

Návrh zařízení pro zkoušky vnitřní balistiky

Michal Konečný

Bakalářská práce
2019

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
akademický rok: 2018/2019

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Michal Konečný**
Osobní číslo: **A15779**
Studijní program: **B3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Bezpečnostní technologie, systémy a management**
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Návrh zařízení pro zkoušky vnitřní balistiky**
Téma anglicky: **Draft of Device for Internal Ballistics Testing**

Zásady pro vypracování:

1. Uvedte základní terminologii související s tématem práce.
2. Rozeberte právní prostředí související s řešenou problematikou.
3. Popište způsoby měření parametrů nábojů ověřovaných střelbou při zkouškách vnitřní balistiky.
4. Navrhněte zkušební zařízení pro měření rychlosti střely, měření tlaku v komoře při výstřelu a doby výstřelu.
5. Navržené zařízení otestujte.



Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. ČOS 130506. **METODIKA BALISTICKÝCH ZKOUŠEK PRO MALÉ A STŘEDNÍ RÁŽE: (VNITŘNÍ BALISTIKA)**. Praha: Úřad pro obrannou standardizaci, katalogizaci a státní ověřování jakosti, 2006. Dostupné také z: <http://www.oos-data.army.cz/cos/cos/130506.pdf>
2. GUNTHER, DYCKMANS. **Fundamentals of Ballistics: E-book in Ballistics Theory and Software** [online]. 2007, 2015 [cit. 2018-10-12]. Dostupné z: e-ballistics.com
3. KNEUBUEHL, Beat P. **Balistika**. 1. Praha: NAŠE VOJSKO, 2013. **ISBN 80-206-0749-8**.
4. JANKOVÝCH, Róbert. **Hlavňové zbraně a střelivo**. Brno: VÚT Brno, 2012. **ISBN 978-80-260-2384-5**.
5. HÝKEL, Jindřich a Václav MALIMÁNEK. **Náboje do ručních palných zbraní**. 2. Praha: NAŠE VOJSKO, 2003. **ISBN 80-206-0641-6**.
6. PLANKA, Bohumil. **Kriminalistická balistika**. *Kriminalistika* [online]. 2008, 2008(3) [cit. 2018-10-10]. Dostupné z: <http://www.mvcr.cz/sluzba/ViewFile.aspx?docid=21161105>
7. ČSN 39 5302. **Měřicí zařízení pro měření tlaku prachových plynů piezoelektrickými snímači**. 1. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2006.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Dora Lapková, PhD.

Ústav bezpečnostního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

21. prosince 2018

Termín odevzdání bakalářské práce:

15. května 2019

Ve Zlíně dne 21. prosince 2018

doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.
děkan



Ing. Jan Valouch, Ph.D.
ředitel ústavu

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen připouští-li tak licenční smlouva uzavřená mezi mnou a Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně s tím, že vyrovnání případného přiměřeného příspěvku na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše) bude rovněž předmětem této licenční smlouvy;
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně, dne 15. 5. 2019

Michal Konečný v. r.
podpis diplomanta

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá způsobem měření parametrů nábojů při střeleckých zkouškách nábojů a návrhem sestavy zkušebního zařízení pro zkoušky vnitřní balistiky.

Teoretická část obsahuje přehled důležitých historických zlomů z oblasti zbraní, střeliva a jejich zkoušení, seznam základních legislativních dokumentů týkajících se zkoušení zbraní a střeliva a souhrn pojmů týkajících se nábojů, průběhu výstřelu a zkoušek vnitřní balistiky.

Praktická část obsahuje rozbor různých metod pro měření jednotlivých veličin jako je rychlost střely, tlak prachových plynů při výstřelu a doba výstřelu. V praktické části je také uveden návrh možného zkušebního zařízení a popis provedení střelecké zkoušky.

Klíčová slova: vnitřní balistika, tlak, tlakoměr s tlakoměrným tělískem, rychlost, doba výstřelu, měřidlo, hlaveň, výmetná náplň, střela, komora, náboj, piezoelektrický tlakoměr.

ABSTRACT

The thesis deals with the method of the cartridge parameters measuring during the shooting tests of cartridges and with the draw of device for internal ballistics testing.

The theoretical part contains an overview of significant historical events in the field of weapons and ammunition and their testing, a list of basic legislative documents concerning weapons and ammunition testing and a summary of terms related to ammunition, the shot process and the internal ballistics testing.

The practical part contains an analysis of various methods for individual variables measuring such as the bullet velocity, the dust gases pressure during the shot and the action time. In the practical part there is also the draw of device for internal ballistics testing and the description of the shooting test.

Keywords: internal ballistics, pressure, crusher gauge, velocity, action time, gauge, barrel, propellant, projectile, combustion chamber, cartridge, piezoelectric pressure gauge.

Děkuji vedoucí mé bakalářské práce Ing. Doře Lapkové, Ph.D. za její vedení, konzultace, odborné rady, doporučení a praktické připomínky.

Děkuji manželce i oběma synům za podporu, ohleduplnost a trpělivost nejen při zpracování této práce, ale také v průběhu celého studia.

Děkuji vedení společnosti ZVI a.s. za možnost experimentálního ověření výstupů praktické části mé bakalářské práce.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 BALISTIKA	12
1.1 KLASIFIKACE ZBRANÍ A STŘELIVA.....	12
1.2 HISTORICKÝ VÝVOJ.....	15
1.2.1 Černý prach.....	15
1.2.2 Bezdýmné prachy.....	16
1.2.3 Palné zbraně a střelivo.....	17
1.2.4 Zkušebnictví.....	20
1.3 ZÁKLADNÍ OBLASTI ZKOUMÁNÍ.....	22
1.3.1 Prenatální balistika.....	24
1.3.2 Vnitřní balistika.....	24
1.3.3 Přechodová balistika.....	25
1.3.4 Vnější balistika.....	26
1.3.5 Terminální balistika.....	26
2 NORMY A LEGISLATIVA	28
2.1 C.I.P.....	29
2.2 ZKOUŠENÍ CIVILNÍCH ZBRANÍ A STŘELIVA.....	31
2.3 ZKOUŠENÍ VOJENSKÝCH ZBRANÍ A MUNICE.....	32
3 VNITŘNÍ BALISTIKA	36
3.1 SESTAVA JEDNOTNÉHO NÁBOJE.....	36
3.1.1 Nábojnice.....	36
3.1.2 Zápalka.....	37
3.1.3 Výmetná náplň.....	38
3.1.4 Střela.....	40
3.2 SVĚDEČNÉ NÁBOJE.....	41
3.2.1 Oprava měření tlaku.....	43
3.2.2 Oprava měření rychlosti.....	44
3.3 PRŮBĚH VÝSTŘELU.....	45
3.4 DĚJE V HLAVNÍ PŘI VÝSTŘELU.....	46
II PRAKTICKÁ ČÁST	48
4 MĚŘENÍ PŘI ZKOUŠKÁCH VNITŘNÍ BALISTIKY	49
4.1 BALISTICKÁ ZBRAŇ.....	51
4.2 ZPŮSOBY MĚŘENÍ TLAKU PRACHOVÝCH PLYNŮ.....	53
4.2.1 Měření tlaku mechanickým tlakoměrem.....	53
4.2.2 Měření tlaku piezoelektrickým tlakoměrem.....	55
4.3 ZPŮSOBY MĚŘENÍ RYCHLOSTI STŘELY.....	56
4.3.1 Optické přerušovače.....	57
4.3.2 Elektromagnetické cívky.....	58
4.3.3 Dopplerovský radar.....	59
4.4 ZPŮSOBY MĚŘENÍ DOBY VÝSTŘELU A AKČNÍHO ČASU.....	60
4.4.1 Tlakový senzor.....	61

4.4.2	Přerušení vodivého spoje	62
4.4.3	Měřicí mikrofón	63
4.4.4	Optický senzor	64
4.5	ZÁZNAMOVÉ A VYHODNOCOVACÍ ZAŘÍZENÍ	64
5	NÁVRH A SESTAVA MĚŘICÍHO ZAŘÍZENÍ.....	68
5.1	VÝCHOZÍ STAV	68
5.2	NÁVRH ŘEŠENÍ	70
5.3	SESTAVA MĚŘICÍHO ZAŘÍZENÍ	72
5.3.1	Měření tlaku	73
5.3.2	Měření rychlosti střely	74
5.3.3	Měření doby výstřelu	75
5.3.4	Záznamové a vyhodnocovací zařízení	76
5.3.5	Porovnávací měření rychlosti a doby výstřelu	77
6	PROVEDENÍ MĚŘENÍ.....	79
6.1	PŘÍPRAVA ZKOUŠKY	79
6.1.1	Příprava zkoušených nábojů	79
6.1.2	Příprava a kontrola měřicího zařízení	80
6.2	PRŮBĚH STŘELECKÉ ZKOUŠKY	81
6.2.1	Stanovení ODP a ODV	82
6.2.2	Zkoušené náboje.....	85
6.3	VÝSLEDKY ZKOUŠKY	87
7	POROVNÁNÍ MĚŘENÍ.....	89
	ZÁVĚR	93
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	95
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	98
	SEZNAM OBRÁZKŮ	103
	SEZNAM TABULEK.....	105
	SEZNAM PŘÍLOH.....	106

ÚVOD

Lidstvo využívá palné zbraně k různým účelům již několik století. Za tuto dobu prošly nejen zbraně, ale také střelivo, celou řadou změn, zdokonalení a technologických vylepšení. Od prvních děl a pušek, které vystřelovaly nejdříve kamenné a později již kovové koule jako střely, až po dnešní zbraně, ruční či lafetované, s možností střelby různých typů nábojů podle účelu použití.

Řada lidí používá palné zbraně pro svoji osobní obranu nebo v rámci výkonu svého povolání. Uživatelé přistupují ke zbrani jako k výrobku, který přesně plní svůj účel a od kterého očekávají správnou a z hlediska obsluhy i bezpečnou funkci. Tímto způsobem je možné nahlížet i na náboje do palných zbraní.

Uživatelé velmi dobře znají princip funkce náboje a jeho jednotlivých komponent, ale už méně se zamýšlejí nad způsobem výroby a ještě méně nad způsobem, rozsahem a zejména důvodem zkoušení. Přitom zkoušení nábojů není důležité pouze z hlediska kontroly dodržení parametrů pro správnou funkci náboje v systému konkrétní zbraně. Zkoušky nábojů se provádějí také při výrobě etalonů s přesně definovanými balistickými parametry, které se pak dále používají pro ověření výroby běžných sérií nábojů, pro zátěžové zkoušky výrobných hlavních, pro zátěžové zkoušky sestavených zbraní nebo také pro kontrolu dodržení podmínek při zkouškách balistické ochrany.

Z pohledu výroby nábojů se nejedná vždy pouze o produkt určený k prodeji, ale také o produkt sloužící k ověření parametrů jiných výrobků, které mohou zásadně ovlivnit bezpečnost a úroveň ochrany uživatelů.

Tato práce se zabývá metodami měření vybraných parametrů kontrolovaných při střeleckých zkouškách nábojů, návrhem sestavy zkušebního zařízení pro zkoušky vnitřní balistiky a jeho ověřením střeleckou zkouškou včetně porovnání získaných výsledků s výsledky kontrolní měřicí soupravy.

Teoretická část obsahuje souhrn důležitých historických mezníků z oblasti vývoje palných zbraní, střeliva a jejich zkoušení, klasifikaci zbraní a střeliva, seznam základních legislativních dokumentů z oblasti zkoušení zbraní a střeliva pro civilní i vojenské využití, přehled oblastí balistického zkoumání a pojmy týkající se nábojů, průběhu výstřelu a zkoušek vnitřní balistiky.

Praktická část je rozdělena na tři dílčí části. První část obsahuje rozbor možných metod pro měření jednotlivých veličin při zkouškách vnitřní balistiky nábojů jako je rychlost střely, tlak prachových plynů při výstřelu a doba výstřelu. Ve druhé části je popsán návrh možného zkušebního zařízení, popis jeho sestavy a způsob porovnání naměřených hodnot s výsledky kontrolní měřicí soupravy. Třetí část praktické části obsahuje popis přípravy, realizaci a vyhodnocení měření provedených v rámci střelecké zkoušky a porovnání naměřených hodnot s hodnotami získanými druhou měřicí soupravou.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 BALISTIKA

Slovo balistika je původem z řečtiny. V historii byla tímto slovem označována oblast vědy zkoumající dráhy letu vržených těles. V současnosti lze balistiku chápat jako obor zkoumající nejen pohyb střely v hlavni, za letu a při dopadu na cíl, ale i ostatní s tím související děje za využití moderní měřicí techniky [1].

1.1 Klasifikace zbraní a střeliva

Právní předpis, který v České republice definuje kategorie střelných zbraní a střeliva, je Zákon č. 119/2002 Sb., o střelných zbraních a střelivu (zákon o zbraních), ve znění pozdějších předpisů.

„Střelná zbraň - zbraň, u které je funkce odvozena od okamžitého uvolnění energie při výstřelu, zkonstruovaná pro požadovaný účinek na definovanou vzdálenost.“ [2]

„Střelivo - souhrnné označení nábojů, nábojek a střel do střelných zbraní, nejedná-li se o municí.“ [2]

„Náboj - celek určený ke vkládání (nabíjení) do palné zbraně, signální zbraně nebo zvláštní zbraně, skládá se z nábojnice, zápalky nebo zápalkové složky, výmetné náplně a střely.“ [2]

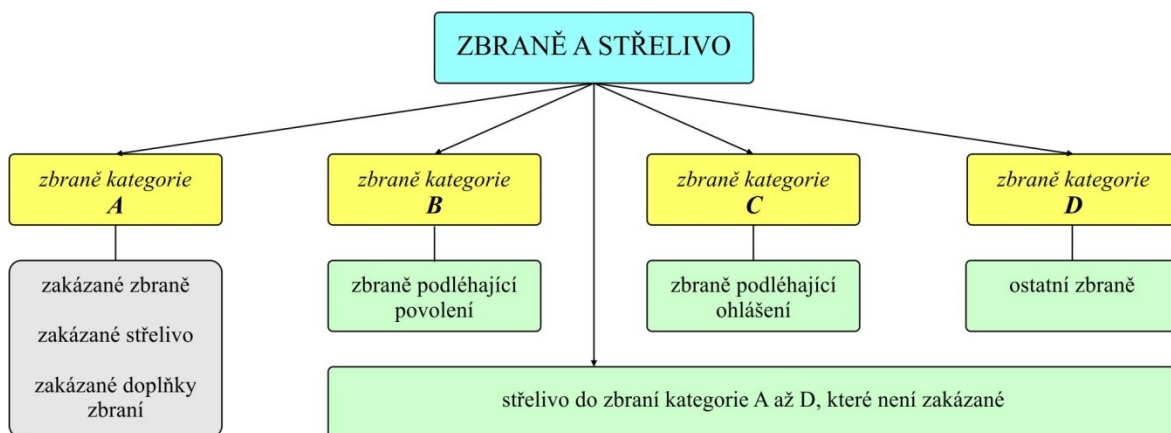
„Nábojka - celek určený ke vkládání (nabíjení) do expanzní zbraně, expanzního přístroje nebo zvláštní zbraně, skládá se z nábojnice, zápalky nebo zápalkové složky, může obsahovat výmetnou náplň, granule nebo chemickou dráždivou látku.“ [2]

„Střela - předmět vystřelený ze střelné zbraně, určený k zasažení cíle nebo vyvolání jiného efektu.“ [2]

Tento zákon mimo jiné zavádí některé základní pojmy z oblastí střelných zbraní a střeliva a definuje rozdělení zbraní a střeliva na zbraně kategorie A (zakázané zbraně, zakázané střelivo nebo zakázané doplňky zbraní), zbraně kategorie B (zbraně podléhající povolení) zbraně kategorie C (zbraně podléhající ohlášení), zbraně kategorie D (ostatní zbraně) a střelivo do zbraní kategorie A až D, které není zakázané [2].

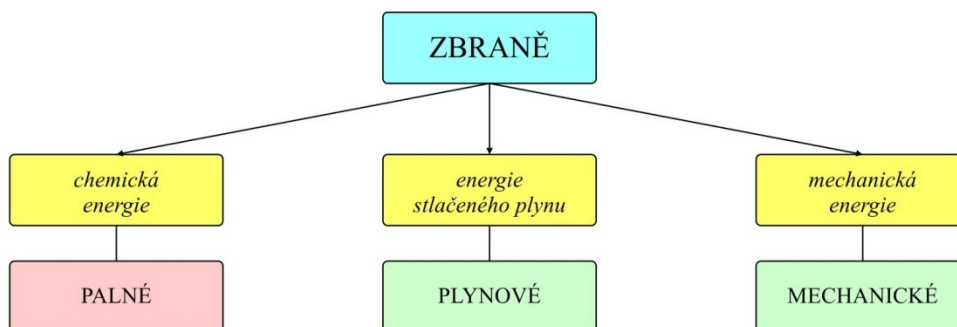
Střelivo je podle zákona o zbraních možné více rozdělit na střelivo, které je zakázané a patří do zbraní kategorie A, střelivo do zbraní všech kategorií, které není zakázané a neaktivní střelivo a municie, které patří do zbraní kategorie D [2].

Z pohledu zákona o zbraních se za zbraně považují také hlavní části zbraní, které jsou nebo mají být jejich součástí [2].



Obr. 1. Klasifikace zbraní a střeliva. Vlastní zpracování dle [2].

