženo většího dostřelu zbraně. [2], [6], [16]



Obr. 6.: Magnusův efekt [6]

## 2.4 Zbraně na paintball

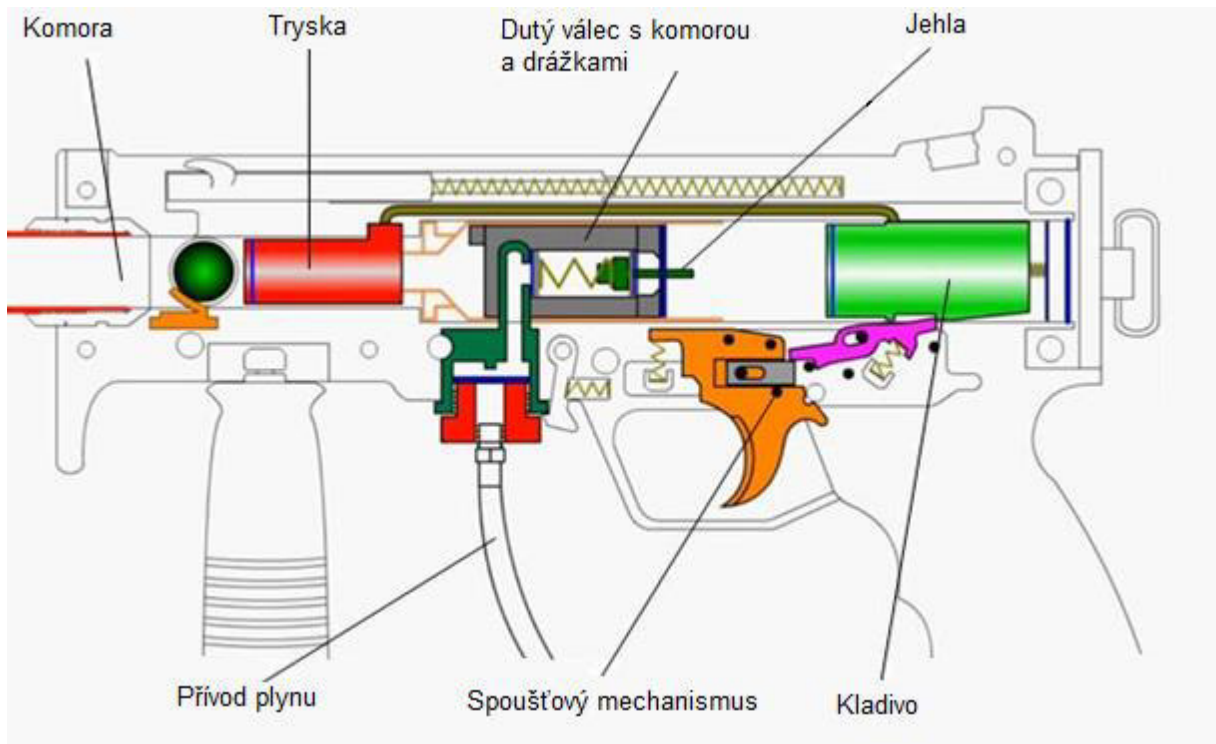
V této části práce je popsán jeden z možných principů fungování zbraně na paintball, a to z důvodu využití tohoto principu při návrhu úprav spoušťového mechanismu.

Paintball je sport, který je velmi podobný airsoftu. Přesto se zásadně liší v druhu použitého střeliva a přístupu ke zbraním. V paintballu se jako střelivo používají kuličky o průměru 17 mm, jejichž povrch je tvořen celulózou a jsou naplněny barvou. Kulička se při zásahu rozbije a cíl obarví. [20], [21]

Ke zbraně na paintball, nazývané též marker (z anglického značkovač), se přistupuje ryze sportovně. Na rozdíl od zbraní na airsoft, není požadována u paintballových zbraní podobnost se zbraněmi reálnými. Proto jsou často lahve na stlačený plyn, který vždy pohání zbraně na paintball, umístěny mimo zbraň a jsou s ní propojeny pomocí vzduchové hadice. [20], [21]

Zbraně na paintball jsou založeny na více než sto různých druhů mechanismů, které se od sebe liší více či méně. V této práci je popsán mechanismus zvaný "Tipmann a5/98", který je nejrozšířenější a nejspolehlivější. Na Obr. 7. je naznačen princip fungování zbraně. [19], [20], [21]

Do zbraně je z externí zásoby přiváděn hnací plyn pomocí vzduchové hadice. Hnací plyn naplní komoru ve válci a jeho další expanzi je zabráněno pomocí jehly. Při zmáčknutí spouště se uvolní součástka nazývaná kladivo, ta je vedená stlačenou pružinou proti jehle a současně přes rameno posune trysku, čímž zatlačí projektil (kuličku) do komory. Ve chvíli, kdy kladivo udeří do jehly, je přerušen přívod plynu z externí nádrže a plyn z komory může expandovat dál do zbraně.



Obr. 7.: Princip zbraně typu „Tipmann a5/98“ [19]

Část plynu je využita k *blowback* efektu (podobně jako u plynové zbraně na airsoft), čímž je kladivo zatlačeno do své výchozí pozice. Všechny ostatní plyn je hnán drážkami ve válci přes trysku na projektil, který je vymeten komorou ven ze zbraně. [19], [20], [21]

Výhodou zbraně je velmi jednoduchý funkční princip bez závislosti na elektrické energii. Nevýhodou je nutnost zbraň natáhnout před prvním výstřelem a velké opotřebení součástek jehly a kladiva. Další nevýhodou je nutnost dobrého načasování součástek tak, aby nedošlo k zatažení kladiva do výchozí pozice dříve, než bude projektil vymeten z komory. V tom případě by vracející se kladivo odtáhlo trysku od komory a plyn by expandoval mimo komoru. [20], [21]

## 3 Konstrukční návrh spouštěcího mechanismu

V této části práce je prezentován konstrukční návrh spouštěcího mechanismu, který je založen pouze na pneumaticko-mechanickém principu a jenž bude možno umístit do již existující zbraně na airsoft obsahující *mechabox V2*, který je v současné době stále nejrozšířenějším typem *mechaboxu*. Navržený mechanismus je řešen ve verzi semi-automat (střelba jednotlivých nábojů bez nutnosti manuálního natahování).

