



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

**ÚSTAV MECHANIKY TĚLES, MECHATRONIKY A
BIOMECHANIKY**

INSTITUTE OF SOLID MECHANICS, MECHATRONICS AND BIOMECHANICS

**DYNAMICKÁ ANALÝZA VYBRANÝCH BICÍCH
MECHANISMŮ PALNÝCH ZBRANÍ**

DYNAMIC ANALYSIS OF SELECTED FIRING MECHANISMS OF FIREARMS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Veronika Hussliková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Martin Slažanský

BRNO 2017

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky
Studentka: **Veronika Hussliková**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Martin Slažanský**
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Dynamická analýza vybraných bicích mechanismů palných zbraní

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Při návrhu bicího mechanismu palné zbraně je nutné navrhnout tvar jednotlivých součástí a tuhosti pružin s ohledem na minimální energii a rychlost, kterou je nezbytné udeřit do zápalky náboje, aby zápalková slož byla spolehlivě iniciována. Ve spolupráci s Českou Zbrojovkou, s.r.o. a AlfaProj, s.r.o. student navrhne a aplikuje obecný analytický postup návrhu bicího mechanismu v závislosti na nutné energii a rychlosti potřebné k iniciaci zápalkové slož

Cíle bakalářské práce:

- 1) Provést literární rešerši v oblasti bicích mechanismů palných zbraní.
- 2) Navrhnout obecný analytický postup návrhu bicího mechanismu v závislosti na nutné energii a rychlosti potřebné k iniciaci zápalkové slož.
- 3) Aplikovat navržený obecný postup na vybrané konkrétní příklady zbraní.
- 4) Diskutovat výsledky a omezení navrženého obecného postupu návrhu.

Seznam doporučené literatury:

Kratochvíl, Slavík: Mechanika těles. Dynamika. Cerm Brno, 2002.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Jindřich Petruška, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá analýzou bicích mechanismů vybraných palných zbraní. V úvodní části práce je provedena rešerše týkající se zbraňové problematiky, je zde shrnut teoretický základ nauky o zbraních a podrobněji popsána iniciační ústrojí některých typů zbraní. Na konci teoretické části jsou rozebrány možnosti řešení daného úkolu.

Praktická část práce se věnuje rozboru bicích mechanismů čtyřech různých typů zbraní a následně teoretickému výpočtu iniciační energie a dopadové rychlosti úderníku či zápalníku. Tento výpočet je na závěr aplikován na několik konkrétních zbraní. Konečným výstupem je vypočtená iniciační energie společně s dopadovou rychlostí úderníku či zápalníku a koeficient bezpečnosti vůči spolehlivé iniciaci zápalkové složce.

Abstract

Bachelor thesis engages in analysis of firing mechanisms of chosen firearms. In introductory part of the thesis, there is a research made which involves gun problems, theoretical basis of gun theory is summarized and detailed description of firing mechanism of some types of guns is given. Alternatives of solution of the set assignment are analyzed at the end of the theoretical introduction.

Practical part of the thesis deals with firing mechanisms' analysis of four different types of firearms and subsequently with theoretical calculation of initiation energy and impact speed of the firing pin. This calculation is in conclusion applied on some specific guns. Final output is the determination of initiation energy, impact speed of the firing pin and safety in safe firing of the bullet's primer.

Klíčová slova

bicí mechanismus, palná zbraň, dynamická analýza, iniciační energie, zápalka

Keywords

firing mechanism, firearm, dynamic analysis, initiation energy, primer

Bibliografická citace

HUSSLIKOVÁ, V. *Dynamická analýza vybraných bicích mechanismů palných zbraní*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 56 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Martin Slažanský.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně pod vedením Ing. Martina Slažanského a v seznamu použitých zdrojů jsem uvedla všechny prameny, ze kterých jsem při psaní práce čerpala.

V Brně dne

.....

Veronika Hussliková

Poděkování

Tímto bych ráda poděkovala vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Martinu Slažanskému za vstřícný přístup, vedení práce a cenné rady a připomínky a Ing. Petru Lošákovi, Ph.D. za poskytnutou konzultaci.

V neposlední řadě bych chtěla poděkovat rodičům za zázemí a podporu při dosavadním studiu.

Obsah

1 Úvod.....	13
2 Úvod do problematiky zbraní	14
2.1 Definice zbraně, klasifikace	14
2.2 Střelivo	14
2.2.1 Stavba a názvosloví součástí náboje.....	15
2.2.2 Střela.....	15
2.2.3 Výmetná náplň.....	16
2.2.4 Nábojnice.....	16
2.2.5 Zápalka	17
2.3 Mechanizmy a systémy zbraní	17
2.3.1 Systémy podávání nábojů.....	17
2.3.2 Vytahovací a vyhazovací mechanizmy	18
2.3.3 Iniciační, spoušťová a pojistná ústrojí.....	18
3 Iniciační ústrojí palných zbraní.....	20
3.1 Kulovnice	20
3.2 Samopal.....	21
3.3 Pistole.....	21
3.4 Revolver	22
3.5 Iniciační energie zápalky od bicího ústrojí	23
3.5.1 Průběh zkoušky	23
4 Možnosti řešení.....	25
4.1 Literatura	25
4.2 Internet	25
4.3 Možnosti realizace výpočtu.....	25
5 Geometrie a kinematický rozbor	27
5.1 Kulovnice	27
5.2 Samopal.....	27
5.3 Pistole.....	27
5.4 Revolver	28
6 Dynamika	29
6.1 Kulovnice	29
6.2 Samopal.....	29
6.3 Pistole.....	30

6.4 Revolver	30
7 Teoretický výpočet	32
7.1 Kulovnice	32
7.1.1 Základní věty dynamiky	32
7.1.2 Metoda úplného uvolnění	33
7.2 Samopal.....	35
7.2.1 Základní věty dynamiky	35
7.2.2 Metoda úplného uvolnění	36
7.3 Pistole.....	37
7.3.1 Základní věty dynamiky	37
7.3.2 Metoda úplného uvolnění	38
7.4 Revolver	40
7.4.1 Základní věty dynamiky	40
7.4.2 Metoda úplného uvolnění	41
8 Aplikovaný výpočet.....	43
8.1 Kulovnice	43
8.2 Samopal.....	45
8.3 Pistole.....	47
8.4 Revolver	50
9 Závěr.....	54
Seznam použitých zdrojů.....	55

1 Úvod

Při návrhu ruční palné zbraně je třeba klást největší důraz na její spolehlivost. Nejčastější příčina selhání zbraně je (nepočítaje lidské pochybení) selhání střeliva nebo špatný konstrukční návrh zbraně, který nezajistí dostatečnou energii a rychlost potřebou k iniciaci zápalkové složky uvnitř náboje. Dále pak nenabití dalšího náboje v důsledku znečištění nebo zanesení nabíjecího ústrojí především v případě vojenských zbraní.

U každého typu zbraně je nutné navrhnout správně tvar jednotlivých součástí bicího mechanismu a tuhost pružin tak, aby byla zápalková složka spolehlivě iniciována.

Cílem této bakalářské práce je navrhnout obecný analytický postup návrhu bicího mechanismu palné zbraně. Návrh je proveden v závislosti na nutné energii a rychlosti pohybu zápalníku potřebné k iniciaci zápalkové složky. Pro potřeby tohoto návrhu budou dvěma různými analytickými postupy vytvořeny vzorce pro dopadovou rychlost a energii nutnou pro iniciaci zápalkové složky. Tyto postupy budou mezi sebou následně porovnány. Ve spolupráci s Českou Zbrojovkou a. s. a AlfaProj s. r. o. bude poté navržený analytický postup aplikován na konkrétní modely zbraní.

2 Úvod do problematiky zbraní

2.1 Definice zbraně, klasifikace

Zbraň je souhrnný název pro prostředek k obraně, útoku na protivníka, nebo k usmrcení zvířete za účelem obživy. Původně pojem „zbraň“ vyjadřoval pouze „prostředek boje“. Zbraně se z hlediska historického vývoje mohou rozdělovat na zbraně úderné, sečné, bodné (tzv. chladné zbraně) a vrhací. Střelné zbraně spadají mezi vrhací zbraně. [2, 3]

Hlavními částmi zbraně jsou hlaveň, vložná hlaveň, vložná nábojová komora, rám, válec revolveru, pouzdro závěru, nebo tělo a závěr. [1]

Definice střelné zbraně podle zákona [1] zní:

„Střelná zbraň – zbraň, u které je funkce odvozena od okamžitého uvolnění energie při výstřelu, zkonstruovaná pro požadovaný účinek na definovanou vzdálenost.“

Je specifikováno mnoho druhů zbraní a mnoho kritérií jejich rozlišování a dělení, pro účely mé práce uvádím pouze základní zjednodušené rozdělení.

Střelné zbraně se dělí především podle druhu energie, kterou využívají k pohonu střely:

- mechanické (prak, luk, kuše),
- elektromagnetické (cívky uložené vedle sebe tvoří hlaveň, střela jádro),
- plynové (vzduchovky, větrovky, plynovky, domorodé foukačky),
- palné (hlavňové zákluzové, hlavňové bezzákluzové, raketové, kombinované),
- paprskové (netradiční principy – laserový, akustický, světlený, elektrický). [3]

Existuje mnoho klasifikačních hledisek, podle kterých lze palné zbraně dále dělit:

- druh a použití,
- ráže, počet a druh hlavní,
- stupeň automatizace a poloha závěru před spuštěním,
- způsob uzamčení nábojové komory,
- způsob pohonu funkčního mechanismu (funkční princip),
- systém podávání,
- druh odpalovacího a spoušťového mechanismu. [3]

2.2 Střelivo

Střelivo je souhrnný název pro veškerý materiál, který střelné zbraně používají ke střelbě. Typickým střelivem palných zbraní je náboj. Ten je tvořen střelou, výmetnou náplní (výbušniny – černý prach, bezdýmný prach), nábojnicí a zápalkou (iniciátorem). [2]

Střelivo dělíme podle [2] na:

- **jednotné:** Všechny komponenty střeliva, které jsou třeba k provedení jednoho výstřelu, jsou spojeny do jednoho celku – jednotného náboje.
- **dělené:** Střela je nabíjena odděleně od výmetné náplně a zápalky (např. dělostřelecký granát).
- **raketové:** Výmetná náplň je součástí střely a během svého hoření se pohybuje se střelou.

2.2.1 Stavba a názvosloví součástí náboje

Jednotný náboj je zpravidla tvořen čtyřmi částmi:

- střela,
- výmetná náplň,
- nábojnice,
- zápalka. [2]

Každá část náboje má svůj úkol (nebo více dílčích úkolů), který musí spolehlivě plnit, aby zbraň dostála své funkci.

2.2.2 Střela

Jediným úkolem střely je dopravit potřebnou energii do cíle a využít ji k dosažení požadovaného účinku, jako je např. porušení tkáně nebo proniknutí materiálem. Proto je nutné udělit jí při výstřelu určitou rychlost. [2]

Na střely je při návrhu kladeno v různých oblastech použití velké množství požadavků, co se týče tvaru, materiálu, výsledného účinku po zásahu cíle apod. Tyto požadavky nelze splnit pouze jedním typem střely, proto existuje mnoho různých typů, z nichž některé uvádím jako příklad. Existují různá kritéria pro dělení střel:

- **podle tvaru:** střely s kulatou špičkou – RN, s plochou špičkou – FN, se zahrocenou špičkou – Sp, atd.
- **podle stavby:** celoplášťové – FMJ, poloplášťové – SP, s dutou špičkou – HP, atd.
- **podle materiálu:** olověné, měděné, mosazné, ocelové, hliníkové. [2]

Vybrané typy střel jsou vyobrazeny na obr. 2.2.



Obrázek 2.1: Některé typy střel – zleva: RN Round Nose, FP – Flat Point, HP – Hollow Point [6]

2.2.3 Výmetná náplň

K urychlení střely je třeba působení síly na její dno. Při výstřelu se využívá různých způsobů, jak tuto sílu získat: napjatá pružina, napnuté pryžové pásy či elektromagnetické pole. Zdaleka nejpoužívanějším způsobem kumulace síly je ale tlak plynu působícího na dno střely. Nejpoužívanějším způsobem vyvinutí tlaku plynu je hoření výmetné náplně v malém prostoru na dně nábojnice.

Protože je k urychlení střely třeba velkého tlaku, je výhodné, aby hoření probíhalo ve velmi malém uzavřeném prostoru. Jako hnací slož lze použít střeliviny, které při hoření uvolňují velké množství plynu a ve své chemické struktuře obsahují kyslík potřebný k hoření. [2]

V minulosti se jako výmetná náplň používal černý prach, který ale vytvářel velké množství dýmu a znečišťoval hlaveň zbraně, protože až 60 % původní prachové náplně se nespálilo. Dnes už se černý prach nepoužívá, pouze při střelení např. z historických zbraní nebo při výrobě pyrotechnického materiálu, v zapalovačích a dělostřeleckých nábojích.

Místo černého prachu dnes užíváme prachu bezdýmného, který je vyroben na bázi nitrocelulózy (střelné bavlny). Existují dva typy bezdýmného střelného prachu:

- nitrocelulózový – též jednosložkový, jehož energie je vázána pouze v jedné chemické látce (nitrocelulóze)
- nitroglycerinový – jeho energie je vázána ve dvou látkách (nitrocelulóze a nitroglycerinu)

Shořením bezdýmného prachu dané hmotnosti vznikne třikrát větší objem plynů, než při shoření stejného množství černého prachu. [2]

2.2.4 Nábojnice

Nábojnice má hned několik úkolů:

- spojuje všechny části náboje,
- přesně udává polohu střely a zápalky,
- pomáhá odvádět teplo z nábojové komory,
- je vodícím prvkem střely v počáteční fázi jejího pohybu,
- zajišťuje potřebnou velikost síly, která je potřebná k vytažení střely – tím i ovlivňuje rovnoměrnost hoření prachu,
- chrání bicí mechanismus palné zbraně proti prachovým plynům, které mohou působit erozivně – izoluje plyny ve spalovacím prostoru a zabraňuje jim úniku z hlavně.