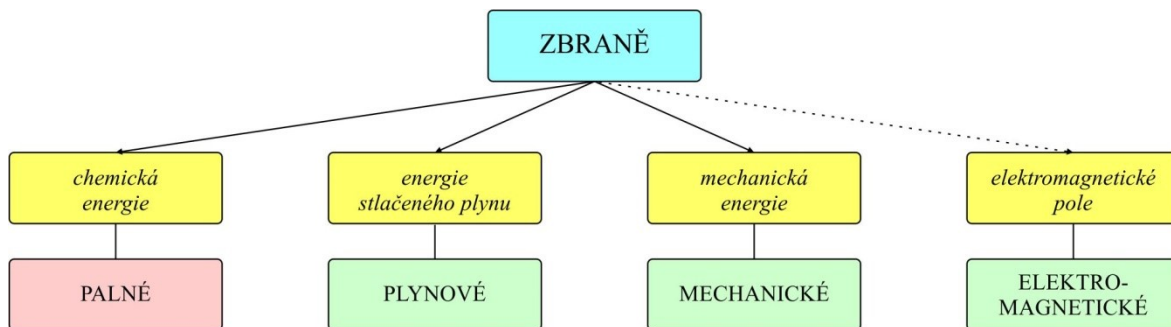
Často užívané je dělení střelných zbraní podle druhu energie, která pohání střelu. V rámci tohoto způsobu dělení lze střelné zbraně rozdělit na zbraně palné, plynové a mechanické. Palné zbraně jsou střelné zbraně, které k pohonu střely využívají okamžité uvolnění chemické energie. Plynové zbraně jsou střelné zbraně, které k pohonu střely využívají stlačený plyn. Mechanické zbraně jsou střelné zbraně, které k pohonu střely využívají okamžité uvolnění mechanické energie [2].



Obr. 2. Kategorie střelných zbraní dle zákona. Vlastní zpracování dle [2].

Mezi zbraně, které vyhovují definici střelné zbraně dle zákona o zbraních, lze zařadit také zbraně elektromagnetické, které využívají elektromagnetické pole [3].

Elektromagnetické zbraně nepůsobí na cíl kinetickou energií střely, ale vyřazují cíl z činnosti vysíláním elektromagnetických impulzů. Elektromagnetické zbraně jsou určeny k ničení především elektrických a elektronických zařízení, takže mohou vyřadit z provozu veškerá zařízení, která obsahují elektroniku, od automobilů až po moderní zbraňové nebo komunikační prostředky [4].

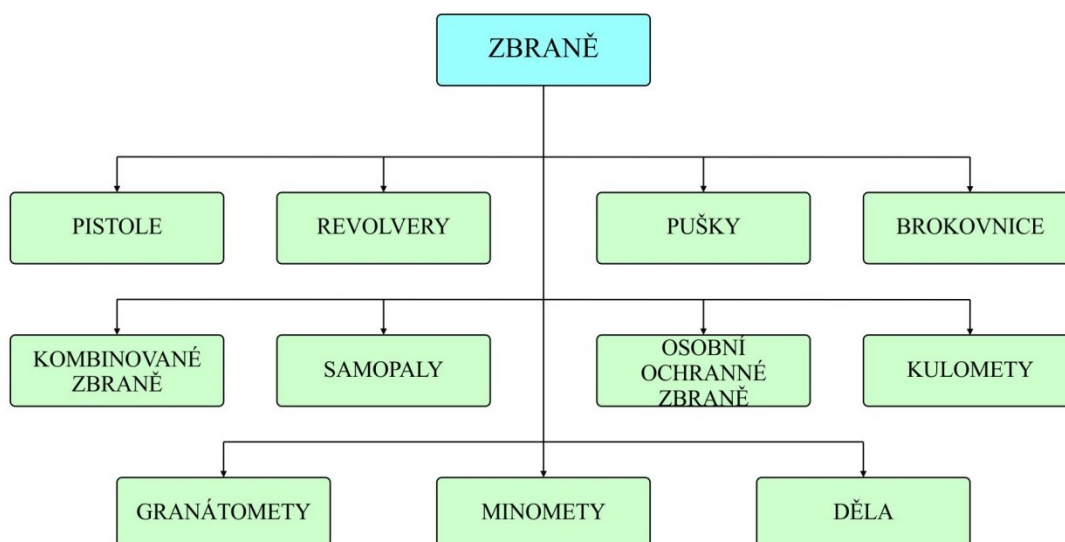


Obr. 3. Kategorie střelných zbraní podle druhu energie. Vlastní zpracování dle [4].

Střelné zbraně, střelivo a munice je však možné klasifikovat i podle jiných kritérií, vždy záleží zejména na důvodu dělení.

Další rozdělení zbraní lze provést např. podle ráže, podle vývrtu, podle velikosti, podle účelu použití, podle způsobu držení při střelbě, počtu hlavních, způsobu převozu, případně podle dalších specifických vlastností. Klasifikace zbraní bude v určitém rozsahu ovlivněna i oblastí využití zbraní, jiná kritéria a způsoby dělení budou preferována pro zbraně vojenské a jiná zase pro zbraně lovecké nebo sportovní [3].

Každou kategorii pak lze dělit na další skupiny, případně definovat užší podmnožiny napříč kategoriemi. Např. palné a plynové zbraně, které splňují podmínku, že k pohonu střely dochází v uzavřeném, ale proměnném objemu hlavně, se nazývají hlavněové zbraně. Následně je možné provést užší členění např. podle druhu zbraně [3].



Obr. 4. Příklad dělení palných hlavněových zbraní. Vlastní zpracování dle [3].

1.2 Historický vývoj

První zmínky o použití palných zbraní lze najít již na konci 13. století. Původ palných zbraní není historicky přesně prokázán. Historikové v tomto směru uvádějí dvě základní hypotézy. Palné zbraně vynalezli Arabové ve 13. století, nebo palné zbraně byly vyvinuty nezávisle v různých oblastech světa v podobném časovém období. Tyto palné zbraně by se vzhledově daly přirovnat k dělu. První ruční palné zbraně pravděpodobně začaly vznikat až v polovině 14. století, ale ani v tomto případě není přesně známo místo vzniku [5].

Podmínkou pro vznik palných zbraní bylo nutné zvládnout výrobu nejen hlavní a střel, ale také výmetných náplní. Jako výmetná náplň byla téměř až do konce 19. století používána směs ledku (dusičnanu draselného), dřevěného uhlí a síry známá jako černý prach [5].

1.2.1 Černý prach

Černý prach se vyráběl v různých modifikacích. Postupně se měnily poměry jednotlivých dílů. V polovině 13. století obsahoval černý prach 67 % ledku, 22 % dřevěného uhlí a 11 % síry. Koncem 13. století byl poměr změněn na 40 % ledku, 30 % dřevěného uhlí a 30 % síry. Důvod této změny byl ekonomický. V dalším období následovalo drobné navyšování ledku a koncem 16. století byl standardní poměr 50 % ledku, 25 % dřevěného uhlí a 25 % síry. Od počátku 17. století došlo k další výrazné změně poměru jednotlivých dílů na 75 % ledku, 15 % dřevěného uhlí a 10 % síry a tento poměr se s menšími rozdíly používá i v dnešní době [5].



Obr. 5. Experiment s černým prachem [5].

V průběhu času nebylo měněno pouze množství zastoupení jednotlivých částí směsi, ale byla zdokonalována také technologie výroby. Původně byly jednotlivé části rozmělněny v hmoždířích, prosívány a míseny v daném poměru. Tímto způsobem vznikala moučkový černý prach, který vzhledem k technologii výroby a své konzistenci ztrácel potřebné požadované vlastnosti. V průběhu 15. století se černý prach začal zrnit. Princip zrnění spočíval v tom, že vyrobený moučkový černý prach byl poté smíchán s vhodnou kapalinou a byla vytvořena pastovitá hmota. Tato hmota, ještě ne úplně vysušená, byla lisována, rozmělněna a prosívána sítí. Zároveň byla chemickou cestou zvyšována čistota jednotlivých vstupních komponent pro výrobu černého prachu [5].

1.2.2 Bezdýmné prachy

Černý prach byl od počátku svého vzniku a užívání až do 19. století jedinou výmetnou směsí používanou v palných zbraních. Vznik nových druhů výmetných náplní byl umožněn až rozvojem chemie v průběhu 19. století [5].

Přibližně od poloviny 19. století byly do výroby a zejména úpravy černého prachu implementovány nové postupy a chemikálie. Výsledkem těchto změn byly různé druhy bezdýmných prachů sice ještě s dílčími nedostatky (např. kyselost), ale s lepšími balistickými vlastnostmi proti prachu černému. Některé nové prachy ale byly natolik úspěšné, že postupně, nejdříve ve vojenském a později zejména v loveckém využití, vytlačily černý prach úplně a byly používány až do začátku 2. světové války. Přesto tyto nové druhy prachů ještě nebyly z dnešního pohledu klasické bezdýmné prachy a v literatuře jsou označovány jako prachy přechodové nebo polodýmné [5].

Zásadní přelom ve výrobě bezdýmných prachů přišel v roce 1832, kdy francouzský chemik Braconnet objevil nitrocelulózu. Nitrocelulóza, někdy nazývaná jako střelná bavlna, je základem všech bezdýmných prachů. Období počátků průmyslové výroby a využití nitrocelulózy však bylo poznamenáno mnoha neštěstími ve výrobních podnicích a předčasnými výbuchy střel ještě v hlavni. Tyto mimořádné události vznikaly zejména kvůli nestabilitě nitrocelulózy a např. v Rakousku byla její výroba a použití po výbuchu skladiště s přibližně 27 tunami této látky v roce 1865 zakázána [5].

I přesto bylo v některých zemích dále pokračováno ve zdokonalování výroby a zvýšení stability nitrocelulózy. Tento zásadní úkol se nakonec podařilo vyřešit anglickému chemikovi Fredericu Abelovi. Na základě závěrů Abelových experimentů byl vypracován technologický postup výroby nitrocelulózy, který je dodnes používán jako podklad pro součas-

né moderní výrobní postupy. Zároveň byla zpracována metodika pro zkoušku stability nitrocelulózy, která je užívána i v současnosti a známa jako Abelův test [5].

V roce 1884 Francouz Vielle vyrobil želatinací nitrocelulózy bezdýmný prach, který byl následně ve Francii zaveden. Zároveň také odvodil zákonitosti hoření nitrocelulóзовého prachu, ze kterých potom vycházely vnitrobalistické výpočty a návrhy konstrukcí palných zbraní a nábojů. V roce 1889 byl pak v Anglii do užívání místo černého prachu zaveden Nobelův balistitový a Abelův korditový prach [5].

„Nitrocelulóзовý bezdýmný prach vzniká želatinací nitrocelulózy vhodnými organickými rozpouštědly, které se po zpracování prachu odpaří.“ [5, s. 31]

„Balistit je bezdýmný prach, u kterého je želatinace provedena nitroglycerinem, který po zpracování prachu zůstává.“ [5, s. 31-32]

„Kordit je bezdýmný prach, u kterého je želatinace nitrocelulózy provedena nitroglycerinem s přísadou acetonu.“ [5, s. 32]

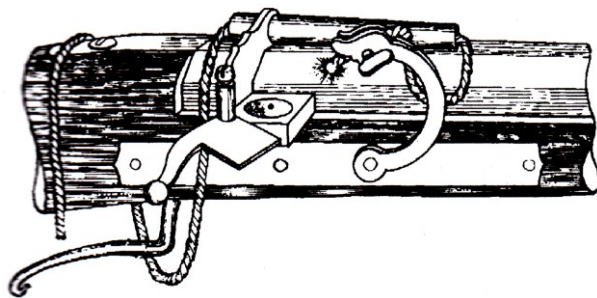
Ve srovnání s černým prachem byly bezdýmné prachy mnohem výkonnější, hoření probíhalo za vyšší teploty a téměř beze zbytku. Tyto vlastnosti zvyšovaly hodnotu tlaku prachových plynů v komoře a zajišťovaly výrazně větší hodnotu počáteční rychlosti střely a tím i počáteční energie. Úpravou chemického složení a změnou tvaru prachových zrn je možné přizpůsobit vlastnosti bezdýmného prachu specifickým balistickým požadavkům pro určitý náboj. Tyto nové vlastnosti bezdýmného prachu jako výmetné náplně umožňovaly zavedení menších ráží a menších průměrů střely bez snížení její dopadové energie [5].

1.2.3 Palné zbraně a střelivo

Počátek vývoje palných zbraní lze historicky umístit do 14. století, kdy lidstvo již znalo vlastnosti černého prachu a byla vyvinuta metoda jeho výroby. V té době začaly první úvahy o využití černého prachu jako výmetné náplně k odpalování střel [6].

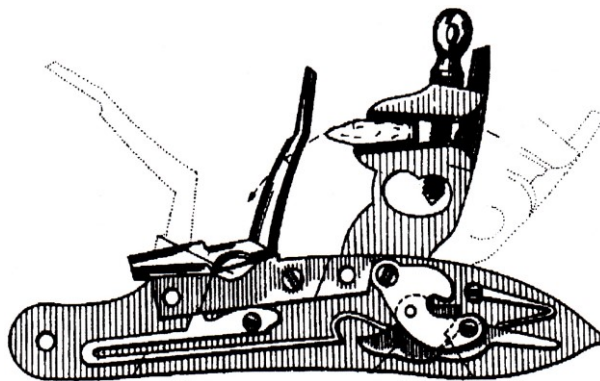
První palné zbraně byly v podstatě krátké železné trubky, na jednom konci zaslepené. Tyto trubky, hlaveň i komora dohromady, byly usazeny buď na kolových lafetách, nebo byly přichyceny k dřevěné tyči jako pažbě. Výmetnou náplní byl černý prach a funkci střely plnily kamenné nebo kovové koule. Střelný prach i vlastní střela (koule) se do komory nabíjely přes ústí. Výmetná náplň se zapalovala plamenem skrze malý miskovitý otvor na horní straně komory. Nejprve pomocí hořících dřevěných třísek nebo žhavých uhlíků, později šňůrovým doutnákem [6].

Doutnákový zámek byl vynalezen pravděpodobně v polovině 15. století a používán byl v různých obměnách až do konce 17. století. Konstrukce doutnákového zámku již umožňovala držení zbraně oběma rukama. Tento zámek již byl pevně spojen s hlavní zbraně a jeho hlavními částmi byl skřípec, doutnák a pánvička. Pánvička byla zátravkou spojena s nábojovou komorou. Skřípec měl dvě funkce, horní část sloužila pro uchycení zapáleného doutnáku, dolní část byla spoušť. Při stisknutí spouště došlo k navedení zapáleného doutnáku do pánvičky s malým množstvím jemného černého prachu, který se tím zapálil a plamen byl zátravkou přenesen do komory [5].



Obr. 6. Doutnákový zámek [5].

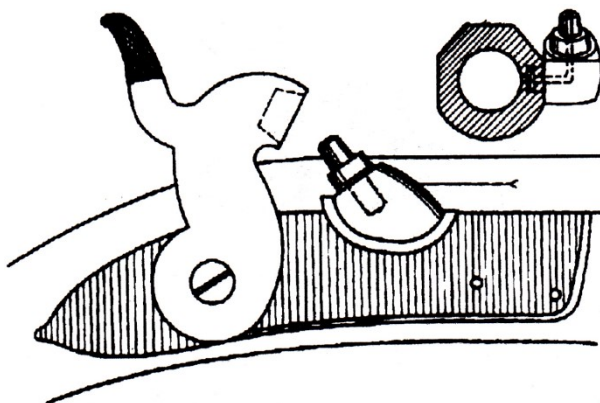
Následně byly vyvinuty další druhy iniciačních mechanismů, např. kolečkový, který se nakonec pro svou složitost a cenu příliš nerozšířil, nebo různé varianty křesadlového zámku. Princip křesadlového zámku spočíval ve vývinu jisker za použití křesacího kamene. Stisknutím spouště došlo k uvolnění nataženého kohoutku s křesacím kamenem a jeho nárazu do ocílky. Ocílka byla kovová destička umístěná nad pánvičkou s jemným černým prachem. Z pánvičky vedl zápalný otvor (zátravka) do hlavně v místě výmetné náplně. Nárazem křesacího kamene do ocílky došlo k vývinu jisker, které zapálily jemný černý prach na pánvičce. Plamen potom prošel zátravkou do komory hlavně a inicioval výmetnou náplň [6].



Obr. 7. Křesadlový zámek [5].

Všechny výše uvedené druhy iniciačních zařízení však byly velmi citlivé na povětrnostní podmínky, zejména vlhko, déšť nebo vítr [6].

Velký pokrok ve způsobu iniciace způsobil v roce 1799 vynález třaskavé rtuti. Vhodných vlastností třaskavé rtuti, a to zejména její citlivosti na prudký náraz, pak bylo využito při výrobě perkusních zápalek. Patent za vynález perkusní zápalky byl v roce 1807 udělen Angličanovi Alexandru Forsythovi. Perkusní zápalka je složena z kovového kalíšku a zážehové složky obsahující třaskavou rtuť. Zážehová složka byla překryta lakem, což zvyšovalo její spolehlivost. Přestože se výmetná náplň i střela stále nabíjely přes ústí hlavně, vynálezem perkusní zápalky došlo k zásadní konstrukční změně iniciačních mechanismů, byl vyvinut tzv. perkusní zámek. Nebyla již používána pánvička s jemným černým prachem, která iniciovala výmetnou náplň. Perkusní zápalka se nasazovala na dutý komínek (piston), který byl zátravkou propojen s nábojovou komorou. Stisknutím spouště došlo prudkým nárazem bicího mechanismu do zápalky k iniciaci třaskavé rtuti. Vzniklý plamen pak pronikl skrze piston a zátravku až k výmetné náplni v komoře [6].



Obr. 8. Perkusní zámek [5].

Paralelně s vývojem palných zbraní docházelo ke změnám také v oblasti nábojů. Do konce 18. století byly jako střely používány odlévané koule. Na počátku 19. století byla vyvinuta podlouhlá střela. Použitím podélné střely a hlavně s vývrtem, který umožňoval lepší těsnění pracovního objemu hlavně a střelu uváděl do rotace kolem vlastní osy, byla zvýšena přesnost střelby. Vynálezy perkusní zápalky a podlouhlé střely měly svůj podíl také na zavedení jednotného náboje, u kterého zápalka, střela, výmetná náplň a nábojnice tvoří jeden celek. Jednotný náboj už nebylo možné nabíjet ústím hlavně, proto začaly vznikat konstrukce zbraní, které umožňovaly otevření nábojové komory a vložení náboje zezadu. Stále však byl využíván mechanický způsob iniciace, kdy dopadem zápalníku na zápalku

došlo ke vznícení zápalkové slože a od ní pak výmetné náplně a příprava zbraně k dalšímu výstřelu byla prováděna ručně střelcem [6].