### 3.1 Hnací plyn

Z konstrukčních zvyklostí používaných u původní (obecné) elektrické zbraně na airsoft je uvažováno umístění externího zásobníku na hnací plyn, protože původní elektrická zbraň neobsahuje komoru na stlačený plyn.

Jako hnací plyn je použit stlačený vzduch, který se používá u paintballových zbraní. Důvodem je velká dostupnost velkých lahví se stlačeným vzduchem, a tím i možnost vystřelit velký počet projektilů bez nutnosti měnění externí lahve. Dalším důvodem pro volbu stlačeného vzduchu (místo hnacích plynů běžně používaných v airsoftu) je jeho menší negativní vliv na pryžové součásti zbraně (těsnění). [2], [7], [22]

Hodnota tlaku plynu, kterou bude zbraň využívat (k vymetení projektilu z hlavně) záleží na uživateli, typu zbraně a druhu kuliček. Tuto hodnotu bude možno regulovat pomocí regulačního ventilu na externí tlakové lahvi.

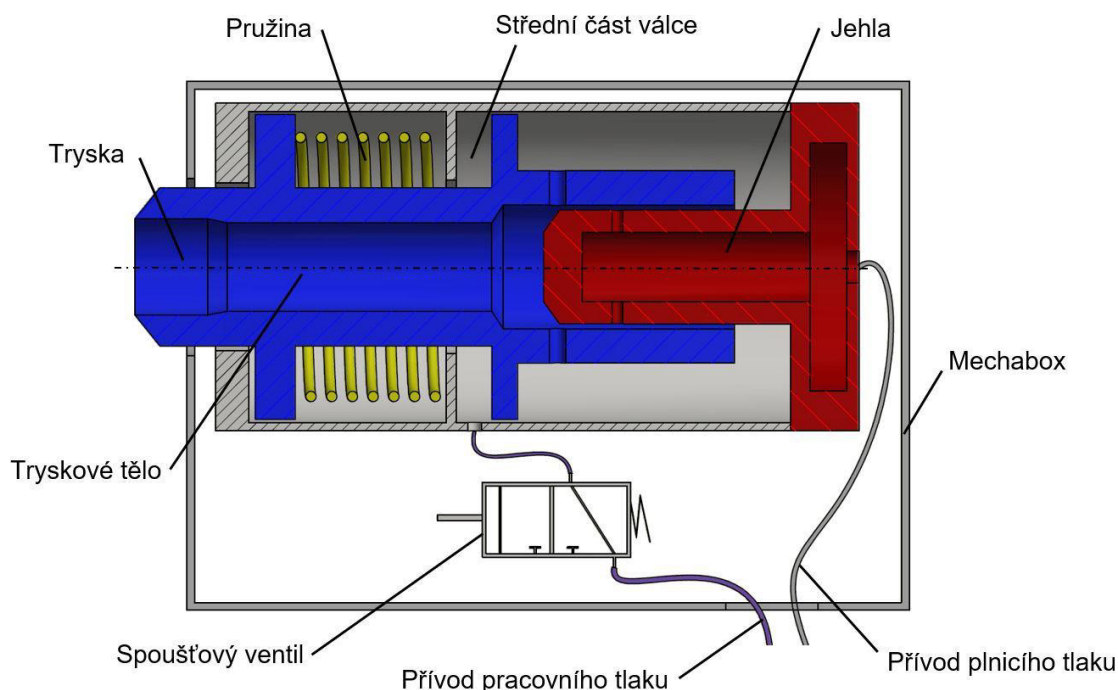
### 3.2 Funkční návrh

Konstrukční návrh nového spouštěcího mechanismu vychází z principu mechanismu "Tipmann a5/98" (používaného u zbraní na paintball) s drobnými úpravami. Základní princip mechanismu, přepouštění hnacího plynu z externí lahve do komory ve zbraní v malém množství, zůstává zachován. Z důvodu prostorového uspořádání původního *mechaboxu V2* airsoftové zbraně byl odebrán pákový mechanismus spouště, který spouští kladivo a byl nahrazen pneumatickým principem (pomocí 3/2 ventilu). Z důvodu snížení výskytu nejčastější závady, poškození kladiva

a jehly, byla síla kladiva nahrazena pneumatickou silou. Výchozí postavení všech komponent zajišťuje tlačná válcová pružina.

Na Obr. 8. je schematicky znázorněn princip mechanismu ve výchozí pozici. Mechanismus využívá dvou rozdílných tlaků hnacího plynu. Plnicí tlak, který je pomocí škrťacího ventilu snížen, slouží k vystřelení projektilu a pracovní tlak plynu slouží k nabití zbraně. Hnací plyn o pracovním tlaku je přiváděn přes ventil spouště do středního válce, čímž posouvá tryskové tělo. Když se tryskové tělo dostane do pracovní pozice, dochází současně k:

- zatlačení trysky, čímž je uvolněn prostor pro kuličku, která je dotlačena ze zásobníku,
- k odkrytí plnicích otvorů na jehle a umožnění expanze hnacího plynu do zadního válce.