Nábojnice musí být v nábojové komoře vždy stejně a stabilně uložena, čehož se dosahuje jejím opřením. Existuje několik typů konstrukcí nábojnic a několik způsobů jejich opření v nábojové komoře:

- **tvar náboje:** lahvovitá nábojnice s okrajem, bezokrajová nábojnice, nábojnice s dosedacím nákrůžkem, bezokrajová válcová nábojnice
- **způsob opření v nábojové komoře:** opření na okraji, opření o přechodový kužel nebo ústí nábojnice, opření na nákrůžku, opření na ústí nábojnice. [2]

2.2.5 Zápalka

Úkolem zápalky je zajistit vznícení prachové náplně. Slouží k tomu zpravidla malé množství třaskaviny, která je citlivá na náraz nebo tření.

Dnes se u běžných nábojů ručních palných zbraní můžeme setkat se dvěma typy zápalu:

- **náboje s okrajovým zápalem**

Zápalková slož je uložena v prolisu okraje dna náboje, aktivuje se úderem na okraj náboje. Tento způsob zápalu lze použít pouze u nábojů s nízkým maximálním tlakem – okraj náboje se zápalkovou slož má tenkou stěnu. Výhodou těchto nábojů je jednoduchá a levná výroba.

- **náboje se středovým zápalem**

Zápalková slož je uložena v kovovém kalíšku na dně nábojnice. Zápalková slož se stlačí proti pevné překážce – kovadlince.

- typ *Boxer* – Kovadlinka je součástí zápalky, ve dně nábojnice je kanálek, kterým prošlehne plamen a dochází tak k zažehnutí výmetné náplně.
- typ *Berdan* – Kovadlinka je součástí dna nábojnice. Kanálky, kterými prošlehává plamen, jsou dva nebo více a jsou umístěny po obvodu kovadlinky. [2]

2.3 Mechanizmy a systémy zbraní

Důležitou součástí každé zbraně jsou mechanismy a systémy, které pomáhají při manipulaci s nábojem během nabíjení zbraně, při výstřelu i následném vytažení nábojnice z nábojové komory a jejím vyhození z prostoru zbraně.

V této kapitole uvádím pouze základní informace a rozdělení těchto systémů a mechanismů, podrobněji se následně budu zabývat mechanismy bicími, nazývanými rovněž iniciační nebo odpalovací.

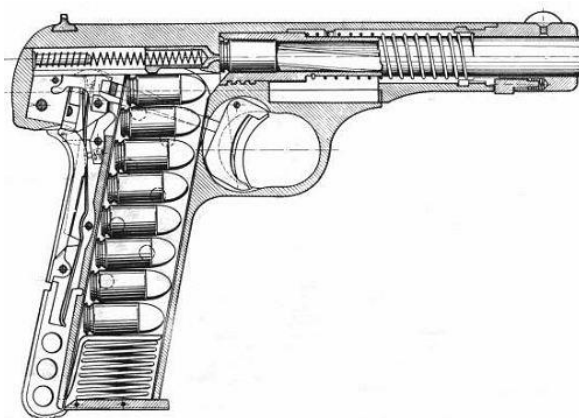
2.3.1 Systémy podávání nábojů

Hlavním cílem systému podávání nábojů je dopravit náboj do nábojové komory. Celý proces podávání náboje můžeme rozdělit do tří kroků: doprava náboje ke zbraní, doprava náboje do nábojiště (prostor zbraně, ze kterého náboj putuje do nábojové komory) a jeho přesunutí do nábojové komory. U ručního nabíjení (např. u jednoranových a vícehlavňových zbraní, kde střelec vkládá náboj přímo do nábojové komory) všechny tyto činnosti zajišťuje střelec. [4]

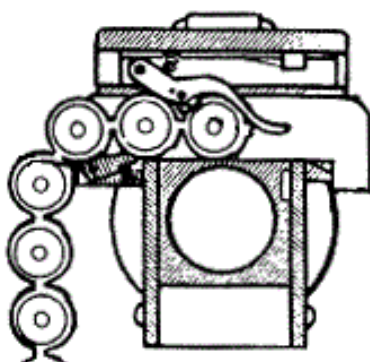
Pokud není zbraň nabíjena ručně, jak bylo zmíněno výše, můžeme rozdělit systémy podávání nábojů na:

- **Zásobníkový:** Energie pro dopravu náboje do nábojiště je akumulována v pružině.
- **Pásový:** Energie pro dopravu náboje do nábojiště je odebírána hlavnímu funkčnímu členu automatiky zbraně.
- **Dopravníkový:** Dlouhý nábojový pás je nahrazen krátkým a spojeným, pro jeho pohyb využíváme energii vnějšího zdroje. [4]

Zásobníkový a pásový systém podávání nábojů jsou znázorněny na obr. 2.2-2.3.



Obrázek 2.2: Zásobníkový systém podávání nábojů [12]



Obrázek 2.3: Pásový systém podávání nábojů [13]

2.3.2 Vytahovací a vyhazovací mechanismy

Tyto mechanismy jsou většinou přímo součástí závěru, nebo jsou úzce svázány s jeho činností.

Vytahovač slouží k vytažení prázdné nábojnice, případně nevystřeleného náboje z nábojové komory. Vyhazovač vyhodí vytaženou nábojnici nebo náboj ze zbraně. [3]

2.3.3 Iniciační, spoušťová a pojistná ústrojí

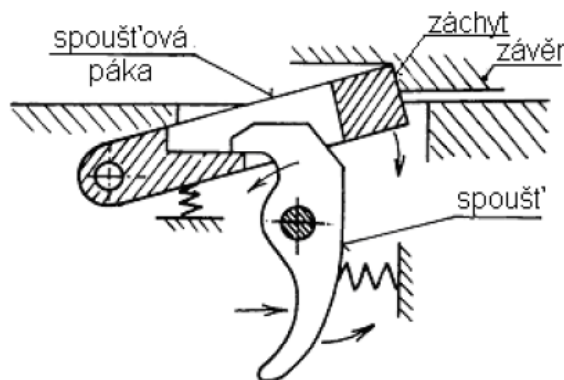
▪ Iniciační ústrojí

Odpalovací (iniciační) ústrojí slouží k iniciaci zápalky. Podle druhu iniciačního impulzu je dělíme na mechanická a elektrická. U mechanických zajišťuje iniciaci bicí mechanismus pomocí úderníku, který je poháněn bicí pružinou, předsuvnou (příp. hlavňovou) pružinou nebo cizím zdrojem energie, jako je elektromagnet nebo nezávislý pohon. Při elektrické iniciaci se zápalková slož vzniká od impulsu dodaného elektrickým zařízením. [4, 5]

▪ Spoušťové ústrojí

Spoušťové ústrojí se vyskytuje pouze tam, kde je použito mechanické iniciační ústrojí. Jeho úkolem je spolehlivě udržovat bicí mechanismus v napnuté (nebo jiné definované) poloze a zajišťovat jeho uvolnění, příp. i napínání.

Základem spoušťového ústrojí jsou spoušť a spoušťová páka, případně záchyt závěru. Jednoduché spoušťové ústrojí je znázorněno na obrázku 2.4.



Obrázek 2.4: Schéma spoušťového ústrojí [4]

Spoušťová ústrojí vždy obsahují pružiny, jejichž úkolem je vracet součásti spoušťového ústrojí do počáteční polohy. Někdy také obsahují další vložené součásti, které plní různé funkce, např. zmenšení odporu spouště při přesné střelbě – tzv. napínáčky, příp. přerušování střelby u samonabíjecích nebo automatických zbraní – tzv. přerušovače atd.

Konstrukce spoušťových mechanismů z hlediska způsobu napínání a uvolňování bicího mechanismu se liší podle druhu a principu zbraně. U zbraní jednoranových a opakovacích se bicí mechanismus napíná ručně, natažením kohoutku nebo úderníku po uzamčení závěru, nebo při otevírání, příp. zavírání závěru. U zbraní samonabíjecích a automatických je v průběhu střelby zajišťováno napínání bicích mechanismů s vlastní bicí pružinou zpravidla závěrovým mechanismem při jeho pohybu vzad. [4]

▪ Pojistné mechanismy

Pro bezpečnost zbraně je bezpodmínečně nutná pojistka, bránící nezamýšlenému, příp. samovolnému výstřelu. Obvykle se u ručních hlavnových zbraní speciální součástkou blokuje spoušť, dále se používá blokování spoušťového táhla, spoušťové páky a úderníku (kladívka).

Moderní tendencí u ručních zbraní je použití vícenásobného jištění. Jestliže je jištěna spoušť, pak je vhodné použít také úderníkovou pojistku, která se automaticky odjistí při stlačení spouště pomocí speciální páky. Tato pojistka je důležitá zejména při pádu zbraně a při vzniku jiných nečekaných zrychlení zbraně, kdy by i při zajištěné spoušti mohlo vyvolaným zrychlením dojít k pohybu úderníku, překonání odporu slabé pružiny úderníku a nežádoucímu výstřelu. Případně jsou použity i další zajišťovací prvky. [4]

3 Iniciační ústrojí palných zbraní

Bicí mechanizmy se označují jako mechanická iniciační ústrojí – zajišťují mechanickou iniciaci náboje. Pro tyto mechanizmy jsou charakteristickými součástmi úderník se zápalníkem a kohout(ek) či kladívko. Úderník narazí zápalníkem na zápalku, která je uložena ve dně nábojnice a stlačí tak mezi zápalníkem a kovádkou zápalkovou slož, která se vznítí. Plamen prošlehne zátravkami do nábojnice a zažehne prachovou náplň. Energie potřebná pro iniciaci se akumuluje do bicí pružiny nebo může být dodána z cizího zdroje (např. elektromagnet).

Bicí mechanizmy můžeme podle způsobu dodání energie pro iniciaci zápalky rozdělit do tří skupin:

- s vlastní bicí pružinou,
- bez vlastní bicí pružiny (energie potřebná pro iniciaci je dodána pedsuvnou nebo hlavňovou pružinou),
- bicí mechanizmy, kde bicí pružinu nahrazuje elektromagnet. [4]

Bicí mechanizmy s bicí pružinou můžeme podle druhu pohybu hlavního hmotného členu dále dělit na:

- úderníkové (s přímoběžným pohybem),
- kladívkové (s rotačním pohybem). [5]

V následující části popíšeme nejčastější druhy ručních palných zbraní a jejich bicí mechanizmy, konkrétně kulovnici, samopal, pistoli a revolver.

3.1 Kulovnice

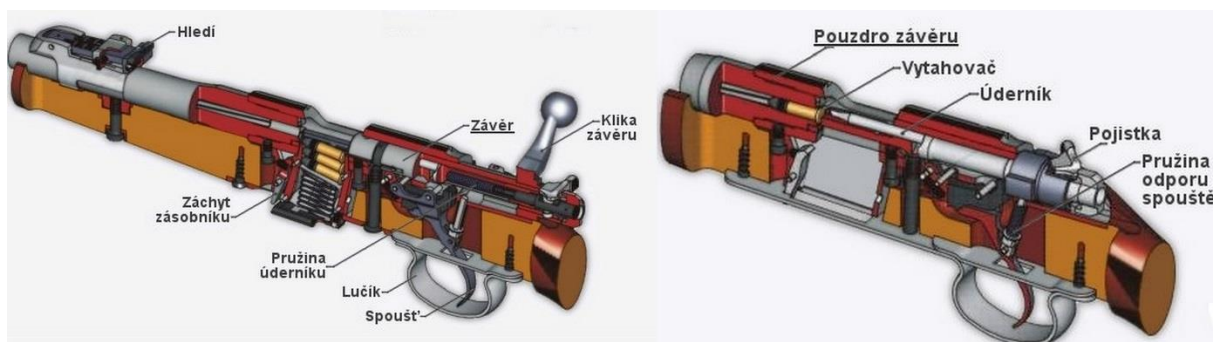
Nejznámějšími zástupci kulovnic jsou lovecká, sportovní nebo odstřelovačská puška. Jedná se o dlouhou zbraň s drážkovaným vývrtem. Kulovnice mohou mít jednu nebo více kulových hlavňů, podle počtu hlavňů se pak rozlišují jednohlavňové, dvouhlavňové, tříhlavňové a čtyřhlavňové. Vícehlavňové kulovnice mají své speciální názvy, např. dvoják, kulová kozlice, kulový troják (obr. 3.1). [4]



Obrázek 3.1: Vícehlavňové kulovnice – zleva: dvoják, kulová kozlice, kulový troják. [7]

Zvláštní skupinu loveckých a sportovních kulovnic představují malorážky, což jsou dlouhé zbraně s drážkovaným vývrtem s okrajovým zápalem (pro náboj ráže 5,6 mm). [4]

Bicí mechanismus kulovnice se skládá z úderníku, který po stisknutí spouště odpaluje náboj v komoře, a pružiny úderníku, která uděluje úderníku energii potřebnou pro odpálení náboje. Obě tyto součásti jsou viditelné na obr. 3.2.



Obrázek 3.2: Součásti dlouhé kulové zbraně (malorážky) [7]

3.2 Samopal

Samopaly jsou plně automatické zbraně, které používají pistolové střelivo. Mají poměrně malý zpětný ráz a díky tomu mohou využívat jednoduché závěrové konstrukce (dynamický otevřený závěr – proti zpětnému pohybu závěru tak působí pouze vratná pružina [7]). [2]

Závěrový mechanismus samopalu je poháněn plyny vznikajícími při hoření střelného prachu v náboji a využívá uzamčení kyvnou závorou. [7]

Bicí ústrojí se skládá z pružiny, kladívka, a zápalníku. Součástí mechanismu je i pružinu zápalníku (obr. 3.3). Kladívko vytlačí náboj ze zásobníku do nábojové komory, poté přes zápalník udeří na zápalku a následuje výstřel.