Zavedením výkonnějších bezdýmných prachů, u kterých docházelo při hoření k vývinu většího množství plynů za většího tlaku, byl dán předpoklad k vývoji zbraní se samočinným otevíráním. Tento systém pak byl aplikován u výroby samonabíjecích pistolí, samopálů, pušek a dalších palných zbraní [6].

Postupem času byla vyvinuta celá řada různých typů zbraní a střeliva, ať už by byl třídícím znakem způsob nabíjení, druh střely, ráže nebo výmetná náplň, počet komor, způsob iniciace, případně účel použití. Mnoho konstrukčních řešení jednotlivých komponent zbraní i střeliva bylo velmi podobných, další byly naprosto originální proti v té době běžným typům. Velmi často se stalo, že některé principy nebyly vhodné pro vojenské využití, ale velmi využívané byly např. v oblasti loveckých zbraní a střeliva. Některé typy vznikly a zanikly s puškařem, další se rozšířily a byly dlouhou dobu využívány celosvětově, nebo jsou, po různých modifikacích a modernizaci, používány dodnes.

„Základní principy palných zbraní, které se opíraly o funkce hlavně, nábojové komory, střelného prachu, střely a způsob odpálení náboje, zůstaly beze změny.“ [6, s. 9]

1.2.4 Zkušebnictví

Z pokusů při vývoji černého prachu bylo zřejmé, že při jeho hoření vzniká velký a rychlý vývin plynů. Pokud by byl černý prach zapálen v uzavřeném prostoru, došlo by k výraznému nárůstu tlaku. Této vlastnosti se využívá právě k vymetení střely z hlavně. Tlak ovšem nepůsobí pouze na střelu, ale také na hlaveň.

Výrobci palných zbraní zjistili, že nevhodně navrženou nebo nesprávně vyrobenou hlaveň může tlak prachových plynů úplně zničit a může dojít i ke zranění střelce. Někteří výrobci se proto začali zabývat i způsoby ověření vyrobených zbraní. První snahy o zkoušení zbraní byly spíše ojedinělé, vycházely z vlastní iniciativy výrobce a nebyly dány žádné přesné metodiky zkoušení, rozsah zkoušky si každý takový puškař určoval sám. Účelem této zkoušky bylo ověření pevnosti hlavně. Zkouška obvykle spočívala v zatížení hlavně výstřelem s vyšším množstvím výmetné náplně, aby bylo dosaženo vyššího tlaku prachových plynů [5].

„... a vyvrtaje tehdy budeš prvý prubovati, jestliže vostojí: Když kule váží libru, tehdy dáš ponejprv libru prachu a nabiješ i potom vystřeliš, podruhé půl libry dáš a potřetí čtvrt libry. A tak po třikrát vystřeliš a vostojí-li tehdy jest dobrej kus.“ [5, s. 11]

První povinné zkoušení zbraní vyšším tlakem bylo předepsáno v roce 1637 Puškařskou společností v Londýně, na vyhovující zbraň poté byla naražena zkušební značka. Postupně byla zavedena povinnost zvýšeným tlakem odzkoušet každou vyrobenou zbraň. V Anglii byla tato pevnostní zkouška prováděna nejdříve s dvojnásobným množstvím prachu proti běžně užívanému množství při střelbě. Postupně byla tato forma zkoušení zbraní a jejich uvolňování do prodeje rozšířena i do dalších zemí. V některých státech byly dokonce zřízeny státní zkušebny pro zkoušení civilních ručních palných zbraní a kvalita byla tak garantována státem. Dokladem o provedení pevnostní zkoušky pak byla na zbraní vyražená státní zkušební značka [5].

Stále však platilo, že každá zkušebna měla svou vlastní metodiku zkoušky včetně hmotnosti zkušební náplně. Další rozdíly ve zkoušení vznikly z důvodu rozdílných měrových systémů, např. hmotnostní jednotka libra označovala v různých zemích často jinou hmotnost. Přesto však při dovozu zbraní byly uznávány zkušební značky zahraničních výrobců a domácí zkušebna již zbraň znovu nezkoušela [5].

Zásadní změna v této oblasti nastala koncem 19. století zavedením bezdýmného prachu a jeho laboraci do nábojů. Při hoření bezdýmných prachů docházelo v nábojové komoře k výrazně většímu nárůstu tlaku, než bylo běžné u nábojů s černým prachem. Začalo docházet k vlně závad a následně i ke sporům mezi výrobcí zbraní, uživateli a zkušebnami často až (v případě exportu a importu) mezinárodního rozsahu. Situace došla tak daleko, že v některých zemích ustalo, do té doby naprosto běžné, uznávání zahraničních zkušebních značek. Celý problém měl původ patrně ve skutečnosti, že zkušebny používaly různé zkušební náboje a metody zkoušení, jejichž výsledky byly vzájemně nesrovnatelné [5].

Zkoušení se však v minulosti neomezovalo pouze na měření tlaků a kontrolu hlavní. V 18. a 19. století začal růst zájem také o pochopení dalších jevů, které při výstřelu probíhají. S ohledem na tehdejší znalosti začaly pomocí balistického kyvadla také první pokusy ve stanovení rychlosti střely. V 19. století potom byly sestaveny první rovnice teoreticky popisující vnitrobalistické děje [1].

Za účelem sjednocení měření zkušebních tlaků pro zkoušku pevnosti hlavní se v září 1910 sešli v Bruselu zástupci národních zkušeben. Výsledkem jednání bylo projevení společné

vůle vytvořit jednotný tlakoměr, určit jednotnou úroveň zkušebních tlaků a obnovit vzájemné uznávání zkušebních značek. V období mezi roky 1910 až 1914 potom vznikly potřebné dohody, které definovaly způsob měření tlaku, měřící zařízení i referenční hodnoty tlaků. Dne 15. července 1914 byla v Bruselu podepsána úmluva o jednotném způsobu zkoušení ručních palných zbraní, často nazývána Bruselská konvence. Zakládajícími členy byla Belgie, Francie, Itálie a Německo. Zároveň byla zřízena Mezinárodní stálá komise pro zkoušení ručních palných zbraní (C.I.P.), která pracuje dodnes, má za úkol kontrolovat dodržování úmluvy a zároveň upravovat zkušební metody na základě nových poznatků a technologického rozvoje [5].

Vývoj a s tím spojené zkoušení se postupně začal rozšiřovat také v oblasti dopadových účinků střel. Jisté požadavky byly kladeny na střely vojenské, kdy bylo potřeba protivníkovi zabránit v dalším boji, jiné zase např. na střely do loveckých palných zbraní [5].

S rozšířením elektroniky a výpočetní techniky včetně programového vybavení lze zabezpečit provedení zkoušek téměř automaticky. Lidský prvek je samozřejmě stále nezastupitelný, zejména při přípravě zkoušky, kontrole průběhu zkoušky a při interpretaci výsledků, ale vlastní měření je dnes velmi často opakovaně prováděno pomocí měřících systémů ovládaných prostřednictvím počítače.

Současné měřící systémy jsou svým uspořádáním velmi univerzální a lze je nakonfigurovat jak na zkoušky nábojů při střelbě z běžné zbraně nebo z balistického měřidla, tak i na zkoušky nových nebo ověření již používaných zbraní zavedenými nebo svědečnými náboji. Při střeleckých zkouškách se často analyzuje, nebo může v případě potřeby analyzovat, funkce zápalky (při elektrickém odpalu lze kontrolovat i zkrat nebo rozpojení elektrického okruhu přes zápalku), průběh tlaku prachových plynů v komoře a v různých místech hlavně, počátek a konec pohybu střely v hlavni, celková doba výstřelu, rychlost střely v kterémkoliv okamžiku jejího pohybu, doba hoření stopovky, doba letu a okamžik dopadu střely, technická rychlost střelby (kadence), rychlost a plynulost pohybu závěru, přesnost střelby a další potřebné údaje dle objektu zkoušky.

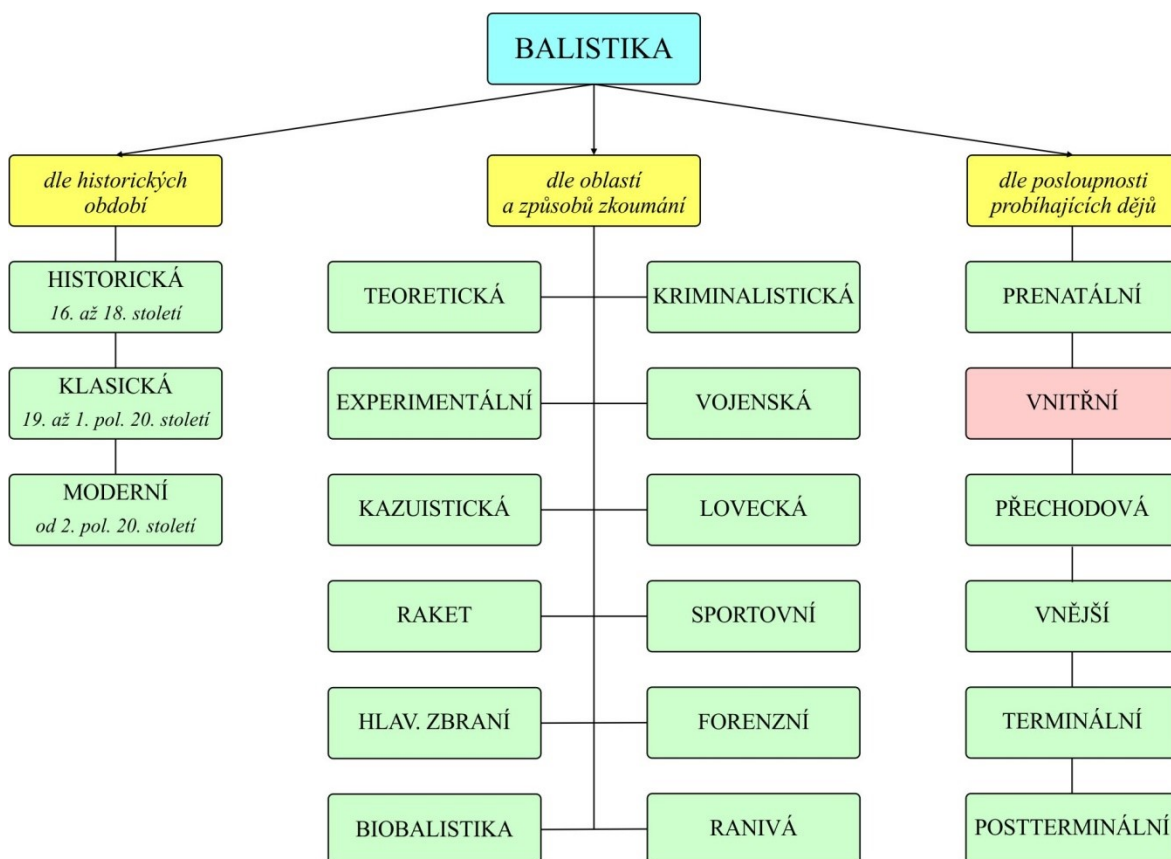
1.3 Základní oblasti zkoumání

Je zřejmé, že možnosti balistického zkoumání a využití získaných výsledků jsou opravdu široké a využitelné v dalších oborech lidského konání, ať už se jedná o vývoj a výrobu zbraní a střeliva, sportovní či loveckou střelbu, tuhé pohonné hmoty, nebo naopak vývoj

a výrobu balistické ochrany před dopadovými účinky střel. Další velmi významné využití takto získaných výsledků je v oblasti kriminalistické balistiky [7].

Balistiku jako vědní obor lze rozdělit dle různých hledisek, např. dle historického období a vývojových mezníků, oblastí a způsobů zkoumání nebo posloupnosti probíhajících dějů, případně na jiné speciální oblasti dle užších kritérií. Přitom některé dílčí části mohou participovat s větší nebo menší důležitostí i ve více oblastech a s ohledem na technologie i v různých historických obdobích. Např. metody a postupy vnitřní balistiky jsou využívány v různém rozsahu i v dalších oblastech, zejména v kriminalistické balistice, balistice raket nebo sportovní balistice [7].

Relativně mladou (časově lze zařadit do moderní balistiky) a samostatnou oblastí balistiky je biobalistika. Biobalistika se částečně vymyká základnímu popisu balistiky jako nauky o pohybu střely a zkoumá vzájemné působení ve vazbě zbraň – střelec / střelec – zbraň a střela – biologický cíl / biologický cíl – střela [7].



Obr. 9. Možné způsoby dělení balistiky. Vlastní zpracování dle [7].

Rozborem předpisů a norem pro zkoušení zbraní a střeliva lze dojít k závěru, že při vývoji, výrobě a zkouškách nábojů se nejvíce uplatňují poznatky z oblasti prenatální, vnitřní, pře-

chodové, vnější a terminální balistiky. V rámci zkoušek se zkoumají průběhy jednotlivých dějů před výstřelem, při výstřelu, v okamžiku těsně po výstřelu a při vlastním letu a dopadu střely.

V dalším textu proto budou uvedeny zejména oblasti a děje, které se aktuálně analyzují a mají vliv na vlastní výstřel nebo na měření při zkouškách vnitřní balistiky.

1.3.1 Prenatální balistika

Prenatální balistika je oblast balistického zkoumání dějů, které předcházejí výstřelu. Z pohledu vývoje, výroby a zkoušek zbraní a munice se hledají a určují stopy, ať už na zbraní, nebo na náboji, příp. na nábojnici, které vznikly před výstřelem v důsledku dynamiky nabíjení [7].



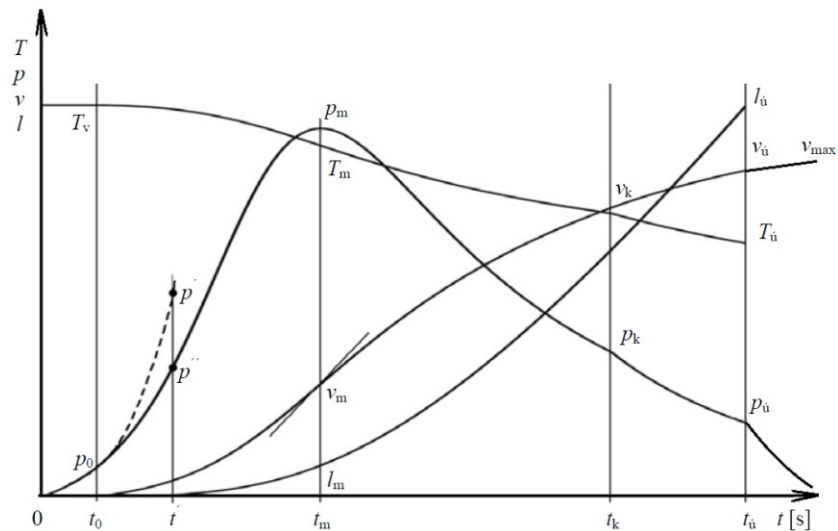
Obr. 10. Stopy na zápalce a dnu nábojnice.

Analýzou získaných stop lze získat informace např. o dynamice nabíjení, funkci zápalníku, funkci vyhazovače nebo sestavě náboje apod., na jejichž základě je pak možné rozhodnout o správné funkci zbraně nebo náboje, v opačném případě zjistit důvod neshody a přijmout nápravná opatření.

1.3.2 Vnitřní balistika

Vnitřní balistika se zabývá popisem dějů, které probíhají v hlavní palné zbraně při výstřelu, tzn. od okamžiku elektrické nebo mechanické iniciace zápalky, do okamžiku, kdy dno střely opouští hlaveň. Jedná se zejména o reakci výmetné náplně, jednotlivé fáze pohybu střely v hlavni, pohyb prachových plynů a zbytků neshořelé výmetné náplně. V některé literatuře

je možné nalézt definici, kdy vnitřní balistika zkoumá všechny děje, které probíhají od iniciace zápalky do okamžiku vyrovnání tlaku v hlavni s okolním tlakem [3].



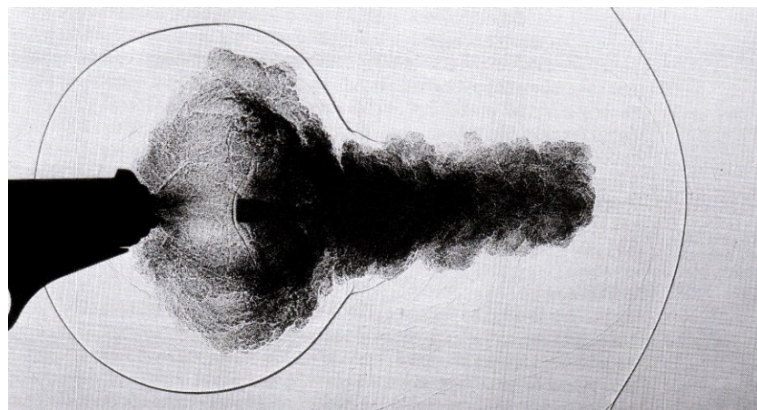
Obr. 11. Průběhy vnitrobalistických veličin [3].

Mezi základní vnitrobalistické veličiny patří tlak prachových plynů p , teplota prachových plynů T , rychlost střely v hlavni v a dráha střely v hlavni l v různých fázích výstřelu [3].

Experimentálně nebo teoretickými výpočty je možné zjistit i další parametry, např. energetickou bilanci, množství spáleného prachu nebo rychlost střely na ústí hlavně.