Obr. 8.: Schéma nové varianty [autor]

V této pozici zůstane mechanismus držen pomocí pracovního tlaku do okamžiku zmáčknutí spouště. Při zmáčknutí spouště dojde k uvolnění pracovního tlaku přes spoušťový ventil do ovzduší a celé tryskové tělo je tlačeno pružinou a tlakem plnicího plynu do výchozího stavu a dochází k:

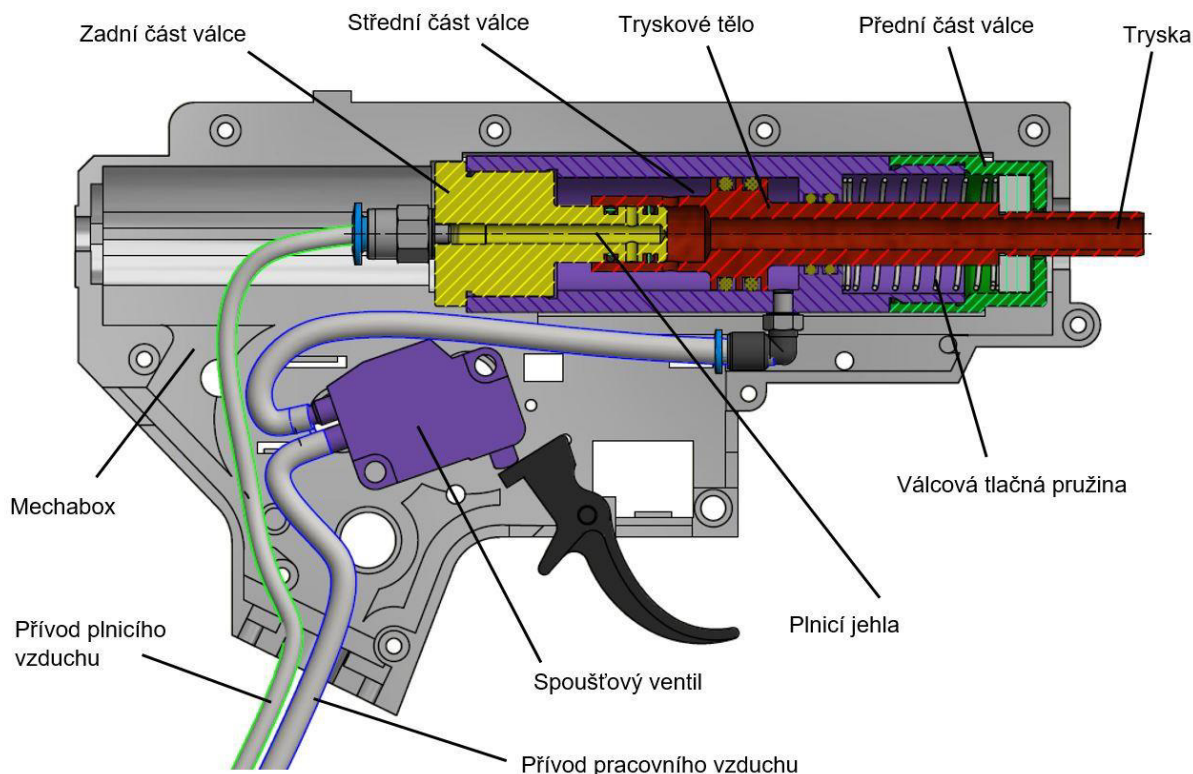
- ucpání plnicích otvorů na jehle,
- zatlačení kuličky do hop-upové komory,
- expanzi plnicího tlaku vnitřkem tryskového těla a vystřelení kuličky.

V této výchozí pozici zůstane mechanismus držen pomocí pružiny do okamžiku uvolnění spouště do výchozího postavení, kde se začne plnit střední válec pracovním tlakem a celý cyklus se opakuje. Kadence střelby je závislá na manuální zručnosti střelce.

### 3.3 Návrh a výpočet hlavních dílů spoušťového mechanismu

Na Obr. 9. je znázorněna sestava nového řešení spoušťového mechanismu založeného na pneumaticko-mechanickém principu. Návrh nového řešení využívá stávajícího *mechaboxu V2* (s minimální vnitřní úpravou), do kterého budou umístěny všechny základní komponenty spoušťového mechanismu. Přívod tlakového vzduchu bude pomocí tlakové hadice přes otvor, kde původně do *mechaboxu* vstupoval pastorek elektromotoru. Umístění externí tlakové lahve bude záležet na konkrétním typu zbraně a není předmětem řešení této bakalářské práce. Dále není řešením této bakalářské práce návrh spouště, která se bude měnit v závislosti na konkrétní zbraní.

Pro snadnou výrobu a montáž je celá pracovní část nové varianty spoušťového mechanismu umístěna do válce, který je dělen na 3 části (přední, střední a zadní). Tlakový vzduch do válce vstupuje pomocí dvou pneumatických spojek, které jsou do stěny válce zašroubovány. Plnicí jehla je uvnitř dutá, přivádí plnicí tlak a je součástí zadní části válce. S ohledem na používání zbraní v externím prostředí jsou všechny části válce navrženy z nerezové oceli 17 240 (dle ČSN), což je ocel 1.4301 (dle DIN).



Obr. 9.: Díly nové varianty spoušťového mechanismu [autor]

Tryskové tělo slouží k nasměrování tlakového vzduchu na projektil (kuličku) a jeho vymetení z hlavně zbraně. Na konci tryskového těla je krátká tryska stejných rozměrů a tvarů jako původní tryska AEG zbraně. S ohledem na snadnou montáž je na tryskovém těle našroubována deska, která slouží jako opěra pro válcovou tlačnou pružinu. S ohledem na co nejmenší hmotnost jediné pohyblivé součásti nové varianty spoušťového mechanismu byl zvolen materiál AlCu4Mg, což je dural 42 4201 (dle ČSN).