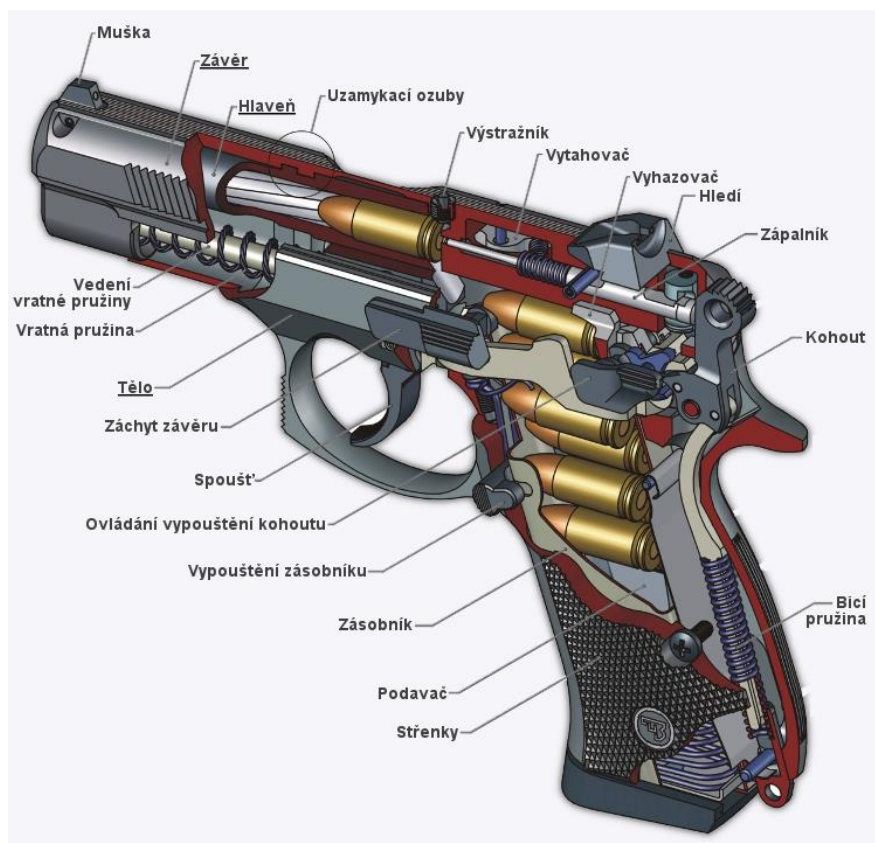


Obrázek 3.3: Části bicího mechanismu samopalu Scorpion EVO [14]

3.3 Pistole

Označením „pistole“ rozumíme samonabíjecí pistoli. Náboje jsou uloženy v zásobníku, z něhož se nabíjejí do nábojové komory. Kapacita zásobníku je obvykle 8 až 16 nábojů.

Bicí mechanismus pistole sestává z bicí pružiny, kladívka či kohoutu a zápalníku. Všechny tyto součásti jsou viditelné na schématu pistole CZ 75D Compact (obr. 3.4). Moderní pistole mají obvykle dvojčinné spoušťové ústrojí, které zvyšuje jejich pohotovost ke střelbě. Natažení bicího mechanismu dvojčinnou spouští se uplatňuje pouze při prvním výstřelu, při dalších výstřelech se bicí ústrojí napíná samočinně s využitím energie zpětného rázu závěru. [2]



Obrázek 3.4: Schéma pistole CZ 75D Compact [7]

3.4 Revolver

Revolvery patří k opakovacím zbraním s komorovým revolverovým závěrem. Téměř výlučně se konstruuje jako opakovací zbraň. Podle velikosti zbraně a výkonnosti střeliva má nábojový válec kapacitu obvykle 5 až 6, v případě malé ráže až 9 nábojů. [2, 3]

Bicí mechanismus se skládá stejně jako u pistole z bicí pružiny, kladívka a zápalníku. S napnutím kohoutu (kladívka) se zároveň pootočí nábojový válec (podle typu revolveru doleva nebo doprava) a před hlaveň se tak nastaví další nábojová komora s nábojem. [2]

Na obr. 3.5 lze vidět jednotlivé části bicího mechanismu revolveru.



Obrázek 3.5: Součásti bicího mechanismu revolveru [9]

3.5 Iniciační energie zápalky od bicího ústrojí

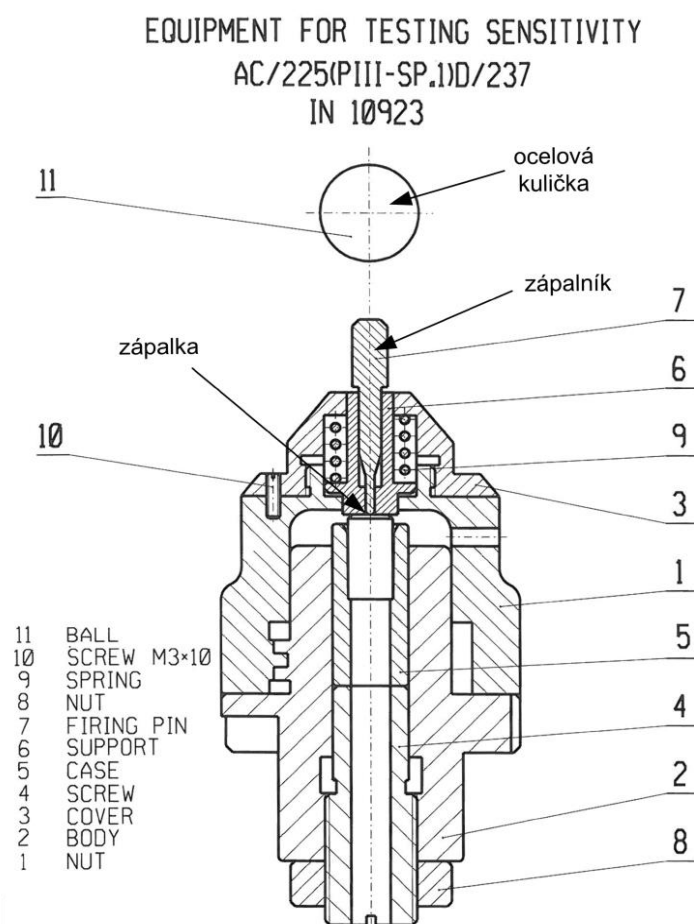
Jedním z hlavních funkčních parametrů zápalek je jejich citlivost. Citlivost zápalky je charakterizována jako energie, která je třeba k iniciaci vnitřní zápalkové směsi. v této kapitole označíme citlivost pojmem iniciační energie zápalky E_{iz} .

Citlivost je parametr, který vypovídá o spolehlivosti funkce zápalky. Je určena pádovou výškou ocelové kuličky předepsané hmotnosti na úderník přípravku, ve kterém je umístěna zápalka v ocelovém pouzdře či nábojnici dané ráže viz obr. 3.6. Citlivost zápalky se vyhodnotí provedením zkoušky metodou kritické výšky (run-down). [8]

Předepsaná hmotnost zkušebních závaží (kuliček) je následující:

- pistolové zápalky: $55 \pm 0,57$ g
- puškové zápalky: $111,7 \pm 0,57$ g

Zkoušení zařízení sloužící ke zjištění pádových výšek je znázorněno na následujícím obrázku.



Obrázek 3.6: Zkoušecí zařízení zápalek

3.5.1 Průběh zkoušky

Zkouška se provede pro každou pádovou výšku s použitím 25 zápalkovaných nábojnic. Pádová výška je vzdálenost zápalníku od místa vypuštění ocelové kuličky. Po dokončení 25 pádů z počáteční pádové výšky se bude pádová výška postupně snižovat o 25 mm. Postup se bude opakovat, dokud nedojde u žádné z 25 zápalek k odpálení zápalkové složky. Pádová výška

pak bude seřízena zpět na počáteční výšku a bude se zvyšovat v přírůstcích po 25 mm a řada pádů se bude opakovat na každém zvýšeném přírůstku. Výška se bude zvyšovat a postup se bude opakovat, až u všech z 25 zápalek dojde k odpálení zápalkové složky. V případě, že bude nutno provést opakovanou zkoušku, bude požadováno 50 zápalkovaných nábojnic pro pádovou výšku.

Náboje budou pokládány za vyhovující požadavkům NATO, kterým také vyhovuje směrnice S&B, jestliže průměrné maximální a minimální naměřené pádové výšky $\bar{H} + 5S$ a $\bar{H} - 2S$ deklarované hodnoty souhlasí s požadavky pro odpovídající ráži uvedenými v tabulce níže. S představuje směrodatnou odchylku.

Tabulka 3.1: Pádové výšky zápalek jednotlivých ráží

Ráže [mm]	$\bar{H} + 5S$ [mm]	$\bar{H} - 2S$ [mm]
9	≤ 350	≥ 75
5,56	≤ 450	≥ 75
7,62	≤ 500	≥ 75

Citlivost plní zápalky s rezervou a skutečné dlouhodobě vysledované meze stoprocentní funkce v nábojnici jsou uvedeny v tab. 3.2. Z hmotnosti závaží a výšky pádu je pak možné vyjádřit polohovou energii. Tuto energii následně můžeme prohlásit za iniciační energii zápalky E_{iz} . [8]

Tabulka 3.2: Polohová energie zápalek jednotlivých ráží

Ráže [mm]	Závaží [g]	Skutečná mez [mm]	Polohová energie [J]
9	55	230	0,124
5,56	111,7	255	0,279
7,62	111,7	255	0,279

4 Možnosti řešení

Detaily o obecném analytickém postupu návrhu bicího mechanismu palné zbraně na základě potřebné energie a rychlosti úderníku či zápalníku patří mezi interní informace zbrojních firem, ke kterým nemá široká veřejnost přístup. Z tohoto důvodu se v literatuře ani na internetu nenachází mnoho pramenů, ze kterých by bylo možno čerpat.

V následující kapitole předkládám volně dostupné zdroje, ze kterých je možno využít informace týkající se návrhu palné zbraně.

4.1 Literatura

V literatuře se vyskytují prameny, které se věnují výpočtům bicího ústrojí palné zbraně. Jedná se např. o skripta vysokých škol [5], která jsou ale značně zjednodušená a výpočty v nich jsou pro tuto bakalářskou práci téměř nepoužitelné. Dostupné jsou i některé další publikace [2, 3, 4], které se ale věnují spíše problematice zbraní obecně, rozdělení zbraní, popisu jednotlivých ústrojí a jejich funkcí apod.

Protože se nikde v literatuře nenachází přímo analytický postup návrhu bicího ústrojí palné zbraně ani dynamické výpočty bicích mechanismů, lze z těchto pramenů použít pouze malou část informací. Jako podklad pro dynamické výpočty byla proto použita skripta dynamiky [10].

4.2 Internet

Pokud se při hledání dostupných informací o analytickém návrhu bicího ústrojí palné zbraně obrátíme na internet, nedostaneme se o mnoho dále.

Existují absolventské práce, ve kterých je možné najít výpočty věnující se zbráním, ale žádná se nezabývá přímo dynamickou analýzou bicích mechanismů [15].

Dále lze na internetu nalézt různé výpočty týkající se balistiky [16]. Tyto zdroje se tedy zabývají např. množstvím střelného prachu potřebným k iniciaci zápalkové složky, závislostí objemu plynů v hlavni na poloze střely v hlavni, pohybem střely od okamžiku, kdy opustí hlaveň, až do okamžiku, kdy dopadne na cíl apod. Tyto výpočty ale také souvisí s touto prací jen velmi okrajově, takže je nelze použít jako základ, ze kterého by bylo možné vycházet.

4.3 Možnosti realizace výpočtu

Cílem této práce je určit vzorec pro energii potřebnou k iniciaci zápalkové složky a tím odpálení náboje a také vzorec pro dopadovou rychlost, kterou úderník nebo zápalník narazí na nábojnici. Tyto vzorce a postup jejich získání bude následně možné použít jako základ pro návrh bicího ústrojí vybraných palných zbraní.

Iničiační energii a dopadovou rychlost lze vypočítat pomocí úplného uvolnění s využitím pohybových rovnic, základních vět dynamiky (zákon zachování energie, zákon zachování hybnosti), nebo Lagrangeových rovnic II. druhu.

Vzhledem k tomu, že mým cílem je určit potřebnou energii a rychlost dopadu, volím pro svou práci jednoduchý přístup s využitím zákona zachování energie a zákona zachování hybnosti. Dalším důvodem pro tuto volbu je skutečnost, že do výpočtu je třeba zahrnout počáteční i koncovou polohu a energii součástí, což nám např. metoda Lagrangeových rovnic II. druhu neumožňuje.

Další metodou, která bude pro výpočty iniciačních ústrojí použita, bude metoda úplného uvolnění. Tato metoda poskytne možnost do výpočtů zahrnout i tření a následné porovnání s výsledky bez tření ukáže, zda má jeho uvažování velký vliv na teoretickou hodnotu iniciační energie či nikoliv.

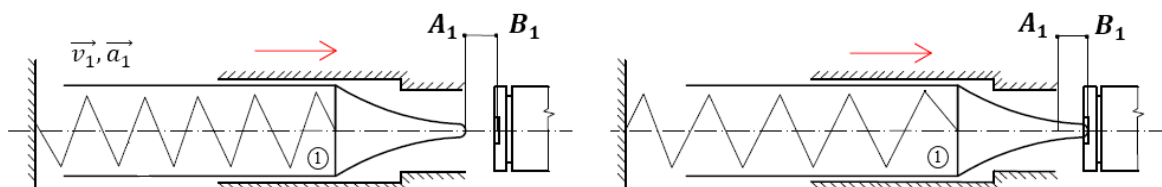
5 Geometrie a kinematický rozbor

V této kapitole jsou uvedeny nákresy bicích mechanismů jednotlivých zbraní a popis jejich geometrie a pohybů, které části mechanismů při výstřelu konají. Na schématech lze vidět, jakým směrem se jednotlivé části mechanismů pohybují. Tyto pohyby jsou označeny červenými šipkami. V obrázcích je též uvedeno označení rychlostí a zrychlení součástí a počáteční a koncové body pohybu. Pro účely této práce předpokládáme vždy pohyb součástí z bodu A do bodu B, který je konán v kladném směru osy x .

Podrobnější popis všech pohybů a veličin jako jsou rychlosti, zrychlení, energie apod. je uveden v následující kapitole.

5.1 Kulovnice

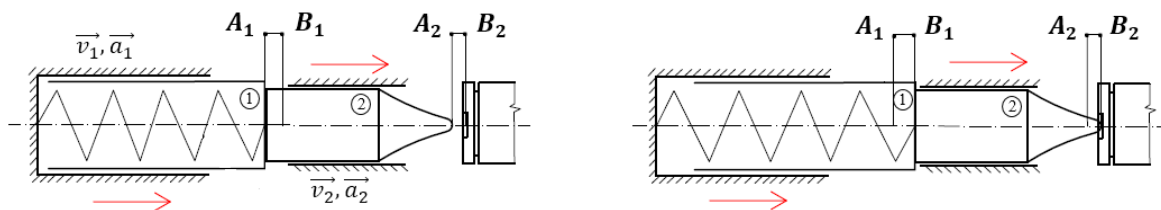
Bicí mechanismus kulovnice je nejjednodušší ze všech mechanismů, které jsou v této práci uvedeny. Tvoří jej pouze úderník, který koná translační pohyb a následně iniciuje zápalkovou slož. Schéma je uvedeno na obrázku 5.1.