1.3.3 Přechodová balistika

Přechodová balistika popisuje pohyb střely a jeho ovlivnění od okamžiku, kdy dno střely opustí hlaveň, do okamžiku, kdy tento pohyb přestane být ovlivňován vytékajícími prachovými plyny. Jedná se tedy o popis pohybu střely těsně před ústím hlavně, obvykle do vzdálenosti několika desetinásobků ráže [3].

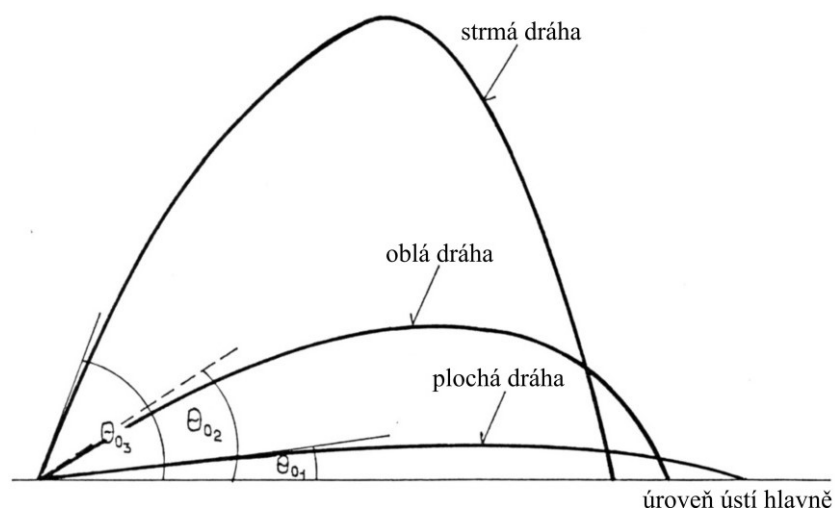


Obr. 12. Proud prachových plynů na ústí hlavně [1].

Z pozorování a měření v této oblasti lze určit děje probíhající na ústí hlavně, rychlost plynů vytékajících z hlavně, míru ovlivnění střely a tím i přesnost střelby, velikost zpětného rázu. Vzhledem k tomu, že tyto děje probíhají po velmi krátkou dobu, desítky až stovky mikrosekund, využívají se pro jejich vizuální zachycení speciální kamery, které jsou schopny zaznamenat až statisíce snímků za sekundu. Pozorováním světelných jevů lze zjistit např. nedokonalé spalování prachové náplně nebo vzplanutí vytékajících horkých plynů po vytvoření směsi se vzdušným kyslíkem [1].

1.3.4 Vnější balistika

Vnější balistika zkoumá pohyb střely od okamžiku, kdy střela opustí oblast účinku vytékajících prachových plynů, do okamžiku jejího dopadu na cíl. Obecně tento pohyb může probíhat i v jiném prostředí, než v atmosféře, např. ve vodě, nebo ve vakuu. Kromě popisu pohybu střely zkoumá vnější balistika také děje a vlastnosti, které pohyb střely ovlivňují, např. silové působení, odpor prostředí, poryvy větru nebo také nerovnoměrné rozložení hmoty kolem osy střely. Výsledkem pak je soubor informací analyzující dráhu střely, doštel, dobu letu střely nebo přesnost střelby. Na základě těchto zjištění pak lze stanovit korekce dráhy střely [3].



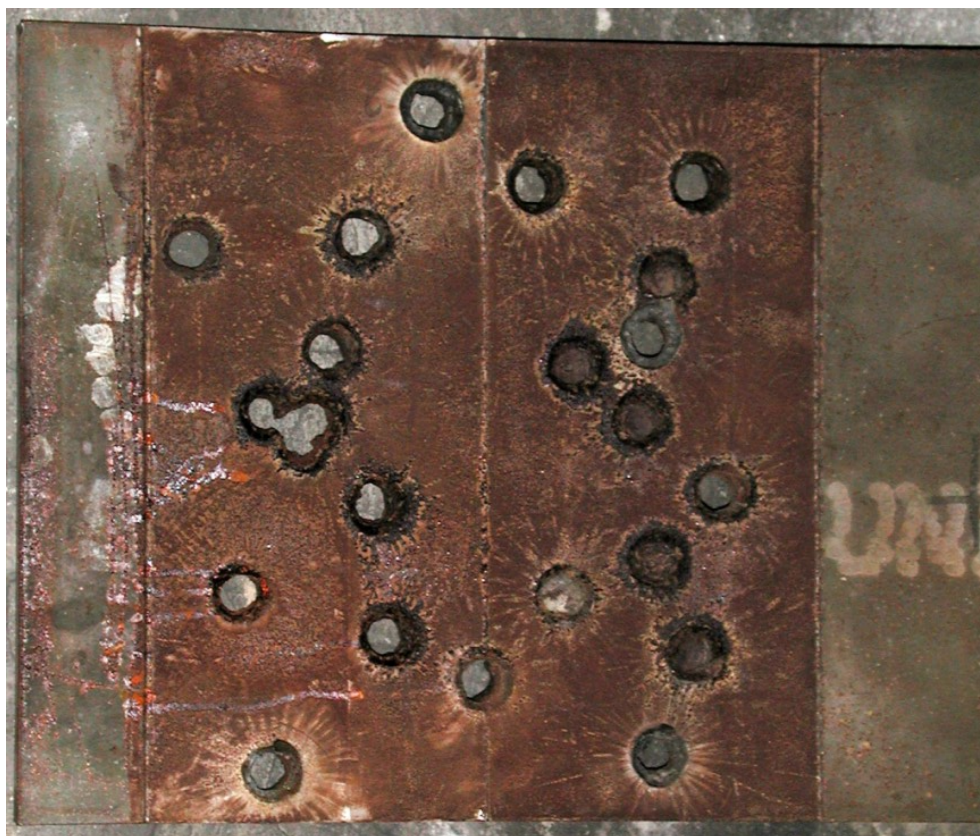
Obr. 13. Typy drah střel dle úhlu výstřelu [3].

1.3.5 Terminální balistika

Terminální balistika, někdy též zvaná koncová balistika, se zabývá vzájemným působením střely a cíle. Terminální balistika je zdrojem informací, jak působí střela po svém dopadu na cíl, ale také naopak, jakým způsobem působí cíl na střelu. Na základě takových infor-

mací se pak určuje efektivnost palné zbraně a použitého náboje k vybranému účelu, a tím je zejména průbojný účinek, ranivý účinek a zastavující účinek [3].

Za cíl je obvykle považováno těleso, které má výrazně větší hustotu, než je hustota prostředí, ve které se střela před nárazem pohybovala [1].



Obr. 14. Dopadový účinek průbojné střely na pancíř.

V současnosti může být soubor poznatků o dopadových účincích střel využíván také k vytvoření a zkoušení vhodné balistické ochrany pro techniku nebo osoby.

Na balistiku jako vědní obor lze pohlížet z různých hledisek, např. dle historického období a vývojových mezníků, oblastí a způsobů zkoumání nebo posloupnosti probíhajících dějů, případně dle ještě užších kritérií.

Při vývoji, výrobě a zkouškách nábojů nebo balistické ochrany se nejvíce uplatňují informace z oblasti prenatální, vnitřní, přechodové, vnější a terminální balistiky. Tyto informace je možné získat teoretickými postupy na základě matematických modelů, nebo experimentálně při střeleckých zkouškách nábojů. V rámci střeleckých zkoušek se zkoumají průběhy jednotlivých dějů před výstřelem, při výstřelu, v okamžiku těsně po výstřelu a při vlastním letu a dopadu střely.

2 NORMY A LEGISLATIVA

Základní právní předpis, který v České republice pojednává o střelných zbraních a střelivu, je Zákon č. 119/2002 Sb., o střelných zbraních a střelivu (zákon o zbraních), ve znění pozdějších předpisů.

„Tento zákon zpracovává příslušné předpisy Evropské unie a upravuje nakládání se střelnými zbraněmi (dále jen "zbraň") a střelivem, podmínky pro provozování střelnic, nakládání s municí a provádění pyrotechnického průzkumu.“ [2]

Určité výjimky v oblasti zbraní, střeliva a munice mají ozbrojené síly České republiky, Vojenská policie, bezpečnostní sbory, Vojenské zpravodajství a Český úřad pro zkoušení zbraní a střeliva. Zde se pouze přiměřeně využívají ustanovení upravující evidenci a zabezpečení zbraní, střeliva a munice. Zákon se v tomto směru také plně nevztahuje na zbraně, střelivo a munici, které jsou kulturními památkami nebo sbírkovými předměty ve vlastnictví státu, krajů nebo obcí [2].

Kompletní výčet zbraní, střeliva a munice spadajících do jednotlivých kategorií je obsažen v § 4 až § 7 zákona o zbraních. Výjimky ze zákona jsou uvedeny v § 1 odst. 2 zákona o zbraních. V příloze č. 1 zákona o zbraních jsou potom uvedeny druhy zbraní a druhy střeliva. V příloze č. 2 zákona o zbraních jsou definovány druhy a skupiny munice.

Munice je souhrnný název pro kulové náboje a střely ráže větší než 12,7 mm a nejvýše 20 mm, pokud jejich střela obsahuje výbušné látky nebo jiné aktivní muniční náplně, ostatní náboje ráže větší než 20 mm, s výjimkou nábojů dovoleného výrobního provedení, dělostřelecké jednotné nebo dělené náboje od ráže 20 mm včetně podkaliberní munice, miny do minometů všech ráží, granáty ruční, puškové, granátometné a speciální, jednorázové protitankové střely a střely do pancéřovek a tarasnic, iniciátory, letecké pumy, neřízené rakety a řízené raketové střely, miny pozemní, podvodní a speciální, ženijní munice, torpéda, hlubinné a demoliční nálože, výbušné předměty výcvikového a speciálního určení obsahující zejména pyrotechnické složky nebo výbušniny, pyropatrony a speciální pyroprostředky letectva, raketové a ostatní vojenské techniky a ostatní munice nezařazenou do výše uvedených skupin [2].

Z výše uvedeného je možné odvodit, že pojem střelivo se v souvislosti se zákonem o zbraních používá zejména v oblasti civilního využití a pojem munice potom v rámci využití vojenského.

2.1 C.I.P.

Dne 15. července 1914 byla v Bruselu zástupci Belgie, Francie, Itálie a Německa podepsána úmluva o jednotném způsobu zkoušení ručních palných zbraní a byla zřízena Mezinárodní stálá komise pro zkoušení ručních palných zbraní (C.I.P.). Později k této úmluvě přistoupilo Španělsko (1923), Maďarsko (1928), Rakousko (1929), Chile (1965) a Československo (1965) [5].

V roce 1969 byl text úmluvy aktualizován pod názvem Úmluva o vzájemném uznávání zkušebních značek ručních palných zbraní, která v Československu vstoupila v platnost dne 20. 5. 1972. Bylo vytvořeno 5 pracovních podkomisí spadajících pod mezinárodní stálou komisi. Tyto podkomise ve své působnosti vytvářely návrhy, které byly schvalovány na zasedání C.I.P. (probíhalo jednou za 2 roky) formou usnesení. Tato usnesení se po schválení stala závaznými předpisy pro vyráběné zbraně a střelivo [5].

Tab. 1. Oblasti působení pracovních podkomisí C.I.P. Vlastní zpracování dle [5].

C.I.P.	
<i>Podkomise C.I.P.</i>	<i>Oblast působení</i>
1. podkomise	Zdokonalování metod měření tlaků a stanovení jejich hodnot
2. podkomise	Stanovení rozměrů nábojů a komor
3. podkomise	Formulace usnesení a předpisů C.I.P.
4. podkomise	Spolupráce s příbuznými organizacemi (SAAMI, ISO)
5. podkomise	Jakost nábojů

K nové úmluvě přistoupila Jugoslávie (1973), Německá demokratická republika (1975), Velká Británie (1980), Finsko (1983) a Rusko (1996) [5].

Po rozpadu Československé federativní republiky 31. prosince 1992 se nástupnickou zemí stala Česká republika, Slovensko k úmluvě přistoupilo až v roce 1996. Po rozpadu státního útvaru bylo zrušeno i členství Jugoslávie [5].

K další významné změně ve struktuře C.I.P. došlo v květnu 2006. Veškerá činnost je nově přerozdělena do 2 podkomisí. První podkomise (Technická komise) vznikla sloučením

původní 1. a 2. podkomise, druhá podkomise (Předpisová komise) vznikla sloučením 3., 4. a 5. podkomise. Technická i Předpisová komise mají vytvořeny své vlastní pracovní skupiny, které se zabývají určitou přidělenou oblastí a své návrhy předkládají ke schválení příslušné podkomisi. Z jednání podkomise vznikají návrhy rozhodnutí, které se schvalují jednou za 2 roky na zasedání C.I.P., a které se, v případě schválení, stávají závazné pro všechny členské státy [8].

V současné době jsou členskými zeměmi Belgie, Česká republika, Chile, Finsko, Francie, Itálie, Maďarsko, Německo, Rakousko, Ruská federace, Slovensko, Spojené arabské emiráty, Španělsko a Velká Británie [8].

Tab. 2. Současná struktura C.I.P. Vlastní zpracování dle [8].

C.I.P.			
Technická podkomise		Předpisová podkomise	
Skupina	Oblast působení	Skupina	Oblast působení
1-3	Měření tlaku	2-1	Ředitelé zkušeben
1-4	Závěrová vůle	2-5	Zbraně na černý střelný prach
1-8	Vztahy se SAAMI	2-6	Tlumiče zbraní
1-9	Znehodnocování	2-7	Kvalita prací a mezilaboratorní zkoušky
1-11	Trvanlivé označení nábojů s bezolovnatými broky	2-8	Kontrola střeliva
1-12	Tolerance tlakoměrných hlavni	2-12	Ověřování u výrobce
1-13	Poplašné zbraně (expanzní zbraně)	2-13	Nastřelovací přístroje

Některé státy, které nejsou členy C.I.P., ale vyrábějící zbraně a střelivo pro civilní použití, mají buď vytvořen svůj vlastní systém a předpisy pro zkoušení zbraní a střeliva, nebo nemají státní garanci nad zkoušením (a tím i bezpečností a funkčností) a případné nedostatky jsou řešeny dle jejich právních předpisů [5].

Jednou ze zemí, ve které je vyráběno velké množství civilních zbraní a střeliva stále bez státního zkušebnictví, jsou také Spojené státy americké. Na počátku 20. století zde bylo mnoho výrobců, kteří měli své vlastní produkty nekompatibilní s konkurencí, existo-

vala spousta různých ráží. Žádný předpis neurčoval výkon náboje nebo zkušební tlak pro hlaveň. V roce 1923 byla založena organizace SAAMI, která měla za úkol zajistit jednotné střelivo pro armádu, později byla její činnost zaměřena i na zajištění kompatibility sportovních loveckých zbraní a střeliva u tuzemských výrobců. Ve srovnání s předpisy C.I.P. jsou normy SAAMI přísnější a více definují parametry jednotlivých druhů nábojů včetně předpisu nábojů porovnávacích [5].

2.2 Zkoušení civilních zbraní a střeliva

Protože Česká republika podepsala Úmluvu o vzájemném uznávání zkušebních značek ručních palných zbraní, jsou pro oblast zkoušení civilních zbraní a střeliva závazná rozhodnutí Stálé mezinárodní komise pro zkoušení ručních palných zbraní. V rámci České republiky jsou tato rozhodnutí obsažena v českých technických normách (ČSN), řada 39 xxxx.

Dalším souvisejícím předpisem je vyhláška č. 335/2004 Sb., kterou se provádějí některá ustanovení zákona o ověřování střelných zbraní, střeliva a pyrotechnických předmětů a o zacházení s některými pyrotechnickými výrobky, ve znění pozdějších předpisů. Součástí vyhlášky č. 335/2004 Sb. je příloha č. 3, ve které jsou uvedeny zkušební značky stanovených střelných zbraní a stanoveného střeliva [9].

Tab. 3. Přehled základních předpisů pro zkoušení civilních zbraní a střeliva.

Zkoušení civilních zbraní a střeliva	
<i>Předpis</i>	<i>Oblast působení</i>
Zákon č. 119/2002 Sb.	Střelné zbraně a střelivo
Zákon č. 156/2000 Sb.	Ověřování střelných zbraní, střeliva a pyrotechnických předmětů
Vyhláška č. 335/2004 Sb.	Ověřování střelných zbraní, střeliva a pyrotechnických předmětů, zacházení s některými pyrotechnickými výrobky
ČSN 39 50xx	Zbraně a náboje všeobecně
ČSN 39 51xx	Zkoušení a kontrola střeliva, referenční střelivo, střelivo pro plynové zbraně
ČSN 39 53xx	Balistická měřidla, měřidla pro kontrolu střeliva, měřicí zařízení pro měření tlaku, zkoušky odolnosti ochranných prostředků
ČSN 39 5401	Střelnice pro ruční palné a plynové zbraně

Odkazy na další související právní předpisy nebo normy jsou vždy uvedeny v konkrétním dokumentu, vždy záleží na řešeném problému. Např. s předpisy pro zkoušení zbraní a střeliva budou souviset normy pro technické výkresy nebo měrové jednotky, při realizaci výstavby střelnice / zkušebny bude nutné brát v potaz i hygienické předpisy.

Správní institucí pro zkoušení palných zbraní a střeliva v České republice je Český úřad pro zkoušení zbraní a střeliva (ČÚZZS), podléhající Ministerstvu průmyslu a obchodu ČR. Ověřování střelných zbraní a střeliva je vymezeno v zákoně č. 156/2000 Sb. o ověřování střelných zbraní, střeliva a pyrotechnických předmětů, ve znění pozdějších předpisů. V § 3 zákona o zbraních jsou uvedeny výjimky, které se mimo jiné týkají také vojenských zbraní a munice [10].