Válcová tlačná pružina zajišťuje návrat tryskového těla do výchozího postavení během střelby. Pružina je navinuta z pružinového drátu dle normy ČSN 42 6450 z materiálu 15 260 (dle ČSN), což je 51CrV4 (dle EU).

Z důvodu vzájemného pohybu součástí a přetlaku uvnitř válce zbraně bylo zvoleno zdvojené těsnění u plnicích otvorů na jehle a na přepážkách střední části zbraně. Vzhledem k požadavku těsnosti použitých závitových spojů (metrické závity s jemnou roztečí) je nutné při montáži použít buď vhodný těsnicí tmel, nebo z hlediska rychlejší demontáže zbraně vhodné těsnicí O-kroužky.



### 3.3.1 Návrh pneumatických prvků

Všechny hlavní pneumatické prvky nové varianty spoušťového mechanismu jsou navrženy do maximálního pracovního tlaku (přetlaku) 10 bar. V závislosti na principu fungování mechanismu je maximální plnicí tlak 8 bar.

Jedním ze stěžejních prvků pneumatického systému je spoušťový ventil, který slouží k přepouštění pracovního tlaku do pracovní komory (ve středním válci), případně jeho odpouštění z tohoto prostoru. Požadavky na spoušťový ventil jsou:

- 3 cestný / 2 polohový (v klidu otevřen),
- manuální ovládání pomocí tlačítka,
- návrat do výchozí pozice pomocí pružiny,
- malá velikost.

Na základě výše uvedených požadavků byl zvolen ventil od firmy FESTO typu S-3-PK-B. [23].



Obr. 10. :Ventil 3/2 od firmy FESTO [23]

Pro rozvod tlakového vzduchu uvnitř *mechaboxu* byla navržena tlaková hadice od firmy FESTO typu PUN. Dále byly pro připojení tlakové hadice do zadního a středního válce zvoleny přípojky s vhodnými připojovacími konci od firmy FESTO typu QSM (řada mini). [23]

Další prvky pneumatického systému, jako jsou např. externí plynová lahev, regulátor na výstupu z plynové lahve či zpětný ventil, nejsou předmětem řešení této bakalářské práce.

### 3.3.2 Návrh pružiny

Na pružinu působí síla pohybujícího se tryskového těla vyvolaná přetlakem pracovního vzduchu (10 bar). Tato síla je snížena protitlakem plnicího vzduchu. Tuto sílu lze spočítat ze vztahu (1) za předpokladu, že na tryskové tělo působí maximální možný protitlak (8 bar) od plnicího plynu. Během používání mechanismu může být zvolen plnicí tlak nižší v závislosti na nastavení střelce. [29]

$$F = p \cdot S = 0,2 \cdot 10^6 \cdot 1,75 \cdot 10^{-4} = 35 \text{ N} \quad (1)$$

kde:

$p$  – rozdíl tlaků vzduchu .....  $0,2 \cdot 10^6 \text{ Pa}$   
 $S$  – plocha tryskového těla .....  $1,75 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

S ohledem na prostorové možnosti uvnitř přední části válce byl zvolen vnější průměr pružiny  $D_e=18 \text{ mm}$ , průměr pružinového drátu  $d=0,8 \text{ mm}$ . Celkový počet závitů byl zvolen  $n_c=10$  a celková délka pružiny  $L_0=30 \text{ mm}$  s koncem pružiny tvaru D.

Počet činných závitů pružiny je dán vztahem (2), tato hodnota byla využita k výpočtu tuhosti pružinu dle vztahu (3). [29]

$$n_\zeta = n_c - n_z = 10 - 2 = 8 \quad (2)$$

kde:

$n_\zeta$  – počet činných závitů pružiny  
 $n_c$  – celkový počet závitů pružiny  
 $n_z$  – počet závěrných závitů pružiny

$$c = \frac{G \cdot d^4}{(D_e - d)^3 \cdot 8 \cdot n_\zeta} = \frac{8,33 \cdot 10^4 \cdot 0,8^4}{(18 - 0,8)^3 \cdot 8 \cdot 8} = 0,105 \text{ N/mm} \quad (3)$$

kde:

$n_\zeta$  – počet činných závitů pružiny ..... 8  
 $G$  – modul pružnosti ve smyku .....  $8,33 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2$   
 $D_e$  – vnější průměr pružiny ..... 18 mm  
 $d$  – průměr drátu pružiny ..... 0,8 mm

Po montáži pružiny do přední části válce dojde k jejímu stlačení na délku  $l_1=25 \text{ mm}$ , což vyvolá sílu  $F_1$  danou vztahem (4). Touto silou bude pružina přitlačovat trysku do komory hop-upu. [29]

$$F_1 = c \cdot (l_0 - l_1) = 0,105 \cdot (30 - 25) = 0,53 \text{ N} \quad (4)$$

kde:

c – tuhost pružiny .....	0,105 N/mm
$l_0$ – volná délka pružiny .....	30 mm
$l_1$ – po-montážní délka pružiny .....	25 mm

Bylo předpokládáno zatažení trysky o 6 mm, toto zatlačení trysky slouží k uvolnění místa před komorou hop-up. Tento posun trysky stlačí pružinu na délku  $l_8 = 19$  mm, což vyvolá v pružině sílu danou vztahem (5). [29]

$$F_8 = c \cdot (l_0 - l_8) = 0,105 \cdot (30 - 19) = 1,55 \text{ N} \quad (5)$$

kde:

c – tuhost pružiny .....	0,105 N/mm
$l_0$ – volná délka pružiny .....	30 mm
$l_8$ – délka pružiny při zatlačené trysce .....	19 mm