Obrázek 5.1: Kinematický rozbor bicího mechanismu kulovnice

5.2 Samopal

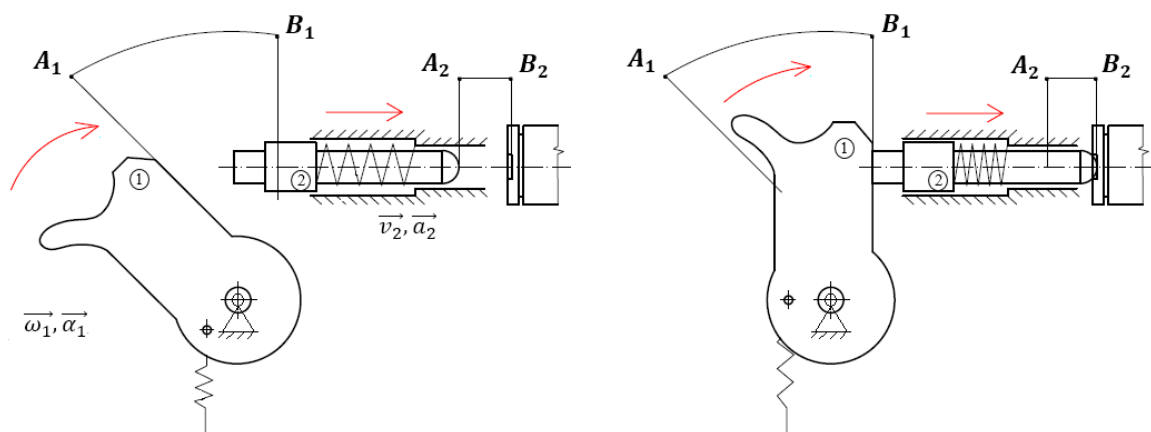
Samopal se se svým bicím mechanismem řadí mezi jednodušší typy zbraní. Jeho iniciační ústrojí tvoří kladívko konající translační pohyb a zápalník konající taktéž translační pohyb. Tento narazí do nábojnice a iniciuje zápalkovou slož. Schéma bicího mechanismu samopalu je uvedeno na obr. 5.2.



Obrázek 5.2: Kinematický rozbor bicího mechanismu samopalu

5.3 Pistole

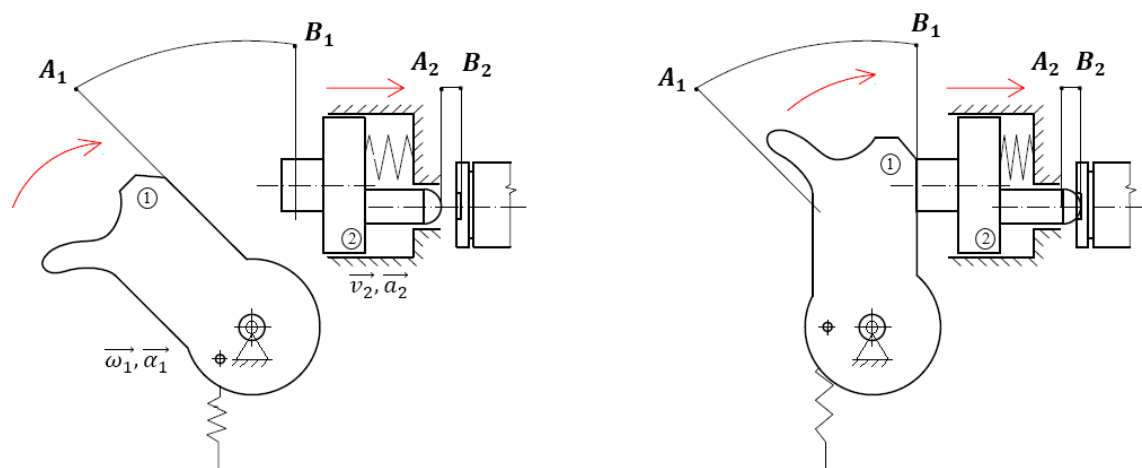
Bicí mechanismus pistole je již složitější než u kulovnice nebo samopalu, především v tom, že jednotlivé součásti nekonají pouze translační pohyby. Skládá se z kladívka, které koná pohyb rotační, a zápalníku konajícího translační pohyb. Zápalník následně nárazem na dno nábojnice iniciuje zápalkovou slož.



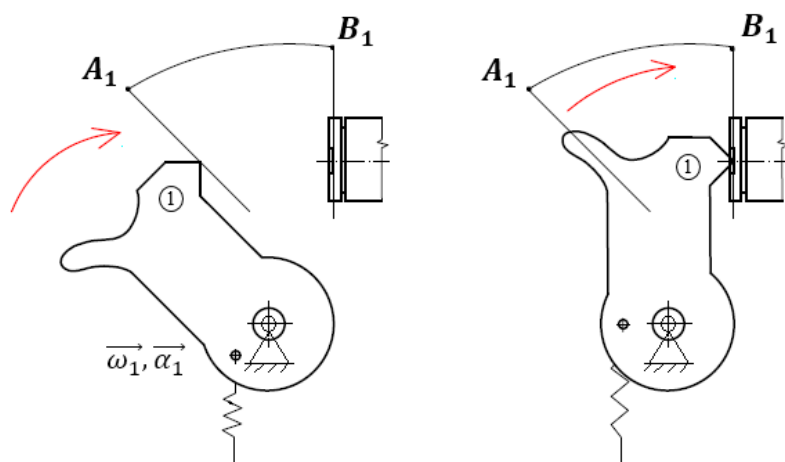
Obrázek 5.3: Kinematický rozbor bicího mechanismu pistole

5.4 Revolver

Bicí mechanismus revolveru pracuje na stejném principu jako u pistole, liší se pouze tvarem jednotlivých součástí, jako jsou kladívko a zápalník.



Obrázek 5.4: Kinematický rozbor bicího mechanismu revolveru nové konstrukce



Obrázek 5.5: Kinematický rozbor bicího mechanismu revolveru staré konstrukce

6 Dynamika

Oproti kinematickému rozboru je třeba do rozboru dynamického zahrnout i hmotnosti jednotlivých součástí a síly, které na ně působí. Působící síly budou v případě výpočtů bicích mechanismů síly, kterými působí stlačené pružiny na úderníky, příp. kladívka nebo zápalníky.

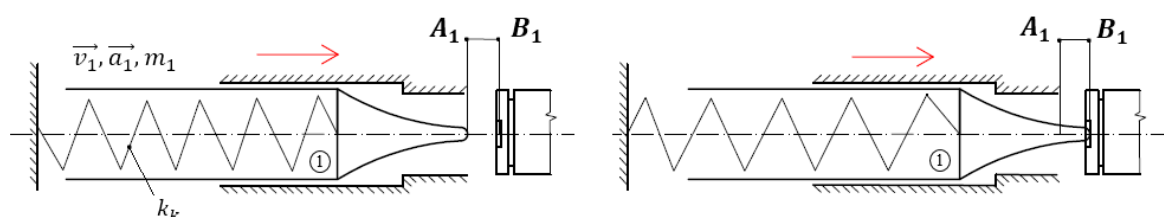
V této kapitole jsou podrobně popsány veškeré pohyby jednotlivých součástí bicích mechanismů a v nákresech je uvedeno označení některých veličin, které budou následně třeba pro výpočetní analýzu. Pokud bychom do obrázků chtěli zaznačit všechny veličiny, které jsou použity ve výpočtech, byly by nákresy nepřehledné, proto budou zbylé nezaznačené údaje blíže popsány až při řešení výpočtů.

Na schématech je vidět vždy počáteční a koncová poloha součástí, které se pohybují zleva doprava. Vlevo je zobrazena počáteční poloha bicího mechanismu před spuštěním spouště a vpravo konečná poloha při iniciaci zápalkové složky.

6.1 Kulovnice

Bicí mechanismus kulovnice se skládá z bicí pružiny a úderníku. Úderník koná translační pohyb mezi body A a B, kde A je počáteční poloha úderníku a B koncová poloha úderníku.

Rychlost úderníku označíme v_1 , zrychlení a_1 a hmotnost m_1 . Pro tuhost pružiny bicího mechanismu kulovnice použijeme označení k_k .

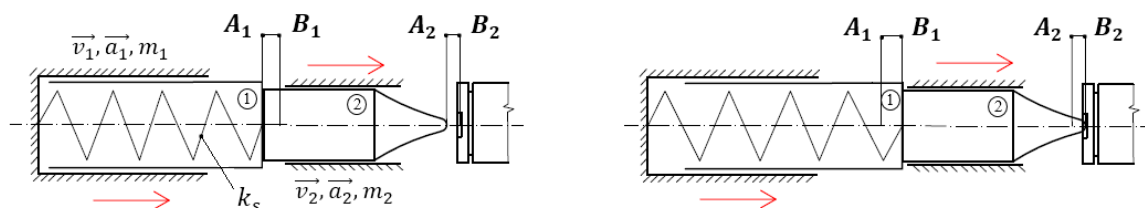


Obrázek 6.1: Dynamický rozbor bicího mechanismu kulovnice

6.2 Samopal

Bicí mechanismus samopalu sestává z bicí pružiny, kladívka a zápalníku. Bicí pružina, jejíž tuhost označíme k_s , předá svoji energii kladívku, které vykoná translační pohyb a narazí do zápalníku, jehož dopad na nábojnici vede k iniciaci zápalkové složky.

Hmotnost kladívka označíme m_1 , rychlost v_1 a zrychlení a_1 . Hmotnost zápalníku budeme označovat m_2 , rychlost v_2 a zrychlení a_2 .



Obrázek 6.2: Dynamický rozbor bicího mechanismu samopalu

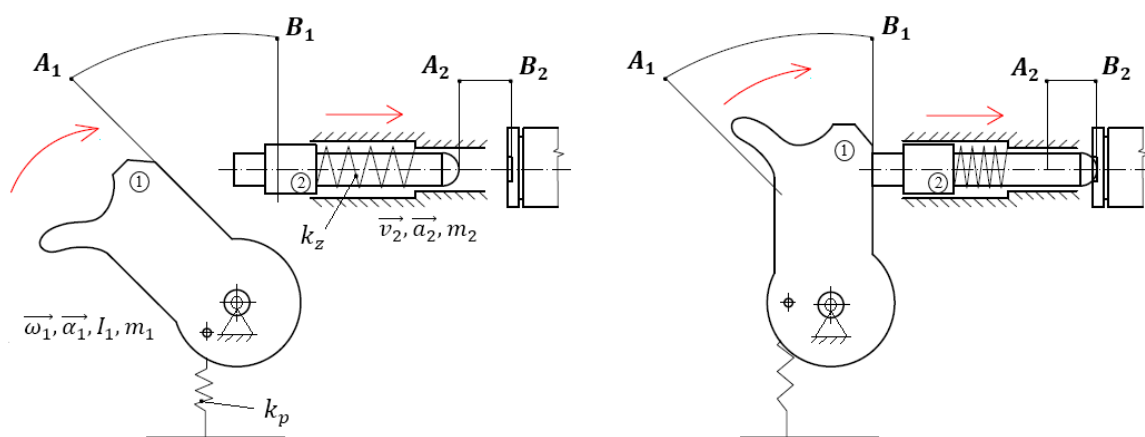
6.3 Pistole

Mechanismus pistole je tvořen bicí pružinou, kladívkem či kohoutem a zápalníkem. Pružina o tuhosti k_p je stlačena a poté je její energie předána kladívku, které vykoná rotační pohyb a narazí na zápalník. Energie kladívka je tímto přenesena na zápalník, jehož dopad na nábojnici vyvolá iniciaci zápalkové slož.

Kladívko se pohybuje úhlovou rychlostí ω_1 a s úhlovým zrychlením α_1 , jeho hmotnost označíme m_1 a moment setrvačnosti I_1 . Zápalník se pohybuje rychlostí v_2 se zrychlením a_2 a jeho hmotnost je m_2 .

V bicím mechanismu pistole hraje taktéž roli pružina zápalníku, která brzdí pohyb zápalníku a kladívka a tím snižuje kinetickou energii pohybu těchto dvou součástí. Tato pružina také slouží k vysunutí zápalníku z nábojové komory z důvodu zamezení kontaktu mezi zápalníkem a zápalkou náboje. [8]

Tuhost pružiny zápalníku označíme jako k_z .



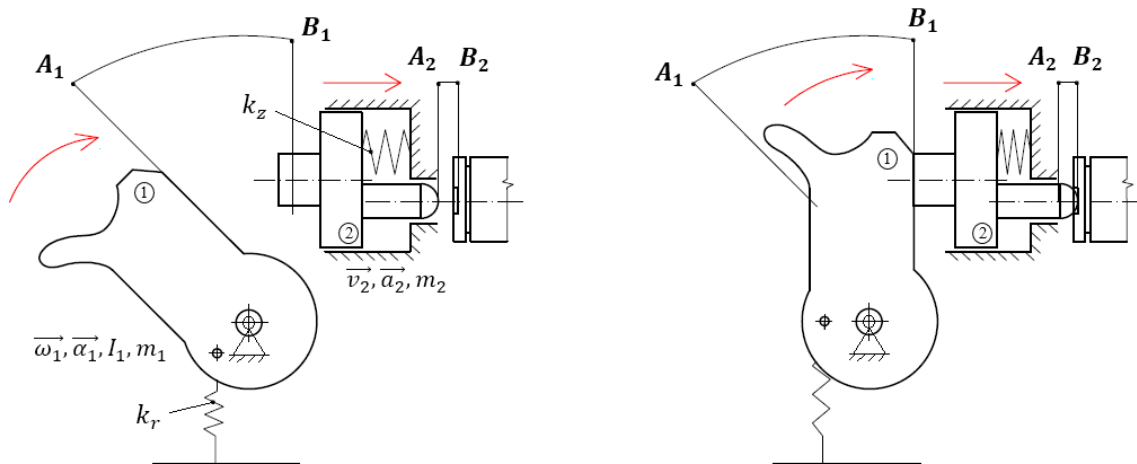
Obrázek 6.3: Dynamický rozbor bicího mechanismu pistole

6.4 Revolver

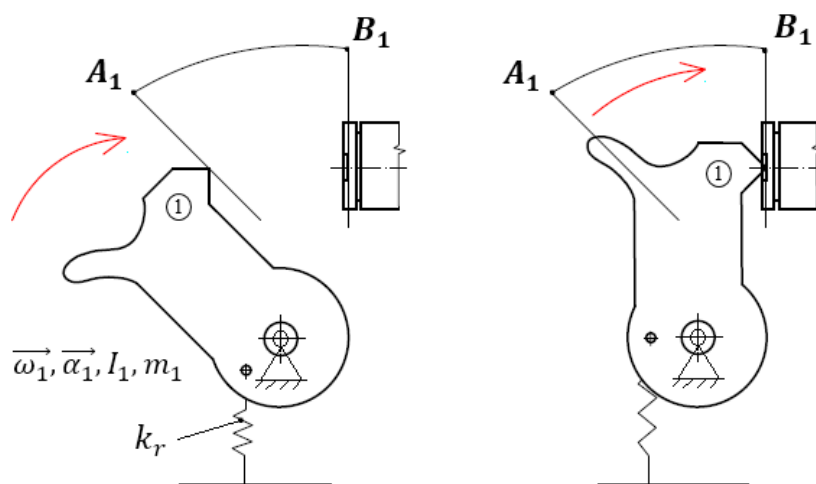
Bicí mechanismus revolveru funguje na stejném principu jako u pistole. Taktéž se skládá z bicí pružiny, kladívka nebo kohoutu a zápalníku.