2.3 Zkoušení vojenských zbraní a munice

Na začátku 20. století bylo v rámci Rakouska – Uherska vybudováno na území pozdějšího Československa velké množství podniků specializujících se na výrobu vojenského materiálu pro rakousko-uherskou armádu. Kvalitu dodávek si armáda kontrolovala sama svými vlastními technickými orgány [11].

Po vzniku Československa v roce 1918 byly tyto podniky hlavními dodavateli techniky a materiálu pro nově vznikající československou armádu. Po vzoru bývalého Rakouska – Uherska byly Ministerstvem národní obrany (MNO) u hlavních dodavatelů zřízeny Zbrojní technické úřady (ZTÚ) se zástupci orgánů vojenské správy, kteří vykonávali nezávislou kontrolní a přijímací činnost hotových výrobků ve prospěch MNO [11].

V době okupace, kdy byly československé podniky nuceny dodávat materiál pro německou armádu, byly kontroly prováděny přímo přijímacími orgány německé armády [11].

Po skončení 2. světové války byly opět zbrojní dodávky podrobovány nezávislé státní kontrole v gesci ZTÚ. V roce 1951 došlo k reorganizaci systému státní kontroly nad armádními dodávkami a byla vytvořena organizace zástupců vojenské správy (ZVS). ZVS vykonávali kontrolní činnost nejen při výstupní kontrole a přijímce, ale také v průběhu celé výroby. Tento systém kontrol byl s různými úpravami (zejména v organizačním zařazení kontrolních orgánů v rámci armády) provozován až do roku 1989. S politickými změnami došlo také k útlumu provádění kontrol, přestal být kladen důraz na kvalitu a hlavním požadavkem se stala co nejnižší cena [11].

V roce 2001 vznikl na základě zákona č. 309/2000 Sb. Úřad pro obrannou standardizaci, katalogizaci a státní ověřování jakosti (Úř OSK SOJ), který spadá pod Ministerstvo obrany a provádí, kromě svých dalších činností, také nezávislou kontrolu kvality dodávek určených k zajištění obrany státu. Finálním odběratelem je většinou Ministerstvo obrany ČR, případně obdobný orgán jiného členského státu NATO [11].

V souvislosti se vstupem České republiky do NATO jsou v oblasti zkušebnictví postupně zaváděny alianční předpisy a normy – standardizační dohody (STANAG) a spojenecké publikace pro ověřování kvality (AQAP). Důvodem je, stejně jako u civilních zbraní a střeliva, vzájemná kompatibilita výrobků a shodné parametry určitých produktů (zaměnitelnost), pokud by tyto produkty byly vyráběny různými výrobci. Požadavky publikací STANAG a AQAP jsou potom implementovány do Českých obranných standardů (ČOS). Postupně byly zkoordinovány postupy zkoušení a kontrol při vývoji (vývojové zkoušky prototypu), výrobě (mezioperační kontrola) a kontrole (výstupní kontrola) zbraní a munice. Byly také sjednoceny technické požadavky na zkušební a měřicí zařízení.

Ne každý ČOS však nutně musí mít svou alianční paralelu. Např. ČOS 130506, 1. vydání (Metodika balistických zkoušek pro malé a střední ráže) nezavádí žádnou standardizační dohodu a byl vytvořen jako náhrada za starší tuzemský předpis TP-VD-239-57, III. vydání (Metodika balistických zkoušek - vnitřní balistika). Pro větší univerzálnost a využitelnost obsahuje tato norma také odkazy na příručky pro zkoušení a kontrolní postupy (MOPI), které byly dříve zpracovány pro malorážovou munici zavedenou v NATO [12].

Vydávání, schvalování a distribuce ČOS je v kompetenci Úř OSK SOJ [11].

Zkoušení vojenských zbraní, munice a speciálního materiálu (obecně produktů určených k zajištění obrany státu) je prováděno podle jiných předpisů, než je prováděno zkoušení civilních zbraní a střeliva. Zákon o zbraních se na vojenské zbraně a munici vztahuje pouze v souvislosti s vedením evidence a zabezpečením zbraní a munice. Na vojenské zbraně a munici platí výjimka i ze zákona o ověřování střelných zbraní a střeliva. Stejně tak i české technické normy jsou využívány jen velmi zřídka a pouze v případě, že úplným způsobem řeší danou problematiku.

Základem pro provádění zkoušek zbraní a munice jsou ČOS, pokud jsou zpracovány, nebo si zkušební postupy může zpracovat přímo výrobce a zařadit je do své výrobní dokumentace daného produktu. Každý postup výrobce však musí být zpracován v souladu s požadavky ČOS (metody zkoušení, měřicí přístroje a jejich nastavení, způsoby vyhodno-

cení, výpočty) a musí popisovat způsob kontroly a ověření všech takticko-technických parametrů požadovaných odběratelem (finálně MO ČR nebo obdobným orgánem jiného členského státu NATO). Požadované parametry včetně předmětných ČOS, případně jiných předpisů, jsou zpravidla předepsány ve specifikacích veřejných zakázek a následně v kupních smlouvách.

Velmi často je na zbraně a munici vypracován dokument nazývaný technické podmínky (TP). Tento dokument obsahuje obecný popis produktu, určení, vlastnosti a parametry produktu, popis funkce jednotlivých částí, způsob provádění kontrol a rozsah zkoušek prováděných v rámci vstupní, mezioperační nebo výstupní kontroly, způsob balení a skladování, způsob likvidace. Součástí TP je také rozsah a metodiky zkoušek prováděných Úř OSK SOJ v rámci státního ověřování jakosti. Technické podmínky zpracovává výrobce a schvaluje odběratel (určený organizační celek MO ČR). Přesný rozsah i obsah jednotlivých kapitol TP je uveden v ČOS 051625, aktuálně 3. vydání (Technické podmínky pro produkty určené k zajištění obrany státu) [13].

Tab. 4. Příklad předpisů pro zkoušení vojenských zbraní a munice.

Zkoušení vojenských zbraní a munice	
<i>Předpis</i>	<i>Oblast působení</i>
Zákon č. 309/2000 Sb.	Státní ověřování jakosti
ČOS 051622, 2. vydání	Požadavky NATO na ověřování kvality při návrhu, vývoji a výrobě (AQAP 2110, Ed. 3)
ČOS 051630, 2. vydání	Požadavky NATO na ověřování kvality při kontrole a zkouškách (AQAP 2130, Ed. 3)
ČOS 137701, 2. vydání	Měření rychlostí střel (STANAG 4114, Ed. 3)
ČOS 102505, 2. vydání	Měření tlaku tlakoměry s tlakoměrnými tělísky (STANAG 4113, Ed. 3)
ČOS 102506, 1. vydání	Miniaturizovaná piezoelektrická měřidla tlaku (STANAG 4617, Ed. 1)
ČOS 130501, 1. vydání	Munice 7,62 mm (náboj 7,62 mm NATO) (STANAG 2310)
ČOS 130502, 1. vydání	Munice ráže 9 mm (náboj 9 mm NATO) (STANAG 4090)
ČOS 130503, 1. vydání	Munice ráže 5,56 mm (náboj 5,56 mm NATO) (STANAG 4172)
ČOS 130506, 1. vydání	Metodika balistických zkoušek pro malé a střední ráže

Nezávislou kontrolu kvality dodávek produktů určených k zajištění obrany a bezpečnosti státu (státní ověřování jakosti) v rámci České republiky provádí Úřad pro obrannou standardizaci, katalogizaci a státní ověřování jakosti dle zákona č. 309/2000 Sb. ve znění pozdějších předpisů. Na základě vyhovujícího výsledku státního ověřování jakosti je pro daný konkrétní výrobek (zbraň, sérii munice, nebo také pouze zápalku nebo hlaveň v případě kooperací) vystaveno Osvědčení o jakosti a kompletnosti (OJK), v případě dodávky do zahraničí Certificate of Conformity (CoC). Tímto osvědčením / certifikátem potom výrobce dokládá ověření plnění požadavků pro danou komoditu [14].

V NATO je problematika státního ověřování jakosti řešena v pracovní skupině výboru AC/327, Life Cycle Management [11].

Zákon o zbraních zavádí názvosloví a zejména pravidla pro nakládání se střelnými zbraněmi a střelivem. Problematika vlastní výroby nebo zkoušení nábojů je pak upravována příslušnými normami. V případě zbraní a střeliva pro civilní použití jsou výchozími dokumenty české technické normy (ČSN), v případě vojenských zbraní a munice je pak vycházeno z patřičných českých obranných standardů (ČOS).

Nezávislé zkoušení palných zbraní a střeliva v České republice provádí Český úřad pro zkoušení zbraní a střeliva (ČÚZZS), kontrola vojenských zbraní a munice je prováděna pod dohledem Úřadu pro obrannou standardizaci, katalogizaci a státní ověřování jakosti.

Rozborem ČSN a ČOS lze dojít k závěru, že oba okruhy norem předepisují v oblasti vnitřní balistiky obdobné druhy zkoušek. Zkoušky civilních nábojů se zaměřují zejména na bezpečnost pro obsluhu, plnění základních balistických parametrů a rozměrovou shodu, vojenské náboje jsou navíc podrobeny obsáhlejšími zkouškám a zatěžování v extrémních podmínkách a kromě bezpečnosti je u nich kladen velký důraz na životnost, spolehlivost a kompatibilitu.

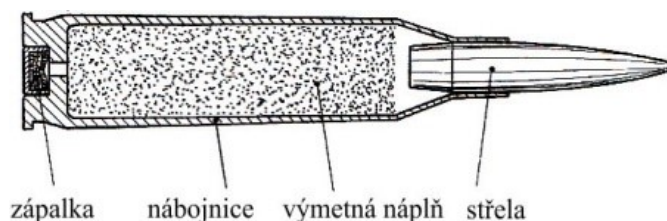
3 VNITŘNÍ BALISTIKA

Vnitřní balistika se zabývá popisem dějů, které probíhají v hlavní palné zbraně při výstřelu, tzn. od okamžiku elektrické nebo mechanické iniciace zápalky, do okamžiku, kdy dno střely opouští hlaveň. Jedná se zejména o reakci výmetné náplně, jednotlivé fáze pohybu střely v hlavni, pohyb prachových plynů a zbytků neshořelé výmetné náplně. V některé literatuře je možné nalézt definici, kdy vnitřní balistika zkoumá všechny děje, které probíhají od iniciace zápalky do okamžiku vyrovnání tlaku v hlavni s okolním tlakem [3].

Všechny tyto děje probíhají ve velmi krátkém časovém okamžiku a uplatňované fyzikální veličiny dosahují opravdu vysokých hodnot. I přesto je nutné některé hodnoty pro správnou funkci náboje regulovat a přizpůsobit tomu konstrukci náboje nebo zbraně. Takové hodnoty jsou potom předmětem experimentálního ověření.

3.1 Sestava jednotného náboje

Jednotný náboj je takový náboj, u kterého nábojnice, zápalka, výmetná náplň a střela tvoří jeden celek [6].



Obr. 15. Jednotný náboj [1].

3.1.1 Nábojnice

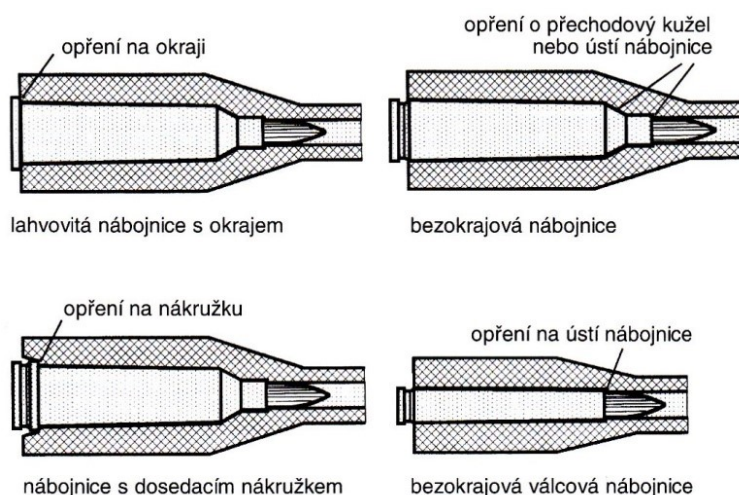
Nábojnice u jednotného náboje plní několik důležitých funkcí, které ovlivňují činnost náboje a zbraně v průběhu výstřelu a mohou ovlivnit např. přesnost střelby, funkci zbraně nebo i bezpečnost. Jeden prvek tak slouží k navedení náboje do komory, vymezení polohy střely a zápalky vůči zbrani, uchycení střely a zajištění potřebné výtahové síly, uložení výmetné náplně, utěsnění spalovacího prostoru, odvodu tepla (u zbraní s vyhazováním nábojnice v rámci funkčního cyklu). Zároveň mechanicky spojuje a vymezuje vzájemnou polohu všech částí náboje [1].

Tvar a velikost nábojnice určuje objem pro výmetnou náplň. Obecně je možné konstatovat, že zvýšením množství výmetné náplně vzroste i výkon náboje, ale i v tomto směru platí

určitá omezení. V případě příliš dlouhé a úzké nábojnice nemusí docházet k rovnoměrnému zažehnutí výmetné náplně [1].

Kromě tvaru a velikosti nábojnice je důležité také uchycení střely. Toto uchycení má vliv na velikost výtahové síly, tj. síly, která musí být překonána, aby došlo k uvolnění střely. Výtahová síla má vliv na hoření výmetné náplně a přesnost střelby [1].

Pro správnou funkci náboje je důležité, aby nábojnice v komoře vždy zaujala stejnou polohu a tím definovala i polohu střely a zápalky. Toho se docílí opřením nábojnice v komoře zbraně (vzájemně vhodným tvarem nábojnice a komory zbraně) s ohledem na tlakové poměry při výstřelu [1].



Obr. 16. Tvary nábojnic [1].

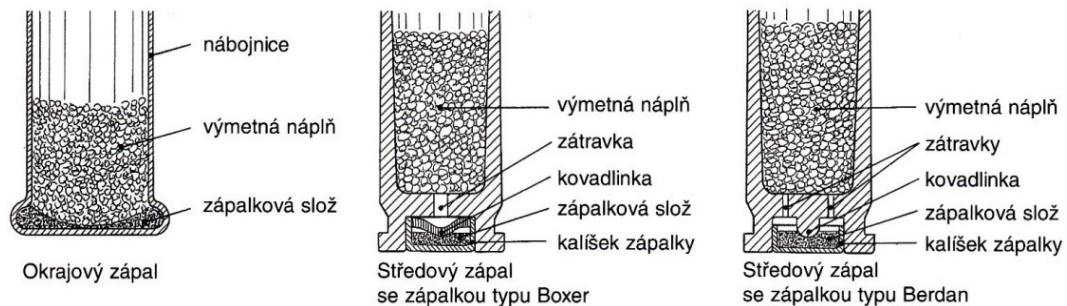
Nejpoužívanějším typem je bezokrajová nábojnice. Používá se u nábojů pro pistole a vojenské automatické zbraně pro snadné nabíjení do zásobníku [1].

3.1.2 Zápalka

Zápalka je část náboje, která slouží k zažehnutí výmetné náplně. Obsahuje malé množství iniciační výbušniny (většinou slože obsahující třaskavinu), která je velmi citlivá na náraz nebo tření a na základě mechanického podnětu musí co nejrychleji a hlavně rovnoměrně zažehnout výmetnou náplň [1].

Původně se jako iniciační slož využívala třaskavá rtuť, později byly používány zápalkové slože obsahující trinitroresorcinát olova, dusičnan barnatý a tetrazen. Ve druhé polovině 20. století pak byly vyvinuty modernější typy zápalkových složí s výrazně nižším obsahem těžkých kovů [1].

Náboje do ručních palných zbraní využívají zápalku citlivou na mechanický podnět. Nejčastěji se používá okrajový zápal, středový zápal se zápalkou Berdan a středový zápal se zápalkou Boxer. V současné době se nejvíce používá varianta středového zápalu se zápalkou typu Boxer [1].



Obr. 17. Typy zápalů [1].

Okrajový zápal se často využívá u nábojů s nízkou hodnotou maximálního tlaku prachových plynů, protože síla stěny nábojnice v místě zápalkové slož je poměrně tenká. K iniciaci dochází deformací místa se zápalkovou složí. Výhodou tohoto typu zápalu je snadná a levná výroba [1].

U středového zápalu je zápalková slož laborována do kalíšku, který je vložen do otvoru ve dnu nábojnice. Prostor zápalu je s vnitřním objemem nábojnice, kde je umístěna výmetná náplň, spojen zátravkou. Základní rozdíl mezi zápalkou typu Berdan a Boxer spočívá v umístění kovadlinky (proti kovadlince je tlačena zápalková slož při dopadu úderníku). U nábojů se zápalkou typu Berdan je kovadlinka součástí nábojnice a kolem kovadlinky jsou zátravky. U typu Boxer je kovadlinka součástí zápalu (zápalka je samostatný funkční celek) a ve dnu nábojnice je pouze jedna centrální zátravka [1].

U některých typů vojenských nábojů určených do vysokokadenčních zbraňových systémů se využívá zápalka elektrická. Tato zápalka není iniciována mechanickým podnětem, ale elektricky. Zápalka je po nabití náboje do komory zapojena do elektrického odpalovacího okruhu a iniciována přesně definovaným elektrickým impulzem z odpalovacího kondenzátoru. Tento druh zápalu je např. používán u nábojů 20x102 určených pro letecký kanón ZPL-20 PLAMEN používaný na letounu L-159 ALCA [15].