K maximálnímu stlačení pružiny dojde ve chvíli, kdy na sebe dosednou závitů pružiny. Minimální délka pružiny, získaná vztahem (6), slouží k posouzení, zda k tomuto stavu nedojde. [29]

$$l_9 = (n_{\zeta} + n_z + 1 - 0,75 \cdot n_z) \cdot d = (8 + 2 + 1 - 0,75 \cdot 8) \cdot 0,8 = 8,2 \text{ mm} \quad (6)$$

kde:

$n_{\zeta}$ – počet činných závitů .....	8
$n_z$ – počet závěrných závitů .....	2
d – průměr pružinového drátu .....	0,8 mm

Délka polotovaru pružinové drátu je dána vztahem (7):

$$l = \pi \cdot (D_e - d) \cdot n_c + 20 = \pi \cdot (D_e - d) \cdot 10 + 20 = 560 \text{ mm} \quad (7)$$

kde:

l – délka drátu pružiny .....	- mm
$n_c$ – celkový počet závitů .....	10
$D_e$ – vnější průměr pružiny .....	18 mm
d – průměr drátu pružiny .....	0,8 mm

### 3.3.3 Kontrola na vnitřní přetlak

Na většinu částí nové varianty spouštěvého mechanismu působí přetlak plynu, který zbraň využívá ke střelbě. Největší tlak se vyskytuje uvnitř pracovní komory, která se nachází ve středním válci. Tento tlak je využíván k posunutí tryskové těla do pracovní pozice, čímž začne plnit plnicí komora.

Tlak uvnitř pracovní komory je s ohledem na pneumatické součástky spouštěvého mechanismu uvažován o maximální hodnotě 10 bar. Tlak uvnitř plnicí komory musí být vždy nižší, tedy maximálně 8 bar. Při zjednodušeném výpočtovém modelu můžeme uvažovat střední část válce jako tenkostěnnou nádobu (skořepinu), jejíž hlavní napětí lze získat pomocí Laplaceovy rovnice (8). [27]

$$\frac{\sigma_o}{R_1} + \frac{\sigma_t}{R_2} = \frac{p}{s} \quad (8)$$

Hodnotu osového napětí (pro válcovou tenkostěnnou nádobu) lze získat z rovnice (9) při úvaze o oddělené spodní části (dně), na kterou působí síla způsobená vnitřním tlakem. Návrhové rozměry středního válce jsou: vnější průměr válce je 25 mm, síla stěny 3,5 mm. [27]

$$\sigma_o = \frac{p \cdot r}{2 \cdot s} = \frac{1 * 11,62}{2 * 3,5} = 1,66 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2} \quad (9)$$

kde:

p – tlak uvnitř pracovní komory..... 1 MPa  
 r – vnitřní poloměr stěny válce..... 11,62 mm  
 s – síla stěny ..... 3,5 mm

Hodnotu tečného napětí (pro válcovou tenkostěnnou nádobu) lze získat úpravou Laplaceovy rovnice (8) za předpokladu, že  $R_2 = \infty$ . Touto úpravou je získána rovnice ve tvaru (10). [27]

$$\sigma_t = \frac{p \cdot r}{s} = \frac{1 * 11,62}{3,5} = 3,32 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2} \quad (10)$$

kde:

p – tlak uvnitř pracovní komory..... 1 MPa  
 r – vnitřní poloměr stěny válce..... 11,62 mm  
 s – síla stěny ..... 3,5 mm

Výpočet hodnoty redukovaného napětí (podle teorie  $\tau_{max}$ ) ve stěně válce je založen na trojosé napjatosti a předpokladu houževnatého materiálu. Hodnota redukovaného napětí je pak dána vztahem (11). [27]

$$\sigma_{red} = \sigma_{max} - \sigma_{min} = 3,33 + 1 = 4,33 \text{ N.mm}^{-2} \quad (11)$$

kde:

$\sigma_{red}$ – redukované napětí .....	$\text{N.mm}^{-2}$
$\sigma_{max}$ – největší hodnota napětí (tečné) .....	$3,32 \text{ N.mm}^{-2}$
$\sigma_{min}$ – nejmenší hodnota napětí (od vnitřního přetlaku) .....	$-1 \text{ N.mm}^{-2}$

Redukované napětí vznikající ve stěně středního válce je s ohledem na velmi nízký pracovní přetlak výrazně menší než hodnota napětí na mezi kluzu ( $R_{p0,2} = 186 \text{ N/mm}^2$  pro zvolený materiál 17 240). [27], [28]