Pohyby jednotlivých součástí jsou u revolveru nové konstrukce stejné jako u mechanismu v pistoli. Nachází se zde i pružina zápalníku stejně jako u pistole. U revolveru staré konstrukce máme pouze kladívko, které po vykonání rotačního pohybu naráží na nábojnici, čímž iniciuje zápalkovou slož.

Kladívko se po uvolnění stlačené pružiny o tuhosti k_r pohybuje úhlovou rychlostí ω_1 a s úhlovým zrychlením α_1 , jeho hmotnost označíme m_1 a moment setrvačnosti I_1 . Zápalník o hmotnosti m_2 se posunuje rychlostí v_2 se zrychlením a_2 . Tuhost pružiny zápalníku označíme jako k_z .



Obrázek 6.4: Dynamický rozbor bicího mechanismu revolveru nové konstrukce



Obrázek 6.5: Dynamický rozbor bicího mechanismu revolveru staré konstrukce

7 Teoretický výpočet

Pro výpočet potřebné iniciační energie a dopadové rychlosti byl zvolen nejprve přístup využívající zákony zachování mechanické energie a hybnosti. Tato metoda nám umožňuje zahrnout do výpočtu energii stlačené pružiny a hmotnosti a rychlosti součástí bicího mechanismu.

Zároveň bude proveden výpočet i pomocí metody úplného uvolnění, která nám poskytuje možnost uvažovat při posouzení pohybů i tření. Výsledky jednotlivých postupů lze následně porovnat a zhodnotit jejich výhody, nevýhody a odlišnosti.

Protože pro každou zbraň získáme dvě hodnoty dopadové rychlosti a dvě hodnoty iniciační energie, označíme výsledné energie a rychlosti získané prvním způsobem pomocným indexem 1 a výsledky získané druhým způsobem pomocným indexem 2.

Rozbor bicích mechanismů jednotlivých zbraní, jejich geometrií, pohybů a označení veličin byl proveden v přechozích kapitolách, proto zde přecházím přímo na výpočet iniciačního ústrojí.

7.1 Kulovnice

7.1.1 Základní věty dynamiky

V případě výpočtu přes zákony zachování mechanické energie a hybnosti pro zjednodušení nepočítáme se třením a vůlemi v uložení.

Potenciální energie bicí pružiny, která je v ní uložena po jejím stlačení, se následně přemění na kinetickou energii úderníku, který se po uvolnění bude pohybovat rychlostí v_1 .

V případě určování iniciační energie a dopadové rychlosti pouze přes energie a hybnosti předpokládáme, že stlačená pružina předá energii úderníku, který se následně bude pohybovat konstantní rychlostí. Rychlost v_1 , kterou se úderník po uvolnění pružiny pohybuje, tak budeme zároveň považovat za rychlost, kterou úderník dopadne na náboj.

Celkovou potenciální energii bicí pružiny vyjádříme jako rozdíl potenciálních energií pružiny při stlačení a při okamžiku nárazu. Vzdálenost x_1 je tedy v tomto případě rozdíl délek bicí pružiny v uvolněném a stlačeném stavu a x_1' je rozdíl délek bicí pružiny v uvolněném stavu a v okamžiku nárazu. Získáme potenciální energii, která následně z pružiny přejde na úderník:

$$E_p = \frac{1}{2} k_k (x_1^2 - x_1'^2) \quad (7.1)$$

Kinetickou energii úderníku spočítáme pomocí hmotnosti a rychlosti úderníku:

$$E_k = \frac{1}{2} m_1 v_1^2 \quad (7.2)$$

Protože předpokládáme, že všechna potenciální energie uložená v bící pružině přejde na úderník, můžeme psát rovnost:

$$E_p = E_k \quad (7.3)$$

$$\frac{1}{2} k_k (x_1^2 - x_1'^2) = \frac{1}{2} m_1 v_1^2 \quad (7.4)$$

Z rovnice 7.4 následně vyjádříme dopadovou rychlost úderníku na náboj a pomocí této rychlosti také iniciační energii potřebnou k odpálení náboje, která se rovná kinetické energii úderníku a označíme ji E_{i1} :

$$v_{11} = \sqrt{\frac{k_k (x_1^2 - x_1'^2)}{m_1}} \quad (7.5)$$

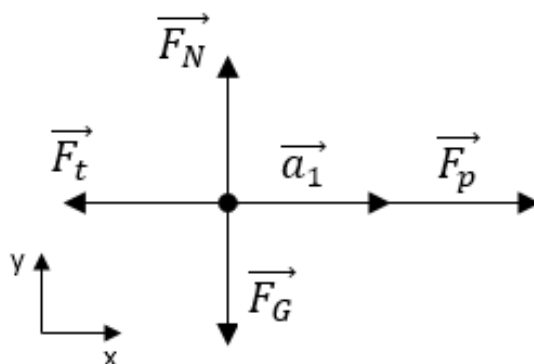
$$E_{i1} = \frac{1}{2} m_1 v_{11}^2 \quad (7.6)$$

7.1.2 Metoda úplného uvolnění

Tato metoda, jak již bylo zmíněno v úvodu kapitoly, umožňuje zahrnout do výpočtu tření. Tento přístup nám poskytne pohled na to, zda tření hraje velkou roli při výpočtu iniciační energie a dopadové rychlosti či nikoli.

Pro zjednodušení uvažujeme tření mezi úderníkem a jeho okolím stejné, jako by se po sobě posouvaly dvě rovinné plochy, přičemž opět nepočítáme s vůlemi v uložení. Tento předpoklad je použit i u všech následujících výpočtů, při kterých je využita metoda úplného uvolnění.

U každého mechanismu je nejprve vytvořeno schéma všech sil působících na součást a k nim je přidáno zrychlení. Součást při úplném uvolnění považujeme za hmotný bod. Schéma pro kulovnici můžeme vidět na obrázku 7.1.



Obrázek 7.1: Schéma úplného uvolnění úderníku kulovnice: F_t – třecí síla, F_N – normálová síla, F_G – gravitační síla, F_p – síla od bící pružiny, a_1 – zrychlení úderníku

Podle výše uvedeného schématu lze následně sestavit pohybové rovnice ve směrech x a y:

$$x: \quad m_1 a_1 = F_p - F_t \quad (7.7)$$

$$y: \quad 0 = F_N - F_G \quad (7.8)$$

Z rovnice 7.8 vyplývá, že normálová síla se rovná síle gravitační. Třecí sílu je možné přepsat jako součin normálové síly a součinitele tření, který v tomto případě označíme f_k . Dále tedy přepíšeme vztah pro třecí sílu na součin síly gravitační a součinitele tření. Ze vzniklých rovnic postupnými úpravami vyjádříme zrychlení úderníku:

$$m_1 a_1 = F_p - F_G f_k \quad (7.9)$$

Síla od bicí pružiny má velikost součinu tuhosti bicí pružiny a velikosti jejího stlačení. Stlačení pružiny ve vzorci pro zrychlení označíme obecně x :

$$a_1 = \frac{k_k x - m_1 g f_k}{m_1} \quad (7.10)$$

Rychlost úderníku získáme integrací rovnice zrychlení, přičemž platí:

$$a = v \frac{dv}{dx} \quad (7.11)$$

Z rovnice 7.11 plyne:

$$a dx = v dv \quad (7.12)$$

Následnou integrací a dosazením mezí získáme rychlost úderníku a z této rychlosti pomocí výše uvedeného vzorce vypočítáme iniciační energii:

$$\int_{x'_1}^{x_1} \frac{k_k x - m_1 g f_k}{m_1} dx = \int_{v_0}^{v_1} v dv \quad (7.13)$$

Počáteční rychlost úderníku je nulová, proto:

$$\left[\frac{k_k x^2}{2m_1} - \frac{m_1 g f_k x}{m_1} \right]_{x'_1}^{x_1} = \left[\frac{v^2}{2} \right]_0^{v_1} \quad (7.14)$$

$$\frac{1}{2} \left(\frac{k_k (x_1^2 - x_1'^2)}{m_1} - \frac{2m_1 g f_k (x_1 - x_1')}{m_1} \right) = \frac{v_1^2}{2} \quad (7.15)$$

Dopadová rychlost úderníku je rychlost, kterou se úderník bude pohybovat po uvolnění pružiny:

$$v_{12} = \sqrt{\frac{k_k(x_1^2 - x_1'^2) - 2m_1 g f_k(x_1 - x_1')}{m_1}} \quad (7.16)$$

Iničiační energie je i při metodě úplného uvolnění rovna kinetické energii pohybujícího se úderníku:

$$E_{i2} = \frac{1}{2} m_1 v_{12}^2 \quad (7.17)$$

7.2 Samopal

7.2.1 Základní věty dynamiky

Potenciální energie kumulovaná v pružině po jejím stlačení se přemění na kinetickou energii kladívka, které následně narazí do zápalníku. Předpokládáme, že po srážce se kladívko i zápalník pohybují společnou rychlostí a nárazem do nábojnice iniciují zápalkovou slož.

Pro zjednodušení výpočtu opět nepočítáme se třením a vůlemi v uložení a pohyb považujeme za rovnoměrný přímočarý.

Potenciální energii bicí pružiny vypočítáme z následujícího vztahu:

$$E_p = \frac{1}{2} k_s(x_1^2 - x_1'^2) \quad (7.18)$$

Kinetická energie kladívka se vyjádří rovnicí:

$$E_k = \frac{1}{2} m_1 v_1^2 \quad (7.19)$$

Pomocí zákona zachování mechanická energie z rov. 7.18-19 vyjádříme rychlost kladívka:

$$v_{11} = \sqrt{\frac{k_s(x_1^2 - x_1'^2)}{m_1}} \quad (7.20)$$

Pomocí zákona zachování hybnosti určíme rychlost, kterou se bude pohybovat zápalník společně s kladívkem. Protože počáteční rychlost zápalníku je nulová, má zákon zachování hybnosti pro tento případ tvar:

$$m_1 v_{11} = (m_1 + m_2) v_{21} \quad (7.21)$$

Ze zákona zachování hybnosti vyjádříme rychlost zápalníku:

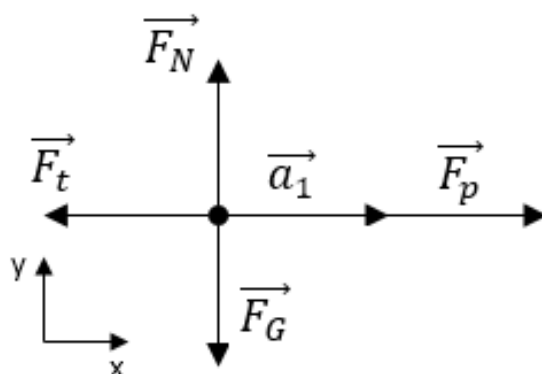
$$v_{21} = \frac{m_1 v_{11}}{m_1 + m_2} \quad (7.22)$$

Iniciační energie potřebná k odpálení náboje je v tomto případě rovna kinetické energii společného pohybu zápalníku a kladívka:

$$E_{i1} = \frac{1}{2} (m_1 + m_2) v_{21}^2 \quad (7.23)$$

7.2.2 Metoda úplného uvolnění

Síly působící na kladívko a jeho zrychlení jsou znázorněny na obrázku 7.2.



Obrázek 7.2: Schéma úplného uvolnění kladívka samopalu: F_t – třecí síla, F_N – normálová síla, F_G – gravitační síla, F_p – síla od bicí pružiny, a_1 – zrychlení kladívka

Z tohoto schématu opět získáme silové rovnice ve směrech x a y:

$$x: \quad m_1 a_1 = F_p - F_t \quad (7.24)$$

$$y: \quad 0 = F_N - F_G \quad (7.25)$$

Následující postup je stejný jako u výpočtu bicího mechanismu kulovnice, postupnými úpravami a využitím integrace získáváme vzorec pro rychlost kladívka:

$$v_{12} = \sqrt{\frac{k_s(x_1^2 - x_1'^2) - 2m_1 g f_s(x_1 - x_1')}{m_1}} \quad (7.26)$$

Po srážce kladívka se zápalníkem se obě tyto součásti pohybují společně. Pro určení dopadové rychlosti zápalníku využijeme stejně jako v rov. 7.22 zákon zachování hybnosti. Vztah pro dopadovou rychlost má potom tvar:

$$v_{22} = \frac{m_1 v_{12}}{m_1 + m_2} \quad (7.27)$$

Iniciační energii potřebnou pro odpálení náboje samopalů při uvažování tření určíme z rovnice:

$$E_{i2} = \frac{1}{2} (m_1 + m_2) v_{22}^2 \quad (7.28)$$

7.3 Pistole

7.3.1 Základní věty dynamiky

Princip přenosu energií je stejný jako u samopalů. Potenciální energie stlačené pružiny se předá kladívku, které narazí do zápalníku a společně poté iniciují zápalkovou slož.