3.1.3 Výmetná náplň

Úkolem výmetné náplně je uvést střelu do pohybu určitou rychlostí. U palných zbraní se využívá hoření výmetné náplně k rychlému vytvoření velkého množství plynu v malém

prostoru a tím prudkého nárůstu tlaku. Mezi základní výmetné náplně patří černých prach a bezdýmné prachy, nitrocelulózoový (jednosložkový) a nitroglycerinový (dvousložkový). Černý prach se v současnosti používá pouze při střelbě historických zbraní a jako zesilovač v zápalkových šroubech užívaných u některých druhů nábojů. V současných nábojích, civilních i vojenských, se používají jednosložkové nebo dvousložkové prachy. Dvousložkové prachy mají proti jednosložkovým vyrovnanější výkon a vyšší energetický obsah. Zároveň jsou méně citlivé na vlhkost. Při hoření bezdýmných prachů vzniká přibližně třikrát větší objem prachových plynů než při hoření stejného množství černého prachu při vzniku zanedbatelného množství pevných zbytků [1].

Tab. 5. Základní balistické vlastnosti výmetných náplní [1].

Základní balistické vlastnosti výmetných náplní			
Charakteristika	Černý prach	Jednosložkový prach	Dvousložkový prach
Výbuchové teplo [$\text{J}\cdot\text{g}^{-1}$]	2650	3500	4800
Specifický objem plynu [$\text{dm}^3\cdot\text{g}^{-1}$]	0,28	0,9 až 0,97	0,8 až 0,86
Výbuchová teplota [$^{\circ}\text{C}$]	2400	2500 až 3000	3000 až 3800
Teplota vzbuchu ¹ [$^{\circ}\text{C}$]	300	170	160
Rychlost hoření při 0,1 MPa [$\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$]	1,8	0,06 až 0,09	0,07 až 0,25
Rychlost hoření při 400 MPa [$\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$]	-	-	600
Podíl pevných zbytků [%]	60	1	1

Pro speciální vojenské účely se vyrábějí i další typy prachů. Tyto prachy jsou určeny především do výmetných náplní tankové munice.

Zažehnutí výmetné náplně je provedeno plamenem a horkými plyny, které vznikly funkcí zápalky. Výmetná náplň může být vyrobena z různých druhů prachových zrn s různými tvary a vlastnostmi. Tvar prachového zrna velmi často ovlivňuje způsob hoření. Pokud se

¹ „Teplota vzbuchu je teplota, při které dochází k samovznícení střelného prachu.“ [1, s. 40]

při hoření plocha prachových zrn zmenšuje, jedná se o degresivní prach, pokud se zvětšuje, jedná se o progresivní prach, pokud zůstává stejná, jedná se o neutrální prach. Při hoření degresivního prachu dochází v čase k poklesu vývinu prachových plynů. Při hoření progresivního prachu vývin prachových plynů v čase roste [1].

Mezi degresivní prachy, pokud nejsou dále chemicky upraveny jejich vlastnosti, lze zařadit např. páskový, sférický (kuličkový) nebo válečkový prach. Mezi progresivní prachy pak lze zařadit sedmiděrový prach (dokud nedojde k rozpadu zrna) a za neutrální lze považovat např. trubičkový prach [1].



Obr. 18. Dělení prachu dle způsobu hoření. Vlastní zpracování dle [1].

Vlastnosti výmetné náplně jsou dány nejen tvarem prachových zrn, ale také chemickým složením. Např. sférický prach, který je vzhledem ke svému tvaru degresivní, je možné pro určité aplikace chemicky upravit tak, aby hořel progresivně. Vývin prachových plynů závisí na aktuálním tlaku v pracovním prostoru a také na tvaru prachových zrn, případně na jejich chemické úpravě [1].

3.1.4 Střela

Střela je část náboje, která svou energií přímo působí na cíl. Konstrukce střely musí být provedena s ohledem na požadované účinky v cíli a nesmí u ní docházet k deformacím vlivem působením sil při výstřelu. Střela samozřejmě musí splňovat i další požadavky, např. co nejmenší odpor za letu, stabilita za letu, přesnost zásahu [1].

Z hlediska konstrukce existuje celá řada různých druhů střel. Střely lze klasifikovat dle různých parametrů, např. dle tvaru, materiálu, konstrukce, ráže, využití (vojenské, lovecké, sportovní) [1].

Vojenské střely mají často zvýšený průbojný účinek. Střely větších ráží mohou obsahovat také stopovkovou složku ke znázornění pohybu, případně iniciační zařízení (zapalovač)

a další výbušninu ke zvýšení zápalného nebo tříštivého účinku (např. střely API-T nebo HEI). Tyto typy střel jsou určeny především proti neživým cílům [5].

3.2 Svědečné náboje

„Svědečný náboj je speciálně zhotovený náboj, který má stanovené balistické charakteristiky a slouží jako kontrolní míra při balistických zkouškách.“ [12, s. 34]

Obdobně jako v případě balistické zbraně, ani svědečný náboj není zařazen přímo do výzbroje. Svědečný náboj (často se používá také název referenční náboj) je využíván jako etalon pro určení vnitrobalistických veličin při zkouškách výmetných náplní a nábojů, ke kontrole měřicího zařízení a pro klasifikaci balistických hlavních [12].

Svědečný náboj je složen ze stejných základních muničních dílů jako sériově vyráběné náboje. Pro výrobu, kontrolu, zkoušení a skladování svědečných nábojů však platí přísnější předpisy. Jednotlivé komponenty musí být vždy z jedné výrobní série, u hmotností a rozměrů platí poloviční tolerance, mechanické díly podléhají 100% kontrole. Specifické požadavky proti sériové výrobě jsou kladeny také na výmetnou náplň. Způsob výroby musí být proveden v souladu s ČOS 130506 [12].

Velmi přísné je také zkoušení vyrobených svědečných nábojů. Kromě řady nedestruktivních technických zkoušek se provádějí obsáhlé střelecké zkoušky za účelem stanovení balistických parametrů svědečných nábojů. Střelecké zkoušky probíhají na třech různých zkušebnách. Na každé zkušebně se provádí střelecká zkouška ve třech po sobě jdoucích dnech z různých balistických zbraní [12].


„Na základě zkoušek se pak u svědečných nábojů stanovuje:

- a) střední hodnota rychlosti vypočtená z počtu všech střel jak z rychlostní tak i z tlakoměrné hlavní, u ráží do 10 mm pouze v tom případě, jestliže rozdíl mezi hodnotou rychlosti z rychlostních a tlakoměrných hlavních není větší než 0,2 %. V opačném případě se bere pouze hodnota z rychlostních hlavních;*
- b) maximální rozdíl rychlostí z jedné skupiny ran pro ráže do 20 mm včetně;*
- c) maximální pravděpodobná úchylka z jedné skupiny ran pro ráže od 20 mm;*
- d) střední hodnota tlaku vypočtená z počtu všech střel;*
- e) maximální rozdíl tlaků z jedné skupiny ran;*
- f) doba výstřelu vypočtená z počtu všech střel;*

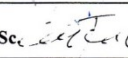
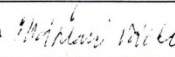
g) *dovolené hranice měření střední doby výstřelu od stanovené hodnoty u svědečných nábojů.*

Ke zprávě o stanovení balistických charakteristik svědečných nábojů se též přiloží vyhodnocení piezoměření - průběh tlaku, rychlosti a doby letu střely v závislosti na dráze v hlavni.“ [12, s. 35-36]

Na základě vyhovujících výsledků je Národní autoritou vystaven výnos definující balistické charakteristiky vyrobené série svědečných nábojů [12].

 	VOP-026 ŠTERNBERK, s.p. DIVIZE VTÚVM Slavičín  Certifikovaný systém ISO 9001	Pořadové číslo: -
		Počet stran: 1 z 15
		Počet příloh utajovaných: -
		Počet příloh neutajovaných: -
		Výtisk č: 1
Evid. značka: Šil/01/05/26		

VÝNOS

Jméno a adresa zadavatele (zákazníka):	ZVI a.s. Holečkova 103/31 150 95 Praha 5	
Název:	VÝNOS o stanovení vnitrobalistických charakteristik svědečného náboje 20 x 102 TP, série 1/05	
Datum zadání: 29.4.2005	Schválil:	Ředitel divize Ing. Zdeněk KAŠPAR, CSc. 
Datum vyhotovení: 25.5.2005	Odpovědný pracovník:	Ing. Václav Náplava 
Spoluautoři:		
Extrakt:	<p>Výnos obsahuje přehled střeleckých zkoušek nového svědečného náboje na zkušebnách Explosia a.s., Prototypa-ZM s.r.o., ZVI a.s., jejich hodnocení a stanovení vnitrobalistických charakteristik nového svědečného náboje 20 x 102 TP, série 1/05.</p>	
<p>Výsledek nehmotného výstupu nebo řešení a práce v něm obsažené jsou duševním vlastnictvím VTÚVM Slavičín. Bez jeho písemného souhlasu nesmí být dále šířeny a reprodukovány. Využívání výsledků obsažených v tomto nehmotném výstupu je vyhrazeno objednateli (financující organizaci) nebo jím pověřenému realizátorovi. Předání třetí straně bez souhlasu objednatele a zpracovatele, resp. jím pověřeného realizátora, je nepřípustné a bude stíháno podle příslušných zákonů.</p>		
ADRESA:	VOP-026, Šternberk, s.p. Divize VTÚVM Dlouhá 300 763 21 SLAVIČÍN	SPOJENÍ: Tel.: +420 577 341 253; 602 530 191 Fax: +420/577 341 252; E-mail: slavicin@vtuvm.cz http://: www.vtuvm.cz

Obr. 19. Příklad úvodního listu výnosu [16].

Ve výnosu jsou uvedeny výsledky měření vnitrobalistických veličin z třídních střeleckých zkoušek, které byly realizovány na jednotlivých zkušebnách. V závěru výnosu je celkové vyhodnocení zkoušek, stanovení vnitrobalistických charakteristik svědečných nábojů

při teplotě +21 °C a platnost vnitrobalistických charakteristik. Přesný popis provádění zkoušek a kritéria pro vyhodnocení jsou uvedena v ČOS 130506 [12].

Tab. 6. Vnitrobalistické parametry svědečných nábojů. Vlastní zpracování dle [12].

Vnitrobalistické parametry svědečných nábojů		
Parametr	Jednotka	Popis
$v_{10STŘ}$	$m.s^{-1}$	Střední hodnota rychlosti střely ve vzdálenosti 10 m od ústí hlavně ze skupiny ran
$v_{23,8STŘ}$	$m.s^{-1}$	Střední hodnota rychlosti střely ve vzdálenosti 23,8 m od ústí hlavně ze skupiny ran
SDv	$m.s^{-1}$	Maximální pravděpodobná úchylka rychlosti
$P_{CRSTŘ}$	MPa	Střední hodnota tlaku stanovená metodou crusher ze skupiny ran
t_v	ms	Doba výstřelu

Získané vnitrobalistické parametry svědečných nábojů pak slouží ke stanovení oprav měření rychlosti a tlaku při zkouškách sériově vyráběných nábojů, pro kontrolu měřícího zařízení a pro klasifikaci balistických hlavních [12].

Při zkouškách vnitřní balistiky je svědečný náboj využíván jako etalon ke stanovení opravy měření rychlosti a tlaku. Opravy dne se následně použijí ke korekci naměřených hodnot rychlosti střely a tlaku prachových plynů u zkoušených nábojů.

3.2.1 Oprava měření tlaku

„Oprava dne (ODP) je rozdíl mezi nominálním tlakem svědečného náboje a středním tlakem svědečného náboje, zjištěným při zkoušce, opraveným na teplotu prachu. Uvedená oprava dne se dosadí se zřetelem na znaménko.“ [12, s. 21]

$$ODP = P_{SV} - P_{STŘ} \quad (1)$$

Kde ODP oprava dne pro rychlost [MPa]

P_{SV} nominální tlak svědečného náboje [MPa]

$P_{STŘ}$ změřená střední hodnota tlaku prachových plynů ze skupiny ran [MPa]

Pokud nejsou prostory zkušebny klimatizovány na normální teplotu (obvykle +21 °C) a náboje nejsou temperovány na teplotu prostředí, je nutné stanovit opravu dne také na teplotu prachu [12].

$$\Delta P_t = m_t \cdot P_{STR} \cdot \Delta t \quad (2)$$

Kde ΔP_t oprava tlaku na teplotu prachu [MPa]

P_{STR} naměřená střední hodnota tlaku ze skupiny ran [MPa]

Δt rozdíl mezi normální teplotou a teplotou prachu při zkoušce [°C]

m_t opravný koeficient (uveden na výkresu pro střelnici, $m_t \approx 0,0036$)

Získaná hodnota opravy tlaku na teplotu prachu se připočítá, je-li teplota prachu nižší než normální, a odečte, je-li teplota prachu vyšší než normální. Při zkouškách za extrémních teplot se oprava výsledku neprovádí [12].

Přesná kritéria pro stanovení opravy dne pro tlak, její platnost a rozsah využití jsou uvedena v ČOS 130506.

3.2.2 Oprava měření rychlosti

„Oprava dne (ODV) je rozdíl mezi nominální rychlostí svědečného náboje a střední rychlostí svědečného náboje zjištěnou při zkoušce a opravou na teplotu prachu. Uvedená oprava dne se dosadí se zřetelem na znaménko.“ [12, s. 15]

$$ODV = v_{SV} - v_{STR} \quad (3)$$

Kde ODV oprava dne pro rychlost [m.s⁻¹]

v_{SV} nominální rychlost svědečného náboje [m.s⁻¹]

v_{STR} změřená střední hodnota rychlosti střely ze skupiny ran [m.s⁻¹]

Pokud nejsou prostory zkušebny klimatizovány na normální teplotu (obvykle +21 °C) a náboje nejsou temperovány na teplotu prostředí, je nutné stanovit opravu dne také na teplotu prachu [12].

$$\Delta v_t = l_t \cdot v_{STR} \cdot \Delta t \quad (4)$$

Kde Δv_t oprava rychlosti na teplotu prachu [m.s⁻¹]

v_{STR} naměřená střední hodnota rychlosti střely ze skupiny ran [m.s⁻¹]

Δt rozdíl mezi normální teplotou a teplotou prachu při zkoušce [$^{\circ}\text{C}$]

l_t opravný koeficient (uveden na výkresu pro střelnici, $l_t \approx 0,0012$)

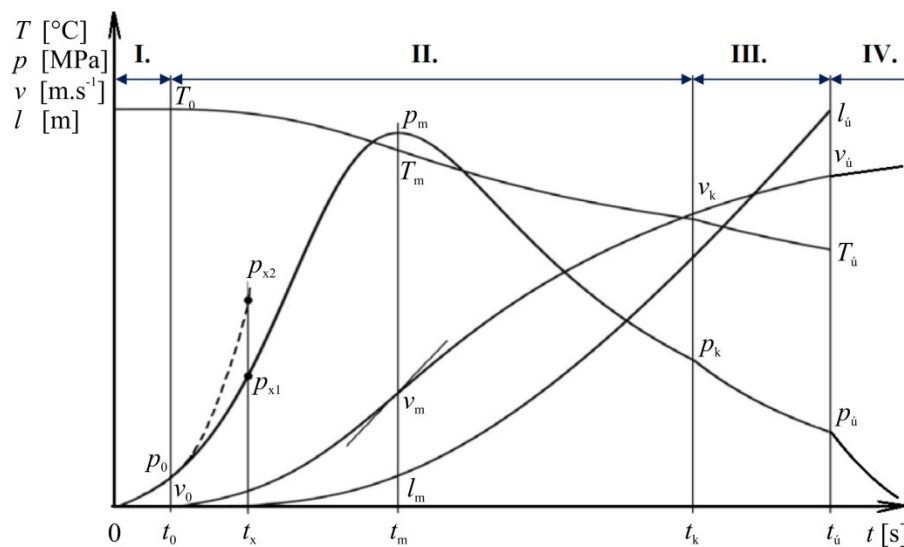
Získaná hodnota opravy rychlosti na teplotu prachu se připočítá, je-li teplota prachu nižší než normální, a odečte, je-li teplota prachu vyšší než normální. Při zkouškách za extrémních teplot se oprava výsledku neprovádí [12].

Přesná kritéria pro stanovení opravy dne pro rychlost, její platnost a rozsah využití jsou uvedena v ČOS 130506.

3.3 Průběh výstřelu

„Výstřel z hlavnové palné zbraně můžeme chápat jako složitý fyzikálně-chemický proces velmi rychlé (téměř okamžité) přeměny chemické energie střelného prachu v energii tepelnou, jejíž část se využije a přemění na kinetickou energii střely.“ [3, s. 25]

Výstřel z hlavnové palné zbraně lze rozdělit na 4 základní fáze. První, druhá a třetí fáze spadá do oblasti vnitřní balistiky, ve čtvrté fázi je již střela mimo hlaveň a uplatňují se jevy přechodové balistiky [3].



Obr. 20. Průběhy vnitrobalistických veličin [3].

Mezi základní vnitrobalistické veličiny patří tlak prachových plynů p , teplota prachových plynů T , rychlost střely v hlavni v a dráha střely v hlavni l . Index 0 označuje okamžik začátku pohybu střely v hlavni, index m označuje okamžik maximální hodnoty tlaku prachových plynů, index k označuje okamžik dohoření výmetné náplně a index u označuje okamžik, kdy dno střely opustí ústí hlaveň [3].

V čase $t = 0$ dochází k zážehu výmetné náplně, kterému předchází iniciace zápalky. K iniciaci zápalky dochází na základě mechanického podnětu nebo elektrickým impulzem. Výsledkem funkce zápalky by mělo být okamžité a rovnoměrné zažehnutí výmetné náplně.

Fáze I je časově ohraničena zažehnutím výmetné náplně a počátkem pohybu střely v hlavni (okamžik t_0). V této fázi dojde k zažehnutí a postupnému hoření výmetné náplně a tím i k nárůstu tlaku zatím v konstantním objemu. Při dosažení tlaku p_0 v čase t_0 dochází k uvolnění střely z nábojnice. Pokud by se střela z nějakého důvodu nezačala pohybovat, došlo by ke strmějšímu růstu tlaku (v čase t_x by hodnota tlaku prachových plynů p_{x2} byla ve srovnání s hodnotou p_{x1} při standardním průběhu výrazně vyšší) [3].