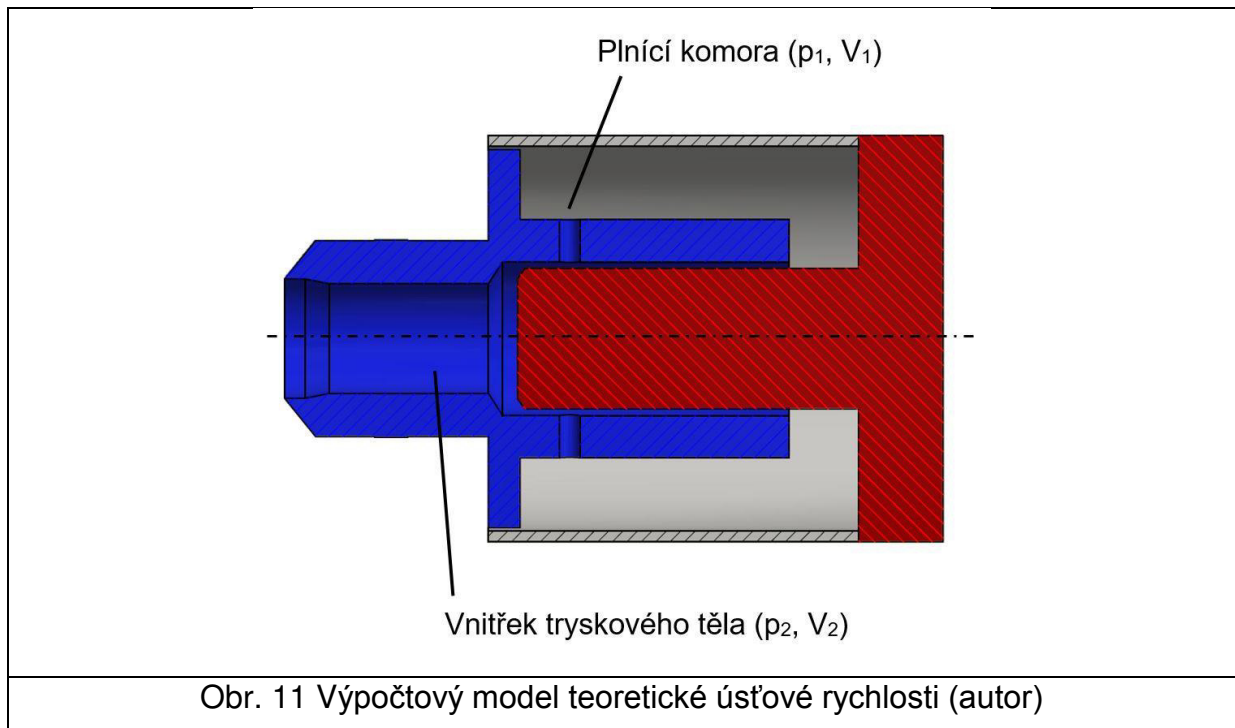
### 3.4 Teoretická úst'ová rychlost

Úst'ová rychlost projektilu je veličina, kterou udává výrobce airsoftových zbraní a dále udává teoretickou rychlost projektilu po opuštění hlavně zbraně. Teoretická úst'ová rychlost závisí na hodnotě plnicího plynu, kterou si bude střelec sám regulovat v závislosti na typu zbraně, druhu střeliva a skutečné úst'ové rychlosti. Z toho důvodu byl proveden vzorový výpočet pro hodnotu plnicího tlaku 5 bar s hmotností projektilu 0,25 g.

Výpočet teoretické úst'ové rychlosti vychází ze zjednodušeného modelu (viz Obr. 11.). Plnicí komora je naplněná plynem o plnicím tlaku. Po zmáčknutí spouště dochází k propojení plnicího prostoru a prostoru uvnitř tryskového těla. Objem plynu v jehle a zadní části válce není uvažován, protože tento objem bude po zmáčknutí spouště oddělen od plnicí komory.

Při uvažování pracovního plynu jakožto ideálního plynu můžeme jeho stavové veličiny popsat pomocí stavové rovnice ideálního plynu (12). [10]

$$pV = rT \quad (12)$$



Za předpokladu adiabatické expanze ideálního plynu lze změnu stavu tlaku plynu po propojení obou komor popsat pomocí rovnice (13), kterou odvodíme z rovnice (12):

$$p_2 = \frac{p_1 V_1}{V_1 + V_2} = \frac{5 \cdot 10^5 \cdot 3,3 \cdot 10^{-6}}{3,3 \cdot 10^{-6} + 1,3 \cdot 10^{-6}} = 3,58 \cdot 10^5 \text{ Pa} \quad (13)$$

kde:

$p_1$ – pracovní tlak před expanzí .....	$5 \cdot 10^5 \text{ Pa}$
$V_1$ – objem plnicí komory .....	$3,3 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$
$V_2$ – objem vnitřku tryskového těla .....	$1,3 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$
$r$ – měrná plynová konstanta pro vzduch .....	$287,04 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

Po přepuštění plynu o tlaku  $p_2$  z obou komor ( $V_1 + V_2$ ) je předpokládán výtok plynu přes trysku do komory hop-upu na projektil (kuličku). Uvnitř komory hop-upu byl uvažován atmosférický tlak a teplota plynu byla uvažována stejná jako okolí ( $20^\circ\text{C}$ ). Výtoková rychlost plynu bude pak dána vztahem (14). [10]

$$c_p = \sqrt{2 \cdot \frac{\kappa \cdot r}{\kappa - 1} \cdot T_1 \cdot \left(1 - \left(\frac{p_a}{p_2}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}\right)} = \quad (14)$$

$$= \sqrt{2 * \frac{1,4 * 287,04}{1,4 - 1} * 293,16 * \left(1 - \left(\frac{1,01 * 10^5}{3,58 * 10^5}\right)^{\frac{1,4-1}{1,4}}\right)} \doteq 417,04 \text{ m/s}$$

kde:

$\kappa$ – izentropický mocnitel pro vzduch.....	1,4
$r$ – měrná plynová konstanta pro vzduch.....	287,04 J*kg <sup>-1</sup> *K <sup>-1</sup>
$T_1$ – teplota plynu .....	293,16 K
$p_2$ – tlak uvnitř plnicí komory + tryskového těla.....	3,58 * 10 <sup>5</sup> Pa
$p_a$ – tlak atmosferický .....	1,01*10 <sup>5</sup> Pa
$c_p$ – výtoková rychlost plynu z trysky .....	m/s