Potenciální energii bicí pružiny vypočítáme z následujícího vztahu:

$$E_p = \frac{1}{2} k_p (x_1^2 - x_1'^2) \quad (7.29)$$

Kinetická energie kladívka se vyjádří rovnicí:

$$E_k = \frac{1}{2} I_1 \omega_1^2 \quad (7.30)$$

Pomocí zákona zachování mechanické energie vyjádříme z rovnic 7.29-30 úhlovou rychlost kladívka:

$$\omega_{11} = \sqrt{\frac{k_p (x_1^2 - x_1'^2)}{I_1}} \quad (7.31)$$

Obvodovou rychlost, kterou se pohybuje kladívko při nárazu na zápalník, vypočítáme jako součin úhlové rychlosti kladívka a jeho ramene:

$$v_{11} = \omega_{11} r_k \quad (7.32)$$

Pomocí zákona zachování hybnosti vypočítáme rychlost, kterou se bude pohybovat zápalník společně s kladívkem. Zákon zachování hybnosti pro tento případ má následující tvar:

$$m_1 \omega_{11} r_k = (m_1 + m_2) v_{21} \quad (7.33)$$

Z rovnice 7.33 vyjádříme rychlost zápalníku:

$$v_{21} = \frac{m_1 \omega_{11} r_k}{m_1 + m_2} \quad (7.34)$$

Proti pohybu kladívka a zápalníku působí pružina zápalníku. Proto celková iniciační energie bude umenšena o potenciální energii, která přejde ze zápalníku a kladívka na pružinu zápalníku. Tuto potenciální energii označíme E_{pz} a vyjádříme pomocí tuhosti zápalníkové pružiny k_z a velikosti jejího stlačení x_z takto:

$$E_{pz} = \frac{1}{2} k_z x_z^2 \quad (7.35)$$

Iniciační energie potřebná k odpálení náboje je v tomto případě rovna rozdílu kinetické energie společného pohybu zápalníku a kladívka a potenciální energie předané pružině zápalníku:

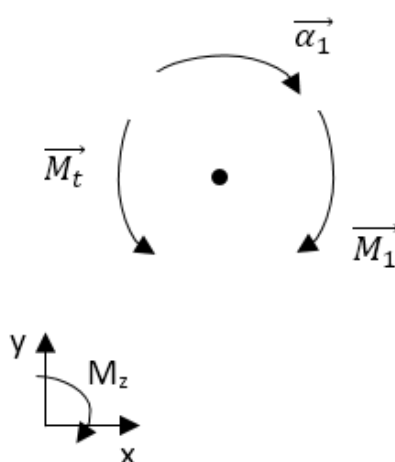
$$E_{i1} = E_i - E_{pz} \quad (7.36)$$

$$E_{i1} = \frac{1}{2} (m_1 + m_2) v_{21}^2 - \frac{1}{2} k_p x_z^2 \quad (7.37)$$

7.3.2 Metoda úplného uvolnění

U bicího mechanismu pistole provedeme nejprve uvolnění kladívka, aby bylo možné orientačně porovnat vypočtené hodnoty obvodové rychlosti kladívka při nárazu na zápalník. Poté následuje užití zákona zachování hybnosti a vyjádření dopadové rychlosti a iniciační energie.

Úplné uvolnění kladívka je znázorněno na obrázku 7.3.



Obrázek 7.3: Schéma úplného uvolnění kladívka pistole: M_t – třecí moment, M_1 – moment od bicí pružiny, α_1 – úhlové zrychlení kladívka

V čepu kladívka vzniká od gravitační síly třecí moment M_t , který působí proti směru otáčení kladívka.

Pomocí schématu uvolnění kladívka lze vytvořit rovnici pro moment kolem osy z:

$$M_z: I_1 \alpha_1 = M_1 - M_t \quad (7.38)$$

Moment působící na kladívko přepíšeme jako součin síly od bicí pružiny a ramene této síly. Síla od bicí pružiny je rovna součinu velikosti prodloužení pružiny a tuhosti bicí pružiny. Prodloužení pružiny vyjádříme pomocí ramene kladívka v okamžiku nárazu a úhlového natočení kladívka. Předpokládáme malé úhly natočení, mezi směrem působení síly a ramenem kladívka je tedy stále přibližně pravý úhel. Momentová rovnice má následující tvar:

$$I_1 \alpha_1 = \varphi_1 r_1 k_p r_1 - M_t \quad (7.39)$$

Následovalo by řešení diferenciální rovnice II. řádu, jelikož $\alpha_1 = \ddot{\varphi}_1$. Protože je ale prodloužení pružiny z hlediska řešení tohoto problému nepodstatné, můžeme prohlásit sílu od bicí pružiny za konstantní. Momentová rovnice získá následující tvar:

$$I_1 \alpha_1 = F_p r - M_t \quad (7.40)$$

Třetí moment vyjádříme vynásobením přítláčné síly, poloměru čepu r_c a součinitele tření f_p . Jako přítláčnou sílu v tomto případě uvažujeme pouze sílu gravitační. Z rovnice 7.40 můžeme následně vyjádřit úhlové zrychlení:

$$\alpha_1 = \frac{F_p r - F_G r_c f_p}{I_1} \quad (7.41)$$

Pro výpočet úhlové rychlosti kladívka použijeme stejný postup jako u samopalů. Využijeme tedy integraci. Pro vztah úhlového zrychlení a úhlové rychlosti platí:

$$\alpha = \omega \frac{d\omega}{d\varphi} \quad (7.42)$$

Z rov. 7.42 následně plyne:

$$\alpha d\varphi = \omega d\omega \quad (7.43)$$

Integrací vztahu 7.43 získáme vzorec pro úhlovou rychlost kladívka:

$$\int_{\varphi_0}^{\varphi_1} \frac{F_p r - F_G r_c f_p}{I_1} d\varphi = \int_{\omega_0}^{\omega_1} \omega d\omega \quad (7.44)$$

Počáteční úhlová rychlost i úhlové natočení kladívka jsou nulové, proto:

$$\frac{F_p r - F_G r_{\check{c}} f_p}{I_1} [\varphi]_0^{\varphi_1} = \left[\frac{\omega^2}{2} \right]_0^{\omega_1} \quad (7.45)$$

$$\left(\frac{(F_p r - F_G r_{\check{c}} f_p) \varphi_1}{I_1} \right) = \frac{\omega_1^2}{2} \quad (7.46)$$

$$\omega_{12} = \sqrt{\frac{2(F_p r - F_G r_{\check{c}} f_p) \varphi_1}{I_1}} \quad (7.47)$$

Obvodovou rychlost kladívka v okamžiku nárazu na zápalník získáme ze vztahu:

$$v_{12} = \omega_{12} r_k \quad (7.48)$$

Opětovným využitím zákona zachování hybnosti získáme dopadovou rychlost kladívka a zápalníku:

$$v_{22} = \frac{m_1 \omega_{12} r_k}{m_1 + m_2} \quad (7.49)$$

Dosazením odpovídajících hodnot do rovnice 7.37 získáme iniciační energii:

$$E_{i2} = \frac{1}{2} (m_1 + m_2) v_{22}^2 - \frac{1}{2} k_p x_z^2 \quad (7.50)$$

7.4 Revolver

Revolver se liší od pistole pouze tvarem kladívka a zápalníku, proto můžeme pro výpočet bicího mechanismu použít stejný postup jako u pistole. Z tohoto důvodu uvádím pro revolver pouze konečná vyjádření dopadových rychlostí a iniciačních energií.

7.4.1 Základní věty dynamiky

Pro úhlovou rychlost kladívka revolveru platí:

$$\omega_{11} = \sqrt{\frac{k_r (x_1^2 - x_1'^2)}{I_1}} \quad (7.51)$$

Obvodovou rychlost kladívka v okamžiku nárazu na zápalník vyjádříme z rovnice 7.32:

$$v_{11} = \omega_{11} r_k \quad (7.52)$$

Rychlost zápalníku spočítáme pomocí rov. 7.34:

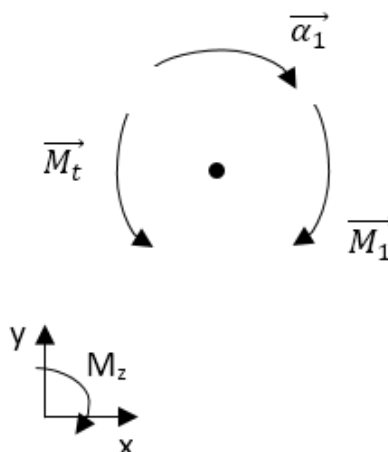
$$v_{21} = \frac{m_1 \omega_{11} r_k}{m_1 + m_2} \quad (7.53)$$

Iniciační energie potřebná k odpálení náboje je v tomto případě rovna kinetické energii společného pohybu zápalníku a kladívka umenšená o potenciální energii předanou pružině zápalníku:

$$E_{i1} = \frac{1}{2}(m_1 + m_2)v_{21}^2 - \frac{1}{2}k_z x_z^2 \quad (7.54)$$

7.4.2 Metoda úplného uvolnění

Uvolnění kladívka revolveru je uvedeno na obrázku 7.4.



Obrázek 7.4: Schéma úplného uvolnění kladívka revolveru: M_t – třecí moment, M_1 – moment od bící pružiny, α_1 – úhlové zrychlení kladívka

Úhlovou rychlost kladívka revolveru určíme ze vzorce:

$$\omega_{12} = \sqrt{\frac{2(F_p r - F_G r_{\text{ef}})\varphi_1}{I_1}} \quad (7.55)$$

Obvodovou rychlost kladívka v okamžiku nárazu na zápalník získáme ze vztahu:

$$v_{12} = \omega_{12} r_k \quad (7.56)$$

Opětovným užitím rov. 7.34 a dosazením odpovídajících hodnot získáme dopadovou rychlost kladívka a zápalníku:

$$v_{22} = \frac{m_1 \omega_{12} r_k}{m_1 + m_2} \quad (7.57)$$

Dosažením vypočítaných hodnot do rov. 7.37 získáme iniciační energii:

$$E_{i_2} = \frac{1}{2}(m_1 + m_2)v_{2_2}^2 - \frac{1}{2}k_z x_z^2 \quad (7.58)$$

Použité analytické metody se liší v největší míře svou výpočtovou náročností. Při využití zákonů zachování mechanické energie a hybnosti potřebujeme méně rovnic a vyjádření dopadové rychlosti a iniciační energie je méně složité, protože počítáme pouze se zlomky. Oproti tomu metoda úplného uvolnění vyžaduje během výpočtu využití integrace, což prodlouží čas výpočtu i jeho náročnost.

V inženýrské praxi je žádoucí zvolit co nejjednodušší řešení, proto se jeví jako vhodné použití prvního analytického přístupu.

Výhodou metody úplného uvolnění je možnost zahrnutí tření mezi součástmi konajícími translační pohyb a v čepech součástí konajících pohyb rotační. Předpokládáme ale, že vliv tření bude tak malý, že nám výstupní hodnoty ovlivní jen minimálně.

Proto z hlediska inženýrské praxe doporučuji pro výpočet bicího mechanismu palné zbraně použít metodu využívající zákony zachování mechanické energie a hybnosti.

8 Aplikovaný výpočet

Na základě dynamických výpočtů z předchozí kapitoly lze navržený analytický postup aplikovat na konkrétní zbraně, kterými jsou kulovnice ZKK 600, samopal vz. 58, pistole CZ 75 B, všechny vyráběné Českou zbrojovkou a. s., a revolver ALFA steel 38 Special vyráběný společností AlfaProj s. r. o.

U jednotlivých zbraní bude určena iniciační energie, pomocí které úderník, příp. zápalkník iniciuje zápalkovou slož v náboji, společně s dopadovou rychlostí. Tyto dva údaje přímo ovlivňují odpálení náboje. Protože tyto hodnoty jsou u každého typu mechanismu získány dvěma různými postupy, u každé zbraně bude nejprve určen výsledek vycházející z použití základních vět dynamiky přes zákony zachování hybnosti a energie a poté konečná hodnota získaná metodou úplného uvolnění se zahrnutím tření a využitím zákona zachování hybnosti. Výsledky budou následně porovnány s hodnotami energií potřebných k iniciaci zápalkové slož. Tyto údaje jsou získány od výrobců zápalek. Všechny ostatní fyzikální veličiny potřebné pro výpočty byly vyžádány od České zbrojovky a.s., AlfaProj s.r.o. nebo byly převzaty z bakalářské práce [8]. Hodnota součinitele tření byla zvolena na základě zkušeností.

Závěrem každého výpočtu bude určení bezpečnosti vůči spolehlivé iniciaci zápalky. Vypočtenou hodnotu iniciační energie značíme E_i a minimální energii potřebnou k odpálení náboje budeme značit E_{iz} . Poměrem těchto dvou hodnot získáme bezpečnost:

$$k = \frac{E_i}{E_{iz}} \quad (8.1)$$

Bezpečnost vůči odpálení náboje určenou pomocí výpočtu přes energie a hybnosti označíme k_1 a bezpečnost určenou metodou úplného uvolnění označíme k_2 . Minimální doporučená hodnota koeficientu bezpečnosti vůči spolehlivé iniciaci zápalkové slož je alespoň 1,5 [5].

8.1 Kulovnice

Určení konkrétních hodnot dopadové rychlosti a iniciační energie bude provedeno pro kulovnici ZKK 600 ráže .308 Winchester. Tuto zbraň vyrábí Česká zbrojovka a.s.



Obrázek 8.1: Kulovnice ZKK 600 [17]

Fyzikální veličiny, které budeme potřebovat pro výpočet, jsou uvedeny v tabulce 8.1.