Ve fázi II, která je vymezena počátkem pohybu střely (okamžik t_0) a dohořením výmetné náplně (okamžik t_k) dochází k hoření výmetné náplně při vzrůstajícím objemu spalovacího prostoru. Tlak prachových plynů v průběhu času roste a v okamžiku t_m dosáhne své maximální hodnoty p_m . Zároveň dochází k urychlování střely, která v okamžiku t_m dosáhne maximálního zrychlení. Od okamžiku t_m je nárůst tlaku vyvolaný hořením výmetné náplně menší než pokles tlaku způsobený zvětšováním spalovacího prostoru a tlak prachových plynů klesá. Přestože pokles tlaku má za důsledek zmenšení přírůstku rychlosti, rychlost střely se neustále zvyšuje [3].

Fáze III začíná dohořením výmetné náplně (okamžik t_k) a končí, když dno střely opustí hlavěň (okamžik t_u). Střela je stále urychlována tlakem prachových plynů, i když přírůstek rychlosti se stále zmenšuje [3].

Fáze IV už spadá do oblasti vnější balistiky. Střela se pohybuje mimo hlavěň, ale stále je urychlována vytékajícími plyny. Maximální rychlosti střela dosahuje ve vzdálenosti několika desítek ráží od ústí hlavěň [3].

3.4 Děje v hlavni při výstřelu

Dopadem zápalníku² na zápalku náboje, případně elektrickým impulzem, dochází k iniciaci zápalky. Iniciovaná zápalková slož zažehne výmetnou náplň. Hořením výmetné náplně dojde k prudkému vývinu plynů a začne, nejprve pouze v nábojnici, stoupat tlak. Prachové plyny silově působí na dno střely. V okamžiku, kdy tato síla překoná výtahovou

² Zápalník je součástí bicího mechanismu zbraně. Může figurovat jako samostatný prvek přenášející energii úderníku na zápalku, případně může být přímo součástí úderníku [3].

sílu, jakou je střela držena v nábojnici, dojde k uvolnění střely a střela se v hlavni začíná pohybovat vzrůstající rychlostí směrem k ústí. Nejvyšší zrychlení má střela v okamžiku maximálního tlaku prachových plynů v hlavni. Nejvyšší rychlost má střela v okamžiku, kdy její dno opouští ústí hlavně. V závislosti na průběhu hoření prachu a pohybu střely se mění tlakové a objemové parametry, zároveň klesá teplota prachových plynů. V okamžiku, kdy dno střely opouští ústí hlavně, dojde k výtoku prachových plynů z hlavně a postupnému vyrovnání tlaku v hlavni s okolím.

Při výstřelu dochází v hlavni palné zbraně k různým, z hlediska času velmi krátkým, dějům, při kterých sledované veličiny dosahují extrémních hodnot.

Tab. 7. Hodnoty fyzikálních veličin při výstřelu [1].

Hodnoty fyzikálních veličin při výstřelu			
<i>Veličina</i>	<i>Jednotka</i>	<i>Rozsah hodnot</i>	<i>Poznámka</i>
tlak	[MPa]	200 až 500	maximální tlak v komoře při hoření prachové náplně
síla	[kN]	0,2 až 15	výtahová síla pro uvolnění střely z nábojnice
čas	[ms]	0,1 až 4,0	doba trvání dějů
rychlost	[m.s ⁻¹]	200 až 1000	rychlost střely a prachových plynů
zrychlení	[m.s ⁻²]	250000 až 2000000	zrychlení střely při pohybu v hlavni
teplota	[°C]	2000 až 3000	teplota při hoření prachové náplně

Vnitřní balistika se zabývá popisem dějů, které probíhají v hlavni palné zbraně při výstřelu, tzn. od okamžiku elektrické nebo mechanické iniciace zápalky, do okamžiku, kdy dno střely opouští hlavě. Průběh vnitrobalistických charakteristických veličin v závislosti na čase lze obvykle určit matematickým výpočtem nebo měřením při střeleckých zkouškách.

Při střeleckých zkouškách nábojů, prováděných za účelem ověření jejich vnitrobalistických parametrů, se obvykle provádí měření tlaku prachových plynů, měření rychlosti střely v určité vzdálenosti před ústím hlavně a měření doby výstřelu.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 MĚŘENÍ PŘI ZKOUŠKÁCH VNITŘNÍ BALISTIKY

Vnitrobalistické děje probíhají ve velmi krátkých časových intervalech a fyzikální veličiny dosahují v porovnání s okolím člověka extrémních hodnot. Je nutné si uvědomit, že náboj a zbraň při výstřelu tvoří vzájemně se ovlivňující systém a pro správnou funkci náboje a zbraně je proto důležité hodnoty některých veličin regulovat a vhodně tomu přizpůsobit konstrukci náboje nebo zbraně. Kontrola předmětných veličin je potom předmětem experimentálního ověření.

Při srovnání požadavků a celkovému rozsahu zkoušek na civilní náboje do ručních palných zbraní dle C.I.P. a na vojenské náboje dle ČOS lze dojít k závěru, že vojenské náboje jsou podrobeny obsáhlejšími zkouškám a zatěžování v extrémních podmínkách než náboje pro civilní využití. Zkoušky civilních nábojů se zaměřují zejména na bezpečnost pro obsluhu, plnění základních balistických parametrů a rozměrovou shodu. Důvodem je pravděpodobně skutečnost, že u munice, kde je snaha o vzájemnou kompatibilitu a nahraditelnost od různých výrobců, je zavedeno několik nejpoužívanějších ráží, zatímco střeliva, které je ověřováno dle C.I.P., jsou stovky druhů (tabulka ráží č. I v příloze ČSN 39 5020 aktuálně obsahuje 597 záznamů).

Minimální rozsah zkoušek pro civilní náboje i munici je vždy uveden přímo v příslušných normách (ČSN nebo ČOS), případně v dalších odkazovaných dokumentech, nebo je navržen výrobcem náboje tak, aby byly jednoznačně a úplně ověřeny požadované parametry zkoušených vzorků v souladu s příslušnou normou. Lze však konstatovat, že základní rozsah i způsob provedení zkoušek vnitřní balistiky jednotných nábojů, a to měření tlaku v komoře při výstřelu, měření doby výstřelu a počáteční rychlosti, je obdobný jak u civilních nábojů, tak u vojenské munice obdobné ráže. Velmi podobné je z pohledu zkoušení i názvosloví.

Rozdíl je v aplikaci příslušných norem pro plnění parametrů jednotlivých nábojů. Např. pro náboj 5,56 x 45 NATO platí ČOS 130503, 1. vydání. Tato norma definuje parametry, které musí náboj splňovat. Postup zkoušení je pak uveden v dokumentu MOPI AC/225(LG/3-SG/1)D/8, na který ČOS 130503, 1. vydání odkazuje.

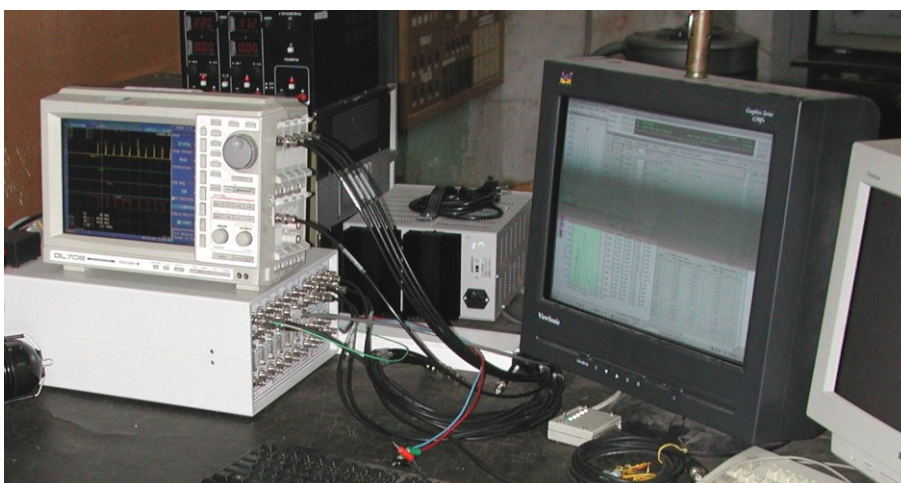
Náboj ráže 5,56 x 45 mm je možné nalézt i mezi civilním střelivem pod označením 223 Rem, případně 223 Remington. Pro zkoušení tohoto náboje by však už nebyly využívány ustanovení ČOS 130503, 1. vydání, ale ověření by probíhalo dle patřičných ČSN ob-

sahujících usnesení C.I.P., např. měření tlaku prachových plynů by se provádělo v souladu s ČSN 39 5302.

Je nutné si ale uvědomit, že i přes shodnost ráží nemusejí být (a v tomto případě ani nejsou) obě provedení vzájemně kompatibilní. Při srovnání výkresů a parametrů vojenské verze dle ČOS 130503, 1. vydání a civilní verze dle ČSN 39 5020 lze dojít k závěru, že nábojnice si neodpovídají v přechodovém kuželu a z toho důvodu nejsou stejné ani komory zbraní pro vojenskou a civilní verzi náboje.

V praxi se při zkouškách vnitřní balistiky (kromě specifických nebo vývojových úkolů) obvykle stanovuje energie střely, měří tlak prachových plynů, rychlost střely a doba výstřelu. Obecný rozsah této zkoušky umožní stanovení sledovaných vnitrobalistických veličin jak u civilních, tak u vojenských nábojů do palných zbraní. Pro každý druh měření je zpracována metodika zkoušky. Tato metodika stanovuje přesný postup provedení zkoušky (např. dobu a teplotu temperace nábojů, počet zkoušených ran, režim střelby) v souladu se souvisejícími normami a provozním řádem zkušebny. Zároveň vychází z návodů k obsluze jednotlivých částí měřicí soupravy a obsahuje přesný a úplný popis nastavení rozsahů vstupů, vzorkovací frekvence, konstant a dalších parametrů měřicí soupravy.

Zkušební zařízení pro měření při zkouškách vnitřní balistiky se pak zpravidla skládá z několika částí. Základem je zkušební balistická zbraň pro danou ráži, tlakoměry, zařízení pro měření rychlosti, vyhodnocovací zařízení a propojovací kabeláž. Přesná konfigurace zkušebního zařízení je pak závislá na konkrétní úloze.



Obr. 21. Příklad vyhodnocovací části zkušebního zařízení.

Tlak prachových plynů se měří tlakoměrem měřícím tlak v komoře balistické zbraně nebo přímo v hlavni. Přesná odběrná místa jsou určena normou pro danou ráži [17].

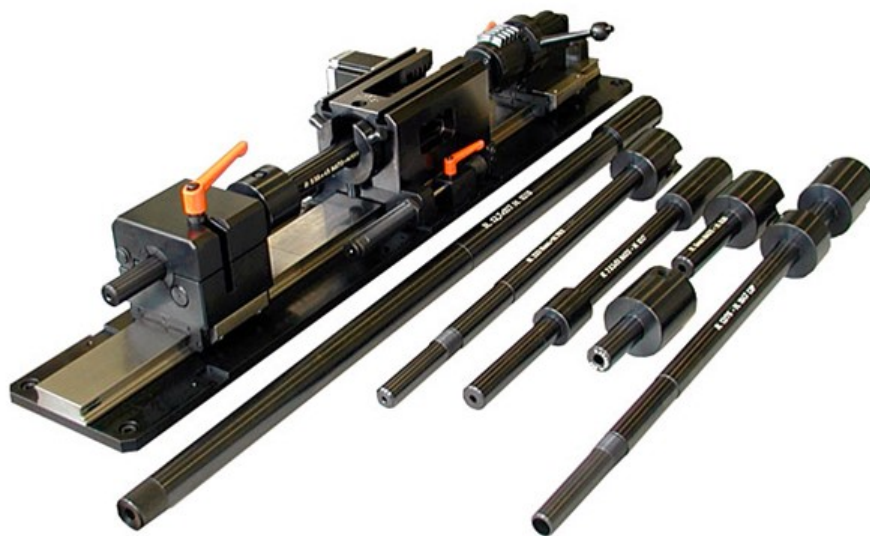
Rychlost střely se měří až na její dráze mimo hlaveň v definované vzdálenosti před ústím hlavně. Toto měření sice spadá do oblasti vnější balistiky, ale z hodnoty rychlosti v určité vzdálenosti se následně výpočtem určuje úst'ová rychlost. Některé programy mají přepočty zahrnuté přímo do měřících a vyhodnocovacích algoritmů tak, že uživateli je zobrazena přímo také úst'ová rychlost bez nutnosti manuálních přepočtů [18].

4.1 Balistická zbraň

„Balistickou zbraní se nazývá zbraň, která je určena pro balistické zkoušky prachů a nábojů a plně vyhovuje požadavkům stanoveným na rychlost střel a tlak prachových plynů při střelbě svědečnými náboji.“ [12, s. 38]

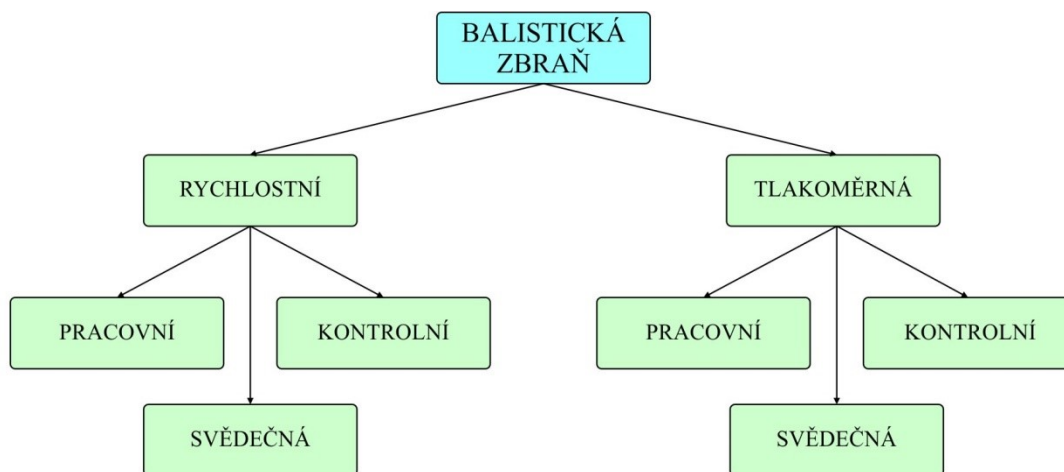
Jedná se o speciální zbraň, zkonstruovanou dle příslušných mezinárodních norem, která není zařazena přímo do výzbroje, ale je využívána pro určení vnitrobalistických veličin prachů (výmetných náplní) i celých nábojů.

Balistická zbraň se skládá z několika základních částí, a to ze zkušební hlavně a balistického lůžka se závěrovým mechanismem. Zkušební hlaveň je vždy výrobně svázána s daným lůžkem a závěrovým mechanismem. S jedním balistickým lůžkem je možno používat i více různých balistických hlavní, které jsou s tímto lůžkem výrobně svázány. Závěrový mechanismus pak podle typu balistického měřidla (a zkoušeného náboje) umožňuje buď mechanickou, nebo elektrickou iniciaci zápalky.



Obr. 22. Balistická zbraň [19].

Podle druhu měření se balistické zbraně rozlišují na rychlostní (určené pro měření rychlosti střely) a tlakoměrné (pro měření tlaku prachových plynů při výstřelu). Podle kvalitativních znaků se pak balistické zbraně dělí na pracovní, kontrolní a svědečné. Prvotní klasifikace zbraně po výrobě je prováděna třídení střeleckou zkouškou svědečnými náboji na střelnici Národní zkušebny za přítomnosti výrobce hlavně [12].



Obr. 23. Dělení balistických zbraní. Vlastní zpracování dle [12].

Pracovní balistická zbraň se používá na výrobní zkoušky běžných (spotřebních) nábojů a musí být na každé zkušebně, kde balistické zkoušky nábojů probíhají. Kontrolní balistická zbraň se používá pro kontrolu měřicího zařízení a pro zkoušky svědečných nábojů. Svědečná balistická zbraň se používá primárně pro kontrolu schválených svědečných nábojů a musí být uložena v Národní zkušebně. Pokud v průběhu životnosti zbraně dojde ke změně parametrů, které mají vliv na její klasifikaci, dochází k přeřazení do odpovídající skupiny, případně k vyřazení [12]. Způsob klasifikace i požadované parametry pro jednotlivé skupiny balistických zbraní je uveden v ČOS 130506, 1. vydání.

V rámci zkoušek vnitřní balistiky lze na balistickou zbraň nahlížet jako na měřidlo, které musí splňovat určité parametry. Přestože je každá balistická zbraň kontrolována a klasifikována v rámci výrobní kontroly, základní parametry jsou před zahájením střeleckých zkoušek vždy ověřovány. Ověření probíhá kontrolním měřením předepsanými kalibry vývrtu, kontrolou uzamykacích vŕlů a kontrolní střelbou svědečnými náboji v souladu s příručkou pro provoz a údržbu balistické zbraně.

Kontrolní střelba slouží nejen k ověření aktuálních kvalitativních parametrů balistické zbraně. Naměřené hodnoty tlaku prachových plynů a rychlosti střely slouží jako podklad pro určení oprav *ODP* a *ODV*.

4.2 Způsoby měření tlaku prachových plynů

Jedním z cílů střeleckých zkoušek je stanovení maximálního tlaku prachových plynů při výstřelu. Měření tlaku je možné provést mechanickým tlakoměrem (crusher), piezoelektrickým tlakoměrem (piezo) nebo, pokud to balistická zbraň umožňuje a je to požadováno metodikou zkoušky, oběma způsoby zároveň.

Tlak prachových plynů při výstřelu se měří v komoře nebo těsně před ústím nábojnice. Každá tlakoměrná hlaveň má v souladu s příslušnými normami vyrobeny montážní otvory pro umístění tlakoměrů (odběrná místa). Při měření tlaku v komoře je potřeba upravit nábojnici. Úprava spočívá ve vymezení polohy (obvykle vyseknutím drážky ve dnu nábojnice) a vyvrtáním otvoru v nábojnici přesně proti odběrnému místu [17].