Při zjednodušeném uvažování o ideálním chování plynu během děje může být hmotnostní tok vypočten ze vztahu (15). [10]

$$\dot{m}_p = A_2 \sqrt{\frac{2\kappa}{\kappa - 1} r T_1 \left(\frac{p_e}{p_2}\right)^{\frac{2}{\kappa}} \left[1 - \left(\frac{p_e}{p_2}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}\right]} = 1,96 * 10^{-8} *$$

$$* \sqrt{\frac{2 * 1,4}{1,4 - 1} * 287,04 * 293,16 * \left(\frac{1,01 * 10^5}{3,58 * 10^5}\right)^{\frac{2}{1,4}} \left[1 - \left(\frac{1,01 * 10^5}{3,58 * 10^5}\right)^{\frac{1,4-1}{1,4}}\right]} \quad (15)$$

$$= 3,4 * 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$$

kde:

$A_2$ – výtokový průřez trysky .....	1,96*10 <sup>-5</sup> m <sup>2</sup>
$\kappa$ – izentropické mocnitel pro vzduch .....	1,4
$r$ – měrná plynová konstanta pro vzduch.....	287,04 J*kg <sup>-1</sup> *K <sup>-1</sup>
$T_1$ – teplota plynu .....	293,16 K
$p_2$ – tlak uvnitř plnicí komory + tryskového těla.....	3,58*10 <sup>5</sup> Pa
$p_e$ – tlak okolí.....	1,01*10 <sup>5</sup> Pa

Při zjednodušeném uvažování o ideálním chování plynu během děje může být tok hmotnosti plynu vypočten ze vztahu (16). [25]

$$F = \dot{m}_p \cdot c_p = 173,87 * 417,04 = 1,42 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2 \quad (16)$$

Pro ideální chování soustavy lze předpokládat, že plyn předa veškerou svojí energii projektilu (kuličky), lze pak vypočítat počáteční zrychlení projektilu (kuličky) ze vztahu (17). [15]

$$a_s = \frac{F}{m_k} = \frac{1,42}{0,25 * 10^{-3}} = 5\,680 \text{ m/s}^2 \quad (17)$$

kde:

F – tok hmotnosti plynu ..... 1,42 kg\*m\*s<sup>-2</sup>  
m<sub>k</sub> – hmotnost projektilu (kuličky) ..... 0,25 \* 10<sup>-3</sup> kg

Pro ideální chování soustavy lze uvažovat, že projektil po vystřelení bude celou dobu v hlavní zbraně zrychlovat přímočaře se základní nulovou rychlostí a při zanedbání všech ztrát v komoře lze vypočítat čas, po který se projektil pohybuje v komoře zbraně pomocí vztahu (18) při uvažování délky hlavně 350 mm. A z toho vypočítat ústřovou rychlost projektilu dle vztahu (19). [26]

$$t = \sqrt{\frac{2s}{a}} = \sqrt{\frac{2 * 0,35}{5\,680}} = 11,1 * 10^{-3} \text{ s} \quad (18)$$

kde:

s – délka hlavně zbraně ..... 0,35 m  
a – zrychlení projektilu (kuličky) ..... 5 680 m\*s<sup>-2</sup>

$$v_p = at = 5\,680 * 11,1 * 10^{-3} \doteq 63 \text{ m/s} \quad (19)$$

kde:

t – část pohybu projektilu v komoře ..... 11,1\*10<sup>-3</sup> s  
a – zrychlení projektilu (kuličky) ..... 5 680 m\*s<sup>-2</sup>

Avšak ve skutečnosti bude reálná ústřová rychlost projektilu a s ní související kinetická energie výrazně nižší. A to z důvodů změny teploty plynu během expanze, tření projektilu (kuličky) v hlavní zbraně a rotací projektilu (kuličky) vlivem hop-up komory. Dalším nepříznivým jevem, který sníží reálnou velikost ústřové rychlosti, bude unik části plynu okolo kuličky v hlavní. Reálné střelecké vlastnosti zbraně bude možno korigovat pomocí škrťacího ventilu na tlakové lahvi.



## 4 Závěr

Cílem práce bylo navrhnout novou variantu spoušťového mechanismu airsoftové zbraně, která ke svému provozu bude využívat pouze pneumaticko-mechanický princip.

V úvodu práce je provedena rešerše, která obsahuje popis airsoftu jako sportu, princip fungování zbraní a legislativu s těmito zbraněmi spojenou. Dále je zde popsán princip hop-up systému, který výrazně zlepšuje přesnost zbraně a její dostřel. Součástí rešerše je popis zbraně používané při podobném sportu – paintballu, jakožto výchozí předloha pro inovaci spoušťového mechanismu zbraně.

V praktické části práce je dále navržena nová varianta spoušťového mechanismu pro obecnou zbraň. Tento návrh byl proveden tak, aby bylo možno zbraň přestavět výměnou stávajícího *Mechaboxu V2* za nový mechanismus spouště. Dále byl v praktické části proveden návrh stěžejních součástí mechanismu doplněný o potřebné návrhové a kontrolní výpočty.

Zde je však nutno konstatovat, že navrhovaná varianta není finální výrobní verzí. Jedná se pouze o návrh nové varianty, kterou by bylo nutno při uplatnění do konkrétní zbraně upravit a provést korekci výrobku během testování (zastřelování) nové zbraně.