Tabulka 8.1: Fyzikální veličiny potřebné pro výpočet a jejich hodnoty – kulovnice

Veličina	Označení	Hodnota
Počet činných závitů bicí pružiny	n_a	35
Střední průměr závitu bicí pružiny	D	10,75 mm
Průměr drátu pružiny	d	1,35 mm
Modul pružnosti ve smyku materiálu bicí pružiny	G	81,5 GPa
Délka bicí pružiny v uvolněném stavu	L_0	121,8 mm
Délka bicí pružiny v okamžiku nárazu	L_1	70 mm
Délka bicí pružiny ve stlačeném stavu	L_8	54,9 mm
Hmotnost úderníku	m_1	60 g
Součinitel tření mezi úderníkem a okolím	f_k	0,15

Ve výpočtu budeme využívat tuhost bicí pružiny k_k , kterou spočítáme dle [11]:

$$k_k = \frac{d^4 \cdot G}{8 \cdot D^3 \cdot n_a} = \frac{0,00135^4 \cdot 81,5 \cdot 10^9}{8 \cdot 0,01075^3 \cdot 35} = 778,23 \text{ Nm}^{-1}$$

Dále je nutné znát velikost stlačení bicí pružiny v napnutém stavu x_u a v okamžiku nárazu x'_1 :

$$x_1 = L_0 - L_8 = 121,8 - 54,9 = 66,9 \text{ mm} = 0,0669 \text{ m}$$

$$x'_1 = L_0 - L_1 = 121,8 - 70 = 51,8 \text{ mm} = 0,0518 \text{ m}$$

Pomocí těchto vypočtených hodnot a hodnot ve výše uvedené tabulce můžeme dosazením do rovnice 7.5 určit dopadovou rychlost úderníku:

$$v_{11} = \sqrt{\frac{k_k(x_1^2 - x_1'^2)}{m_1}} = \sqrt{\frac{778,23 \cdot (0,0669^2 - 0,0518^2)}{0,06}} = 4,882 \text{ ms}^{-1}$$

Z rovnice 7.6 následně plyne:

$$E_{i1} = \frac{1}{2} m_1 v_{11}^2 = \frac{1}{2} 0,06 \cdot 4,882^2 = 0,697 \text{ J}$$

S uvažováním tření pomocí metody úplného uvolnění byla získána rovnice 7.16, do které dosadíme a získáme druhou hodnotu dopadové rychlosti:

$$v_{12} = \sqrt{\frac{k_k(x_1^2 - x_1'^2) - 2m_1 g f_k(x_1 - x_1')}{m_1}} =$$

$$= \sqrt{\frac{778,23 \cdot (0,0669^2 - 0,0518^2) - 2 \cdot 0,06 \cdot 9,81 \cdot 0,15 \cdot (0,0669 - 0,0518)}{0,06}} =$$

$$= 4,817 \text{ ms}^{-1}$$

V porovnání s hodnotou získanou výpočtem bez uvažování tření si lze všimnout, že je rychlost nižší. Jedná se však o rozdíl v tisícinách ms^{-1} . Tento rozdíl nám pozmění i iniciační energii, která má po dosazení do rovnice 7.17 hodnotu:

$$E_{i2} = \frac{1}{2} m_1 v_{12}^2 = \frac{1}{2} 0,06 \cdot 4,817^2 = 0,696 \text{ J}$$

Pro kulovnici ZKK 600 ráže 308 Win. je podle údajů firmy Sellier&Bellot hodnota minimální iniciační energie $E_{iz} = 0,274 \text{ J}$. Bezpečnosti vůči spolehlivému odpálení náboje mají hodnoty:

$$k_{k1} = \frac{E_{i1}}{E_{iz}} = \frac{0,697}{0,274} = 2,54$$

$$k_{k2} = \frac{E_{i2}}{E_{iz}} = \frac{0,696}{0,274} = 2,54$$

8.2 Samopal

Výpočet konkrétních hodnot bude proveden pro samopal vz. 58. Tuto zbraň vyrábí Česká zbrojovka a.s. v ráži 7.62x39 mm.



Obrázek 8.2: Samopal vz. 58 [18]

Veličiny potřebné pro výpočet najdeme v tabulce 8.2.

Tabulka 8.2: Fyzikální veličiny potřebné pro výpočet a jejich hodnoty – samopal

Veličina	Označení	Hodnota
Tuhost bicí pružiny	k_s	375 Nm^{-1}
Délka bicí pružiny v uvolněném stavu	L_0	196 mm
Délka bicí pružiny v okamžiku nárazu	L_1	168 mm
Délka bicí pružiny ve stlačené stavu	L_8	114 mm
Hmotnost kladívka	m_1	27 g
Hmotnost zápalníku	m_2	2 g
Součinitel tření mezi kladívkem a okolím a zápalníkem a okolím	f_s	0,15

Pro získání rychlosti a energie je nejprve nutné určit velikosti stlačení bicí pružiny v napnutém stavu x_1 a v okamžiku nárazu x_1' :

$$x_1 = L_0 - L_8 = 196 - 114 = 82 \text{ mm} = 0,082 \text{ m}$$

$$x_1' = L_0 - L_1 = 196 - 168 = 28 \text{ mm} = 0,028 \text{ m}$$

Dále je již možné dosazením do rovnice 7.20 vypočíst rychlost kladívka narážejícího do zápalníku:

$$v_{11} = \sqrt{\frac{k_s(x_1^2 - x_1'^2)}{m_1}} = \sqrt{\frac{375 \cdot (0,082^2 - 0,028^2)}{0,027}} = 9,083 \text{ ms}^{-1}$$

Pomocí zákona zachování hybnosti využitého v rovnicích 7.21-22 určíme rychlost zápalníku při nárazu do náboje:

$$v_{21} = \frac{m_1 v_1}{m_1 + m_2} = \frac{0,027 \cdot 9,083}{0,027 + 0,002} = 8,457 \text{ ms}^{-1}$$

Dosazením do rovnice 7.23 získáme konečnou hodnotu iniciační energie:

$$E_{i1} = \frac{1}{2}(m_1 + m_2)v_{21}^2 = \frac{1}{2}(0,027 + 0,002) \cdot 8,457^2 = 1,037 \text{ J}$$

Z rovnic 7.26-28 určíme stejné hodnoty s uvažováním tření. Rychlost kladívka narážejícího do zápalníku určená metodou úplného uvolnění je:

$$v_{12} = \sqrt{\frac{k_s(x_1^2 - x_1'^2) - 2m_1 g f_s(x_1 - x_1')}{m_1}} =$$

$$= \sqrt{\frac{375 \cdot (0,082^2 - 0,028^2) - 2 \cdot 0,027 \cdot 9,81 \cdot 0,15 \cdot (0,082 - 0,028)}{0,027}} = 9,074 \text{ ms}^{-1}$$

Společnou rychlost kladívka a zápalníku, které narazí do náboje, vypočítáme dosazením do rovnice 7.27:

$$v_{22} = \frac{m_1 v_{12}}{m_1 + m_2} = \frac{0,027 \cdot 9,074}{0,027 + 0,002} = 8,448 \text{ ms}^{-1}$$

Iniciační energii, kterou zápalník s kladívkem iniciují zápalkovou slož, vyjádříme z rovnice 7.28:

$$E_{i2} = \frac{1}{2}(m_1 + m_2)v_{22}^2 = \frac{1}{2}(0,027 + 0,002) \cdot 8,448^2 = 1,035 \text{ J}$$

Z tabulky 3.2 lze určit iniciační energii pro náboj používaný v samopalu vz. 58. Její hodnota je $E_{iz} = 0,279 \text{ J}$. Bezpečnosti vůči spolehlivému odpálení zápalkové slož jsou následující:

$$k_{s1} = \frac{E_{i1}}{E_{iz}} = \frac{1,037}{0,279} = 3,72$$

$$k_{s2} = \frac{E_{i2}}{E_{iz}} = \frac{1,035}{0,279} = 3,71$$

8.3 Pistole

Výpočet iniciační energie a vyhodnocení bezpečnosti odpálení náboje bude provedeno pro pistoli CZ 75 B. Tento model je vyráběn Českou Zbrojovkou a.s.



Obrázek 8.3: Pistole CZ 75 B [19]

Fyzikální veličiny potřebné pro výpočet pistole jsou uvedeny v tabulce 8.3.

Tabulka 8.3: Fyzikální veličiny potřebné pro výpočet a jejich hodnoty – pistole

Veličina	Označení	Hodnota
Síla bicí pružiny při napnutém kohoutku	F_8	76,5 N
Síla bicí pružiny v okamžiku nárazu na zápalník	F_1	59,2 N
Rameno kohoutku při napnutí pružiny	r_0	2 mm
Rameno kohoutku v okamžiku nárazu na zápalník	r_1	5,2 mm
Délka bicí pružiny v uvolněném stavu	L_0	66 mm
Délka bicí pružiny v okamžiku nárazu	L_1	51,5 mm
Délka bicí pružiny ve stlačeném stavu	L_8	47,5 mm
Síla zápalníkové pružiny při uvolnění zápalníku	F_{z1}	10,2 N
Síla zápalníkové pružiny při stlačení zápalníku	F_{z8}	11,5 N
Délka zápalníkové pružiny v uvolněném stavu	l_1	12,5 mm
Délka zápalníkové pružiny ve stlačeném stavu	l_8	11 mm
Moment setrvačnosti kladívka	I_1	$4,13 \cdot 10^{-6} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
Úhlové natočení kladívka	φ_1	0,87 rad
Rameno kohoutku	r_k	22,5 mm
Hmotnost kladívka	m_1	15 g
Hmotnost zápalníku	m_2	5,1 g
Poloměr čepu kladívka	$r_{\text{č}}$	1,5 mm
Součinitel tření v čepu kladívka	f_p	0,15

Stejně jako v předchozích výpočtech nejprve určíme velikosti stlačení bicí pružiny v napnutém stavu x_1 a v okamžiku nárazu x_1' :

$$x_1 = L_0 - L_8 = 66 - 77,5 = 18,5 \text{ mm} = 0,0185 \text{ m}$$

$$x_1' = L_0 - L_1 = 66 - 51,5 = 14,5 \text{ mm} = 0,0145 \text{ m}$$

Velikost stlačení zápalníkové pružiny x_2 vyjádříme rovnicí:

$$x_2 = l_1 - l_8 = 1,5 \text{ mm} = 0,0015 \text{ m}$$

Pro výpočet budeme také potřebovat tuhost bicí pružiny a pružiny zápalníku. Tuhost bicí pružiny vyjádříme podílem síly od bicí pružiny v napnutém stavu F_8 a stlačení pružiny x_1 . Tuhost zápalníkové pružiny vypočítáme obdobně podílem síly zápalníkové pružiny při stlačení zápalníku F_{z8} a stlačení zápalníkové pružiny x_2 . Tuhosti získané tímto způsobem jsou pouze orientační, ale pro účely této práce je tento postup dostačující:

$$k_r = \frac{F_8}{x_1} = \frac{76,5}{0,0185} \doteq 4135 \text{ Nm}^{-1}$$

$$k_z = \frac{F_{z8}}{x_2} = \frac{11,5}{0,0015} \doteq 7667 \text{ Nm}^{-1}$$

Úhlovou rychlost kladívka vypočítáme dosazením do rovnice 7.31:

$$\omega_{11} = \sqrt{\frac{k_p(x_1^2 - x_1'^2)}{I_1}} = \sqrt{\frac{7667 \cdot (0,0185^2 - 0,0145^2)}{4,13 \cdot 10^{-6}}} = 363,538 \text{ rads}^{-1}$$

Obvodovou rychlost kladívka v okamžiku nárazu na zápalník vyjádříme ze vzorce 7.32:

$$v_{11} = \omega_{11} r_k = 363,538 \cdot 0,0225 = 8,180 \text{ ms}^{-1}$$

Společnou rychlost kladívka a zápalníku, kterou se pohybují v okamžiku nárazu na náboj, získáme dosazením do rovnice 7.34:

$$v_{21} = \frac{m_1 \omega_{11} r_k}{m_1 + m_2} = \frac{0,015 \cdot 363,538 \cdot 0,0225}{0,015 + 0,0051} = 6,104 \text{ ms}^{-1}$$

Kinetická energie je poté podle rov. 7.38 rovna rozdílu kinetické energie kladívka a zápalníku a potenciální energie, která přejde na pružinu zápalníku:

$$\begin{aligned} E_{i1} &= \frac{1}{2}(m_1 + m_2)v_{21}^2 - \frac{1}{2}k_z x_z^2 = \frac{1}{2}(0,015 + 0,0051) \cdot 6,104^2 - \frac{1}{2} \cdot 7667 \cdot 0,0015^2 = \\ &= 0,366 \text{ J} \end{aligned}$$

S uvažováním tření od gravitační síly v čepu kohoutku a dosazením síly od bicí pružiny v okamžiku nárazu a ramene kladívka v okamžiku nárazu dostaneme z rovnice 7.47 hodnotu úhlové rychlosti kladívka v okamžiku spojení se zápalníkem:

$$\begin{aligned} \omega_{12} &= \sqrt{\frac{2(F_1 r_1 - F_G r_{\check{c}} f_p) \varphi_k}{I_1}} = \sqrt{\frac{2 \cdot (59,2 \cdot 0,0052 - 0,015 \cdot 9,81 \cdot 0,0015 \cdot 0,15) \cdot 0,87}{4,13 \cdot 10^{-6}}} = \\ &= 360,113 \text{ rads}^{-1} \end{aligned}$$

Obvodová rychlost kladívka v tomto okamžiku se rovná:

$$v_{12} = \omega_{12} r_k = 360,113 \cdot 0,0225 = 8,103 \text{ ms}^{-1}$$

Z rovnice 7.49 plyne:

$$v_{22} = \frac{m_1 \omega_{12} r_k}{m_1 + m_2} = \frac{0,015 \cdot 360,113 \cdot 0,0225}{0,015 + 0,0051} = 6,047 \text{ ms}^{-1}$$

Hodnotu iniciační energie vypočítáme dosazením příslušných veličin do rov. 7.50:

$$E_{i2} = \frac{1}{2} (m_1 + m_2) v_{22}^2 - \frac{1}{2} k_z x_z^2 = \frac{1}{2} (0,015 + 0,0051) \cdot 6,047^2 - \frac{1}{2} \cdot 7667 \cdot 0,0015^2 = 0,359 \text{ J}$$

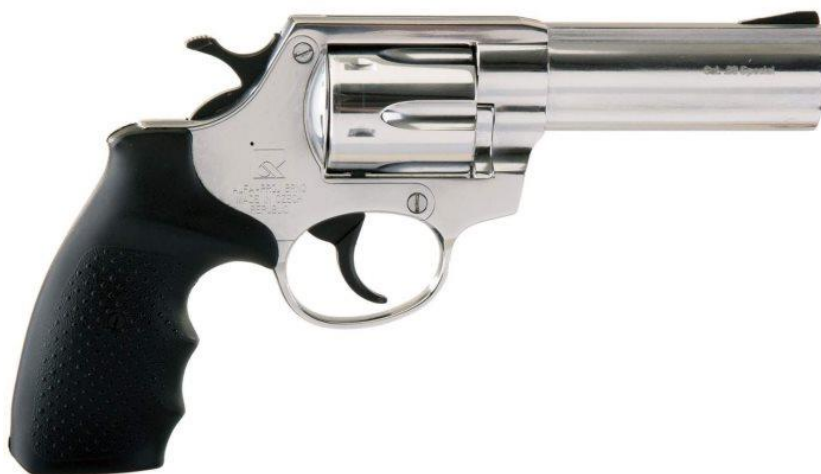
Minimální energie potřebná k iniciaci zápalky pistole je $E_{iz} = 0,124 \text{ J}$. Koeficienty bezpečnosti vzhledem ke spolehlivému odpálení náboje mají hodnoty:

$$k_{p1} = \frac{E_{i1}}{E_{iz}} = \frac{0,366}{0,124} = 2,95$$

$$k_{p2} = \frac{E_{i2}}{E_{iz}} = \frac{0,359}{0,124} = 2,90$$

8.4 Revolver

Dopadová rychlost zápalníku, iniciační energie a koeficient bezpečnosti revolveru bude určena pro revolver Alfa steel 38 Special, který vyrábí společnost AlfaProj s.r.o. v kalibru .38 Special. Jedná se o revolver nové konstrukce.