## Použitá literatura

- [1] *Airsoft Gun History* [online]. [cit. 2016-11-01]. Dostupné z: [http://www.streetdirectory.com/travel\\_guide/120271/technology/airsoft\\_gun\\_history](http://www.streetdirectory.com/travel_guide/120271/technology/airsoft_gun_history)
- [2] *AirSoft.cz - Vše o airsoftu na jednom místě* [online]. [cit. 2016-11-01]. Dostupné z: <http://airsoft.cz/Web>
- [3] *Airsoft Underground* [online]. [cit. 2016-11-01]. Dostupné z: <http://www.airsoft-underground.cz/news.php?readmore=85>
- [4] *Český úřad pro zkoušení zbraní a střeliva* [online]. [cit. 2016-11-01]. Dostupné z: <http://www.cuzzs.cz/cs/airsoftove-zbrane/>
- [5] *Ministerstvo vnitra* [online]. [cit. 2016-11-01]. Dostupné z: <http://www.mvcr.cz/clanek/zbrane-podlehajici-zakonu-o-zbranich-a-podminky-jejich-nabyvani-a-drzeni.aspx?q=Y2hudW09Nw%3D%3D>
- [6] *General airsoft gun information* [online]. [cit. 2016-11-01]. Dostupné z: <http://www.airsplat.com/airsoft-definition>
- [7] *AirsoftGuns s.r.o.* [online]. [cit. 2016-12-11]. Dostupné z: <http://www.airsoftguns.cz> F
- [8] *Airsoftwars* [online]. [cit. 2016-12-15]. Dostupné z: <https://www.airsoftwars.cz/cz/probehle-akce/182-protector-kv9>
- [9] *What is Airsoft* [online]. [cit. 2016-10-15]. Dostupné z: <http://zachbillings.com/what-is-airsoft>
- [10] NOŽIČKA, Jiří. *Základy termomechaniky*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2001. ISBN 80-010-2409-1
- [11] *Biofestival* [online]. [cit. 2016-10-15]. Dostupné z: <http://www.biofestival.cz/clanky/jak-dlouho-se-rozkladaji-odpadky/>
- [12] *HFC: Products and Applications* [online]. [cit. 2016-10-15]. Dostupné z: <http://www.fluorocarbons.org>
- [13] *TZB-info* [online]. [cit. 2016-10-15]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/teorie-obnovitelna-energie/8551-oxid-uhlicity-a-moznosti-jeho-vyuziti-ii>
- [14] *Shilen Rifles* [online]. [cit. 2016-10-15]. Dostupné z: <http://www.shilen.com>
- [15] BRÁT, Vladimír; BROUSIL Jaromír. *Dynamika*. Druhé vydání. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1977.
- [16] NOŽIČKA, Jiří. *Mechanika tekutin*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2004. ISBN 80-010-2865-8

- [17] *Systema* [online]. [cit. 2016-10-15]. Dostupné z: <http://www.systema-engineering.com>
- [18] *Infinity Arms* [online]. [cit. 2016-10-15]. Dostupné z: <http://www.infinityarms.com>
- [19] *Marker classification and animations* [online]. [cit. 2016-10-15]. Dostupné z: <http://www.zdspb.com/tech/misc/animations.html>
- [20] *Military paintball* [online]. [cit. 2016-10-15]. Dostupné z: <http://www.military-paintball.cz/index.php>
- [21] DNA Paintball [online]. [cit. 2016-10-15]. Dostupné z: <http://dna-paintball.co.za>
- [22] Paintball shop [online]. [cit. 2016-10-15]. Dostupné z: <http://www.paintball-shop.cz/co2-vzduch/vzduchove-lahve/>
- [23] *Festo* [online]. [cit. 2016-10-15]. Dostupné z: <http://festo.cz>
- [24] DRASTÍK, František. *Strojnické tabulky pro konstrukci i dílnu*. 2. dopl. vyd. Ostrava: Montanex, 1999. ISBN 80-857-8095-X.
- [25] JEŽEK, Jan, Blanka VÁRADIOVÁ a Josef ADAMEC. *Mechanika tekutin*. 2. doplněné. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2000.
- [26] HALLIDAY, David, Robert RESNICK a Jearl WALKER. *Fyzika: vysokoškolská učebnice obecné fyziky*. Brno: VUTIUM, 2000. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 80-214-1869-9.
- [27] MICHALEC, Jiří. *Pružnost a pevnost I*. 3. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2009. ISBN 978-80-01-04224-3.
- [28] FÜRBAACHER, Ivan, Karel MACEK a Josef STEIDL. *Lexikon technických materiálů se zahraničními ekvivalenty: aktuální stav listopad - včetně 1. aktualizace*. Praha: Verlag Dashöfer, 1998. ISBN 80-862-2902-5.
- [29] *Systém elektronické podpory studia* [online]. [cit. 2017-01-01]. Dostupné z: <http://seps.fs.cvut.cz/>

## Seznam obrázků

Obr. 1.: Elektrická airsoftová zbraň - replika modelu M4 [7] .....	-11-
Obr. 2.: Elektrická airsoftová zbraň-replika modelu M14 EBR [7].....	-11-
Obr. 3.: Princip manuální zbraně [6].....	-12-
Obr. 4.: Princip plynové zbraně [6] .....	-13-
Obr. 5.: Princip elektrické zbraně [autor] .....	-16-
Obr. 6.: Magnusův efekt [6] .....	-18-
Obr. 7.: Princip zbraně typu „Tipmann a5/98“ [19].....	-20-
Obr. 8.: Schéma nové varianty [autor].....	-22-
Obr. 9.: Díly nové varianty spouštěvého mechanismu [autor].....	-24-
Obr. 10.:Ventil 3/2 od firmy FESTO [23].....	-25-
Obr. 11.: Výpočtový model teoretické ústřední rychlosti [autor].....	-30-

## Seznam tabulek

Tab. 1.: Parametry manuálních zbraní .....	-13-
<i>Tab. 2.: Parametry plynových zbraní .....</i>	<i>-15-</i>
<i>Tab. 3.: Parametry elektrických zbraní .....</i>	<i>-16-</i>

## Seznam příloh

Příloha 1: 3D model nové varianty – *BPJK2017.step*

## Seznam výkresů

Výkres 1: Výkres sestavy nové varianty spoušťového mechanismu (BP-00-00)

Výkres 2.: Výkres pracovní části spoušťového mechanismu (BP-00-01)