Obrázek 8.4: Revolver Alfa steel 38 Special [20]

Fyzikální veličiny, které budeme potřebovat pro výpočet revolveru, nalezneme v tabulce 8.4.

Tabulka 8.4: Fyzikální veličiny potřebné pro výpočet a jejich hodnoty – revolver

Veličina	Označení	Hodnota
Síla bicí pružiny při napnutém kohoutku	F_8	52 N
Síla bicí pružiny v okamžiku nárazu na zápalník	F_1	39 N
Rameno kohoutku při napnutí pružiny	r_0	8,08 mm
Rameno kohoutku v okamžiku nárazu na zápalník	r_1	9,5 mm
Délka bicí pružiny v uvolněném stavu	L_0	52 mm
Délka bicí pružiny v okamžiku nárazu	L_1	37,5 mm
Délka bicí pružiny ve stlačeném stavu	L_8	32,5 mm
Síla zápalníkové pružiny při uvolnění zápalníku	F_{z1}	1,7 N
Síla zápalníkové pružiny při stlačení zápalníku	F_{z8}	2,8 N
Délka zápalníkové pružiny v uvolněném stavu	l_1	5 mm
Délka zápalníkové pružiny ve stlačeném stavu	l_8	4 mm
Moment setrvačnosti kladívka	I_1	$12,78 \cdot 10^{-6} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
Úhlové natočení kladívka	φ_1	0,554 rad
Rameno kohoutku	r_k	33,05 mm
Hmotnost kladívka	m_1	33,17 g
Hmotnost zápalníku	m_2	1,21 g
Poloměr čepu kladívka	$r_{\text{č}}$	1,5 mm
Součinitel tření v čepu kladívka a mezi zápalníkem a okolím	f_r	0,15

Velikosti stlačení bicí pružiny v napnutém stavu x_1 a v okamžiku nárazu x_1' mají následující hodnoty:

$$x_1 = L_0 - L_8 = 52 - 32,5 = 19,5 \text{ mm} = 0,0195 \text{ m}$$

$$x_1' = L_0 - L_1 = 52 - 37,5 = 14,5 \text{ mm} = 0,0145 \text{ m}$$

Velikost stlačení zápalníkové pružiny má hodnotu:

$$x_2 = l_1 - l_8 = 5 - 4 = 1 \text{ mm} = 0,001 \text{ m}$$

Pro výpočet budeme stejně jako u pistole potřebovat tuhost bicí pružiny a pružiny zápalníku:

$$k_r = \frac{F_8}{x_1} = \frac{52}{0,0195} \doteq 2667 \text{ Nm}^{-1}$$

$$k_z = \frac{F_{z8}}{x_2} = \frac{2,8}{0,001} = 2800 \text{ Nm}^{-1}$$

Úhlovou rychlost kladívka vyčíslíme z rovnice 7.51:

$$\omega_{11} = \sqrt{\frac{k_r(x_1^2 - x_1'^2)}{I_1}} = \sqrt{\frac{2667 \cdot (0,0195^2 - 0,0145^2)}{12,78 \cdot 10^{-6}}} = 188,352 \text{ rads}^{-1}$$

Obvodová rychlost kladívka je:

$$v_{11} = \omega_{11} r_k = 188,352 \cdot 0,03303 = 6,225 \text{ ms}^{-1}$$

Rychlost zápalníku má podle rov. 7.53 hodnotu:

$$v_{21} = \frac{m_1 \omega_{11} r_k}{m_1 + m_2} = \frac{0,03317 \cdot 188,352 \cdot 0,03305}{0,03317 + 0,00121} = 6,001 \text{ ms}^{-1}$$

Iniciační energie potřebná k iniciaci zápalkové složce revolveru ALFA steel se podle rov. 7.54 rovná:

$$E_{i1} = \frac{1}{2} (m_1 + m_2) v_{21}^2 - \frac{1}{2} k_z x_z^2 = \frac{1}{2} (0,03317 + 0,00121) \cdot 6,001^2 - \frac{1}{2} \cdot 2800 \cdot 0,001^2 =$$

$$= 0,618 \text{ J}$$

Úhlová rychlost kladívka v okamžiku nárazu při uvažování tření v čepu je:

$$\omega_{12} = \sqrt{\frac{2(F_1 r_1 - F_G r_{\tilde{c}} f_r) \varphi_k}{I_1}} = \sqrt{\frac{2 \cdot (39 \cdot 0,0095 - 0,03317 \cdot 9,81 \cdot 0,0015 \cdot 0,15) \cdot 0,554}{12,78 \cdot 10^{-6}}} =$$

$$= 179,207 \text{ rads}^{-1}$$

Obvodovou rychlost kladívka vyčíslíme z rov. 7.56:

$$v_{12} = \omega_{12} r_k = 179,207 \cdot 0,03305 = 5,922 \text{ ms}^{-1}$$

Dopadovou rychlost kladívka a zápalníku spočteme dosazením do rov. 7.57:

$$v_{22} = \frac{m_1 \omega_{12} r_k}{m_1 + m_2} = \frac{0,03317 \cdot 179,207 \cdot 0,03305}{0,03317 + 0,00121} = 5,714 \text{ ms}^{-1}$$

Iniciační energii následně získáme ze vztahu 7.58:

$$E_{i2} = \frac{1}{2} (m_1 + m_2) v_{22}^2 - \frac{1}{2} k_z x_z^2 = \frac{1}{2} (0,03317 + 0,00121) \cdot 5,714^2 - \frac{1}{2} \cdot 2800 \cdot 0,001^2 =$$

$$= 0,560 \text{ J}$$

Protože minimální iniciační energie pro spolehlivé odpálení náboje je pro revolver stejně jako u pistole $E_{iz} = 0,124 \text{ J}$, jsou koeficienty bezpečnosti:

$$k_{p1} = \frac{E_{i1}}{E_{iz}} = \frac{0,618}{0,124} = 4,98$$

$$k_{p2} = \frac{E_{i2}}{E_{iz}} = \frac{0,560}{0,124} = 4,52$$

Pro všechny uvedené zbraně byla určena dopadová rychlost a iniciační energie potřebná k odpálení náboje. Tato energie byla následně porovnána s hodnotami minimálních energií potřebných k iniciaci zápalkové složky, které byly získány od výrobců zápalek.

Minimální hodnota koeficientu bezpečnosti pro spolehlivé odpálení náboje se doporučuje 1,5 [5]. Z toho plyne, že všechny zkoumané zbraně mají vhodně dimenzované bicí ústrojí.

U kulovnice je hodnota bezpečnosti $k_k = 2,54$, je tedy vyhovující. Samopal je vojenská zbraň, proto se z důvodu extrémních podmínek, ve kterých je používán, předpokládá velké předimenzování. Minimální bezpečnost $k_s = 3,71$ je tedy odpovídající. U pistole CZ 75, která je rovněž konstruována jako vojenská zbraň, je bezpečnost $k_p = 2,90$ také dostatečně velká. Hodnota koeficientu bezpečnosti revolveru je $k_r = 4,52$. Je tak vysoká, protože bicí pružina i zápalník revolveru jsou navrženy univerzálně pro všechny náboje se středovým zápalem, tzn. i pro náboje, kde je minimální potřebná iniciační energie vyšší. Je tedy nutné bicí mechanismus předimenzovat, aby zbraň byla funkční i s jinými náboji.

Po porovnání konečných hodnot se zahrnutím tření a bez něj jsme zjistili, že tření má na funkci bicího mechanismu palné zbraně minimální vliv, počítáme-li s velikostí koeficientu tření v běžném rozmezí styku ocel na ocel. U zbraní předpokládáme postupné znečištění, které znamená zvýšení tření. Pokud jeho zahrnutí do výpočtů ovlivňuje výsledky relativně málo, nebude mít toto znečištění příliš velký dopad na funkčnost bicího ústrojí zbraně.

Největší rozdíly v dopadových rychlostech a iniciačních energiích při porovnání obou analytických metod vykazuje bicí mechanismus revolveru z důvodu největšího předimenzování.

9 Závěr

Po provedení úvodní rešerše v oblasti zbraňové problematiky byly z hlediska dynamiky analyzovány bicí mechanismy čtyř různých palných zbraní. Na základě této analýzy byl sestaven analytický postup návrhu bicího ústrojí, jehož výstupními hodnotami jsou dopadová rychlost úderníku či zápalníku, iniciační energie a koeficienty bezpečnosti vůči spolehlivé iniciaci zápalkové složky.

Tento teoretický postup byl následně aplikován na konkrétní zbraň. Protože se k výsledku u každého typu iniciačního ústrojí došlo dvěma různými způsoby, pro každou zbraň byly získány dvě různé dopadové rychlosti, dvě hodnoty iniciační energie a dva bezpečnostní koeficienty.

Při uvažování tření, ať už mezi součástmi konajícími translační pohyb a jejich okolím, nebo v čepu součásti konající rotační pohyb, vycházely hodnoty všech určovaných veličin menší. Po porovnání výsledků jednotlivých metod lze ale pozorovat, že se mezi sebou liší pouze minimálně. Největší odlišnosti v hodnotách rychlostí a energií vycházejí při výpočtu revolveru. Jedná se o rozdíl 4,8 % u dopadové rychlosti a 9,3 % u iniciační energie. U všech ostatních zbraní jsou tyto rozdíly menší než 2 %.

Největší minimální koeficient bezpečnosti vůči spolehlivému odpálení zápalkové složky vykazuje revolver. Jeho hodnota je $k_r = 4,52$. Minimální bezpečnost vůči odpálení zápalkové složky je u kulovnice $k_k = 2,54$, u samopalu $k_s = 3,71$ a u pistole $k_p = 2,90$.

Seznam použitých zdrojů

- [1] Úplné znění zákona č. 119/2002 Sb., o střelných zbraních a střelivu (zákon o zbraních). Vyd. 1. Praha: Armex, 2014. Edice kapesních zákonů. ISBN 978-80-87451-31-1.
- [2] KNEUBUEHL, Beat P. *Balistika: střely, přesnost střelby, účinek*. Praha: Naše vojsko, 2004. ISBN 80-206-0749-8.
- [3] FIŠER, Miloslav a Jiří BALLA. *Malorážové zbraně: konstrukce*. Brno: Univerzita obrany, 2004. ISBN 80-85960-79-6.
- [4] JANKOVÝCH, Róbert. *Hlavní zbraně a střelivo*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2012. ISBN 978-80-260-2384-5.
- [5] MACKO, Martin. *Teorie a výpočty loveckých, sportovních a obranných zbraní*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2010. ISBN 80-248-1255-7
- [6] TOP STŘELY. *topstrely.cz* [online]. [cit. 2016-11-19]. Dostupné z: <http://www.topstrely.cz/kategorie/olovene-pomedene-strely/cal-9-mm/>
- [7] ZBRANĚ KVALITNĚ. *zbrankvalitne.cz* [online]. [cit. 2016-11-20]. Dostupné z: <http://zbrankvalitne.cz/zbrojni-prukaz/nauka-o-zbranich/>
- [8] MEŠINA, M. *Dynamická analýza vybraných bicích mechanismů palných zbraní*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 53 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Martin Slažanský.
- [9] Bev Fitchett's Guns Magazine. *bevfitcett.us* [online]. [cit. 2017-05-09]. Dostupné z: <https://www.bevfitcett.us/ruger-blackhawk-single-action-revolver/nomenclature.html>
- [10] KRATOCHVÍL, Ctirad a Jaromír SLAVÍK. *Mechanika těles: dynamika*. Vyd. 4., V Akademickém nakl. CERM 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007. ISBN 978-80-214-3446-2.
- [11] SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE a Richard G. BUDYNAS, VLK, Miloš, ed. *Konstruování strojních součástí*. Přeložil Martin HARTL. V Brně: VUTIUM, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-2629-0.
- [12] WORLD GUNS. *modernfirearms.net* [online]. [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: <http://modernfirearms.net/handguns/hg/be/fn-browning-m1910-and-m1922-e.html>
- [13] GARY'S U.S. INFANTRY WEAPONS REFERENCE GUIDE. *inetres.com* [online]. [cit. 2017-5-16]. Dostupné z: <http://www.inetres.com/gp/military/infantry/mg/M2.html>
- [14] APEX GUNSMITHING. *apexgunsmithing.com* [online]. [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://apexgunsmithing.com/detail-strip-guide-cz-scorpion-evo/>

[15] KREJČÍ, D. *Konstrukce závěrných mechanismů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 45 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Michal Černý, CSc.

[16] BALISTIKA.CZ. *balistika.cz* [online]. [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.balistika.cz/>

[17] COLLECTORS ARCHIVES. *archives.collectorsfirearms.com*. [online]. [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: <http://archives.collectorsfirearms.com/?category=929&subcategory=956&page=7&category=&product=r8973>

[18] SA VZ.58. *sa58.cz* [online]. [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: <http://www.sa58.cz/sa-vz-58/>

[19] GUNS.COM. *guns.com* [online]. [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: <http://www.guns.com/reviews/cz-ceska-zbrojovka-75-b-video/>

[20] WORLD GUNS. *modernfirearms.net* [online]. [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: <http://modernfirearms.net/handguns/double-action-revolvers/chex/alfa-e.html>