4.2.1 Měření tlaku mechanickým tlakoměrem

Měření tlaku mechanickým tlakoměrem je někdy označováno jako měření metodou crusher. Tato metoda umožňuje pouze stanovení maximálního tlaku při výstřelu. Princip metody spočívá v mechanickém stlačení měděného tlakoměrného válečku v tlakoměru při výstřelu a následném výpočtu hodnoty maximálního tlaku z rozměru válečku před a po výstřelu. K výpočtu se využívá tarážní tabulka tlaků, která je vždy pro danou sérii válečků a teplotu zkoušených nábojů jedinečná.

Mechanický tlakoměr je z výroby určen k dané tlakoměrné hlavni. Pokud se z tlakoměrné hlavně střílí bez využití měření tlaku mechanickým tlakoměrem, odběrné místo se zaslepí speciální záslepkou určenou pro danou hlaveň.



Obr. 24. Mechanický tlakoměr.

Mechanický tlakoměr je umístěn v odběrném místě tlakoměrné hlavně. Při výstřelu do něj odběrným kanálkem proudí prachové plyny a tlakem působí prostřednictvím mechanismu tlakoměru na tlakoměrný váleček. Válečky jsou před zkouškou předtlačeny na tlak přibližně o 10 až 30 MPa nižší (záleží na ráži), než je předpokládaný měřený tlak. Působením tlaku dojde k trvalé deformaci (stlačení) válečku. Z hodnoty výšky válečku před výstřelem a výšky válečku po výstřelu se pomocí tarážní tabulky určí maximální tlak.

$$P_{CR} = P_2 + (P_0 - P_1) \quad (5)$$

Kde P_{CR} maximální tlak prachových plynů [MPa]

P_0 předtlak válečku [MPa]

P_1 tabulkový tlak před výstřelem [MPa]

P_2 tabulkový tlak po výstřelu [MPa]

Hodnota předtlaku tlakoměrného válečku a tarážní tabulka je dodána výrobcem tlakoměrných válečků s každou výrobní sérií. Tabulkové tlaky P_1 a P_2 se určí z tarážní tabulky dle výšky tlakoměrného válečku. Tarážní tabulka uvádí tabulkové hodnoty tlaků pro konkrétní výšky válečků v rozlišení 0,01 mm. Příklad tarážní tabulky je uveden v příloze I. Pokud to metodika zkoušky vyžaduje, připočítává se (s ohledem na znaménko) k výslednému střednímu tlaku $P_{STŘ}$ ze skupiny ran ODP . Pro stanovení opravy dne musí být provedena střelba svědečnými náboji stejným způsobem, jako střelba náboji zkoušenými.



Obr. 25. Tlakoměrné válečky.

Přesná kritéria pro využití tlakoměrných válečků, jejich rozměry, postupy pro předtlačení a metody vyhodnocení jsou uvedena v ČOS 130506.

4.2.2 Měření tlaku piezoelektrickým tlakoměrem

Piezoelektrický tlakoměr lze popsat jako zařízení vytvářející spojitý elektrický signál, jehož zpracováním lze získat časový průběh tlaku [17].

Použití piezoelektrického tlakoměru je více univerzální, měřením lze získat nejen hodnotu maximálního tlaku, ale zároveň i časový průběh tlaku. Jeden typ lze použít v různých hlavních. Jedinou podmínkou je přítomnost odběrného místa pro daný typ tlakoměru. Obvykle jsou typy tlakoměrů pro různé ráže (a tím i rozsahy tlaků) stanoveny v normách a tlakoměrná hlaveň je již z výroby vybavena patřičnými odběrnými místy. Pro tlaky do 500 MPa je velmi často používán piezoelektrický tlakoměr KISTLER typ 6215.



Obr. 26. Piezoelektrický tlakoměr. Vlastní úprava dle [20].

Výstupem piezoelektrického tlakoměru je elektrický náboj, proto jej není možné přímo, bez úpravy signálu, připojit do napěťových vstupů vyhodnocovacího zařízení. K převodu vygenerovaného elektrického náboje na napětí se používá speciální převodník, tzv. nábojový zesilovač. Výstup nábojového zesilovače je pak možné přivést na vstup paměťového osciloskopu a získat časový průběh tlaku. Pro přepočítání elektrického náboje na tlak má každý piezoelektrický tlakoměr stanovenou svou převodní konstantu. Převodní konstanta se stanovuje při každé kalibraci tlakoměru.

Současné (většinou jednoúčelové) speciální měřicí přístroje jsou již vybaveny vstupy s integrovanými nábojovými zesilovači a umožňují přímé připojení piezoelektrických tlakoměrů včetně automatického přepočtu na hodnotu tlaku dle zadané převodní konstanty a zobrazení časové závislosti.

Některé tlakoměrné hlavně mají vyrobeno více odběrných míst pro měření piezoelektrickými tlakoměry. Velmi často je více odběrných míst přímo v nábojové komoře a další jsou na hlavni v určitých vzdálenostech od začátku vývrtnu a na ústí. Tímto způsobem je možné měřit průběhy tlaku v závislosti na pozici střely v hlavni. K zaslepení otvorů u nevyužitých odběrných míst se použije záslepka, která je také výrobně svázána s konkrétní tlakoměrnou hlavni a typem odběrného místa.

4.3 Způsoby měření rychlosti střely

Dalším z vyhodnocovaných parametrů při střeleckých zkouškách je rychlost střely. Rychlost střely se stanovuje v určité vzdálenosti od ústí hlavně, kde již měření není ovlivněno jevy přechodové balistiky.

Pro zkoušku měření rychlosti se používá balistická zbraň s rychlostní hlavni. Pro zkoušku je možné použít i tlakoměrnou hlaveň, pokud svými parametry splňuje podmínky rychlostní hlavně. V tom případě je nutné zaslepit odběrná místa zátkami [12].

Při zkoušce je měřen časový interval t , za který střela překoná měřicí bázi přesně definované délky s . Pohyb střely při průletu měřicí báze je považován za přímočarý a rovnoměrně zpomalený. Délka měřicí báze s je určena metodikou zkoušky nebo je uvedena přímo v normách platných pro daný typ náboje a zkušebního zařízení. V místě počátku a konce měřicí báze jsou umístěny senzory reagující na průlet střely. Tyto senzory v okamžiku průletu střely generují napět'ové impulzy a časový rozdíl mezi oběma impulzy je interval t . Stanovení rychlosti střely v se provádí výpočtem [18].

$$v = \frac{s}{t} \quad (6)$$

Kde v rychlost střely [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]

s délka měřicí báze [m]

t časový interval, za který střela překoná měřicí bázi [s]

Často se při zkouškách vnitřní balistiky provádí měření rychlosti střely na její dráze v různých vzdálenostech od ústí hlavně. Jednotlivé skupiny rychlostí se pak označují indexem, který odpovídá vzdálenosti středu měřicí báze od ústí hlavně, např. zápis rychlosti v_{10} znamená, že byla měřena rychlost střely a střed měřicí báze byl 10 m před ústím hlavně, zápis rychlosti v_5 znamená, že střed měřicí báze byl 5 m před ústím hlavně.

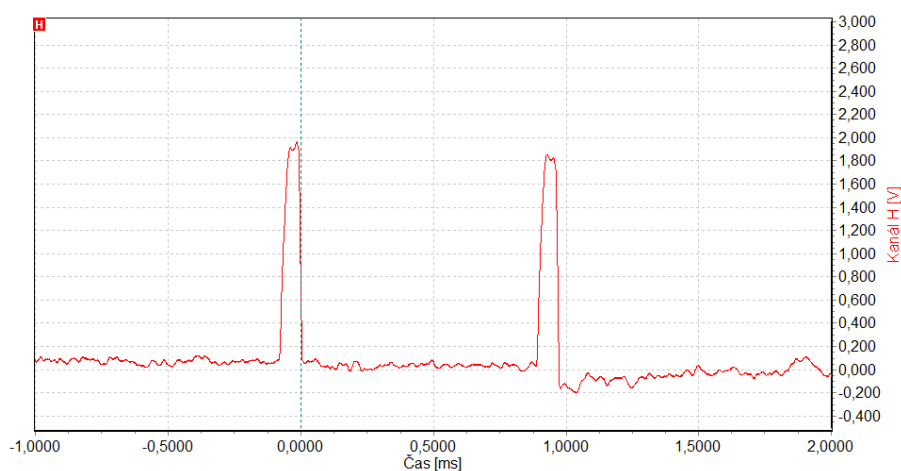
Pokud to metodika zkoušky vyžaduje, připočítává se (s ohledem na znaménko) k výsledné střední rychlosti v_{STR} ze skupiny ran ODV . Pro stanovení opravy dne musí být provedena střelba svědečnými náboji stejným způsobem jako střelba náboji zkoušenými.

Pro měření časového intervalu je možné použít měřicí přístroj s funkcí měření času s přesností splňující požadavky zkoušky. Z hlediska zpracování signálu (napětových impulzů) je nutná kompatibilita výstupů senzorů průletu střely a vstupů zařízení pro měření časového intervalu. Obvykle se na zkušebnách pro tyto účely používají čítače nebo digitální paměťové osciloskopy.

Uvedeným principem měření lze, za předpokladu vhodného umístění senzorů, určit rychlost střely na různých místech její trajektorie. Vždy se ale bude jednat o rychlost střely v určité vzdálenosti od ústí hlavně, nikoliv přímo o úst'ovou rychlost.

4.3.1 Optické přerušovače

Jedním z možných způsobů měření rychlosti střely je měření s použitím optických přerušovačů. Optické přerušovače, někdy též označovány jako optické rámy nebo optická hračka, jsou elektronická zařízení pracující na principu optické brány. Vlastní přerušovač je složen z vysílačů (svítivých diod v infračervené oblasti) a přijímačů (fototranzistorů reagujících na vlnovou délku záření vysílačů), které jsou umístěny na vzájemně protilehlých stranách rámu. Při průletu střely dojde k dočasnému přerušování viditelnosti mezi vysílačem a přijímačem (krátkodobému přerušování přenosu signálu mezi vysílačem a přijímačem) a elektronika přerušovače po dobu přerušování generuje napětový impulz. Časový interval mezi impulzy určuje dobu, za kterou střela překoná měřicí bázi.



Obr. 27. Příklad výstupního signálu optických přerušovačů.

Optické přerušovače se umísťují tak, aby osa hlavně procházela kolmo na aktivní plochy přerušovačů. Vzdálenost jednotlivých přerušovačů od ústí hlavně (a tím i měřicí báze) je nastavena dle požadavků zkoušky.

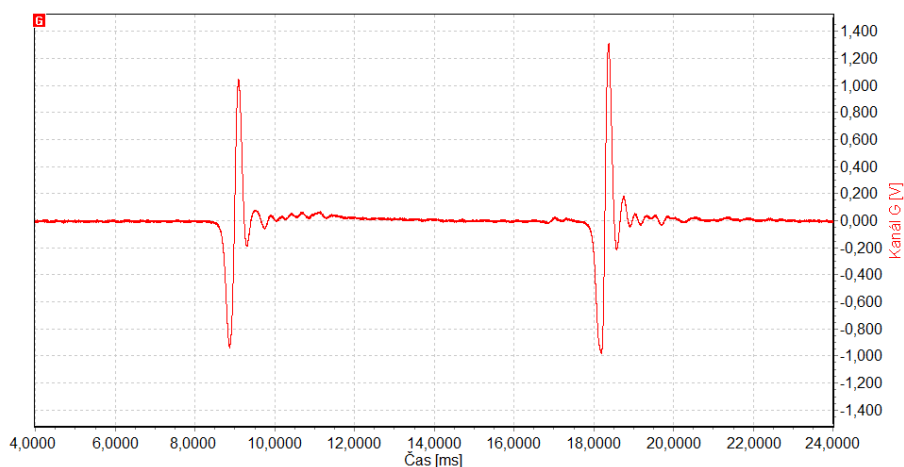
Optické přerušovače jsou vhodné pro použití zejména na krytých a uzavřených zkušebnách. Při použití na venkovních nekrytých střelnicích, které jsou závislé i na počasí, může docházet k chybám např. průletem hmyzu nebo osvětlením přijímačů slunečním svitem.

Existují také komerčně vyráběné soupravy pro měření rychlostí pomocí optických přerušovačů, např. souprava E-BAL 95 výrobce E-COM Slavkov u Brna nebo inteligentní světelné brány LS-06 výrobce Prototypa-ZM Brno.

4.3.2 Elektromagnetické cívky

Dalším možným způsobem indikace průletu střely je pomocí elektromagnetických cívek umístěných v definovaných vzdálenostech od ústí hlavně. Cívka má tvar mezikruží a je složena ze dvou vinutí bez jádra. Primární vinutí je napájecí, připojené ke zdroji stejnosměrného napětí, sekundární vinutí je indikační, připojené do vyhodnocovacího zařízení. Princip měření je založen na využití jevu elektromagnetické indukce. Vzhledem k tomu, že střela v okamžiku průletu funguje jako jádro, nelze měření elektromagnetickými cívkami aplikovat u nemagnetických střel.

Při průletu střely dutinou cívky (středem mezikruží) dojde k indukci elektrického napětí na sekundárním vinutí. Indukovaný napěťový impulz ze sekundárního vinutí každé cívky je postupně registrován záznamovým zařízením. Časový interval mezi impulzy určuje dobu, za kterou střela překoná měřicí bázi.



Obr. 28. Příklad výstupního signálu elektromagnetických cívek.

Při měření se jednotlivé cívky umísťují tak, aby osa hlavně procházela ideálně středem mezikruží a zároveň kolmo na plochu cívky. Vzdálenost jednotlivých cívek od ústí hlavně (a tím i měřicí báze) je nastavena dle požadavků zkoušky. Vnitřní průměr cívky je definován v ČOS 130506.

Elektromagnetické cívky je možné používat na krytých i venkovních zkušebnách.

4.3.3 Dopplerovský radar

Velmi speciálním způsobem měření rychlosti střely je měření pomocí dopplerovského radaru. Dopplerovský radar, někdy též nazývaný balistický radar, je elektronické zařízení, které ve spojení s počítačem a ovládacím programovým vybavením umožňuje stanovit okamžitou rychlost střely obecně v kterémkoliv bodě trajektorie bez nutnosti přestavení senzorů průletu střely pro každý druh měření rychlosti, jak je to nutné při použití optických přerušovačů nebo elektromagnetických cívek.

Dalším kladem je umístění vlastní antény radaru a dalšího příslušenství do prostoru za ústím hlavně, kde není tak výrazné působení tlakové vlny a zvířených prachových částic a tím se snižuje riziko poškození.



Obr. 29. Balistický radar.

Reálná možnost vlastního měření však začíná až v určité vzdálenosti před ústím hlavně, takže ani tento způsob neumožňuje přímé změření skutečné úst'ové rychlosti střely. Hodnota úst'ové rychlosti, případně hodnota rychlosti v oblasti, kde ještě neprobíhá vlastní měření (střela ještě není radarem zachycena), je stanovena pomocí matematických funkcí programového vybavení radaru.

Použití balistického radaru není limitováno ráží nebo druhem střely. Podmínkou pro přesné měření rychlosti je viditelnost střely na celé trajektorii. Měřením pak lze stanovit nejen úst'ovou rychlost střely v rámci zkoušek vnitřní balistiky, ale i další množinu parametrů sledovaných zejména při zkouškách vnější a dopadové balistiky.

Rozborem signálu z balistického radaru lze pak získat např. hodnotu dopadové rychlosti, vzdálenost dopadu, dobu letu střely nebo dobu hoření stopovky. U některých druhů munice pak je možné pomocí radaru kontrolovat také funkci autodestrukce, případně lze odhalit i některé typy závad, např. odlétnutí fragmentů nebo rozpad střely za letu.

Přestože tento měřicí systém vyhodnocuje rychlost střely na celé její dráze a rozborem výstupního signálu radaru lze určit i další parametry, pro jeho použití v rámci zkoušek vnitřní balistiky existují i určitá omezení. Tato omezení jsou dána zejména prostorem a uspořádáním zkušebny. Mnohé balistické zkušebny mají pro zkoušky zejména malých ráží vytvořeny střelecké linky délky několika desítek metrů, které jsou velmi často umístěny v podzemních tunelech. Při měření radarem v krátkých a úzkých prostorách dochází k odrazům signálu vysílaného radarovou anténou nejen ode dna střely, ale také od stěn zkušebny a dalšího umístěného vybavení, a tím je způsobeno nesprávné vyhodnocení dopplerovského posunu kmitočtu a následný nesprávný výpočet hodnoty rychlosti.

4.4 Způsoby měření doby výstřelu a akčního času

Pokud je to metodikou požadováno (podle druhu zkoušeného náboje), provádí se v rámci zkoušek vnitřní balistiky také měření doby výstřelu nebo akčního času.

Dobu výstřelu lze definovat jako časový interval od okamžiku počátku mechanického nebo elektrického podnětu určeného k iniciaci zápalky do okamžiku, kdy dno střely opouští rovinu ústí hlavně [12].

Akční čas lze definovat jako časový interval od okamžiku počátku mechanického nebo elektrického podnětu určeného k iniciaci zápalky do okamžiku, kdy dno střely mine odběrný kanálek piezoelektrického tlakoměru na ústí a tlakoměr registruje nárůst tlaku. V některých předpisech pro provádění zkoušek a hodnocení vnitrobalistických parametrů nábojů (většinou převzatých z MOPI týkajících se předmětných nábojů) se místo měření doby výstřelu stanovuje akční čas [12].

Začátek měřeného intervalu nastává v počátku mechanického nebo elektrického podnětu určeného k iniciaci zápalky. Za počátek mechanického podnětu je považován okamžik

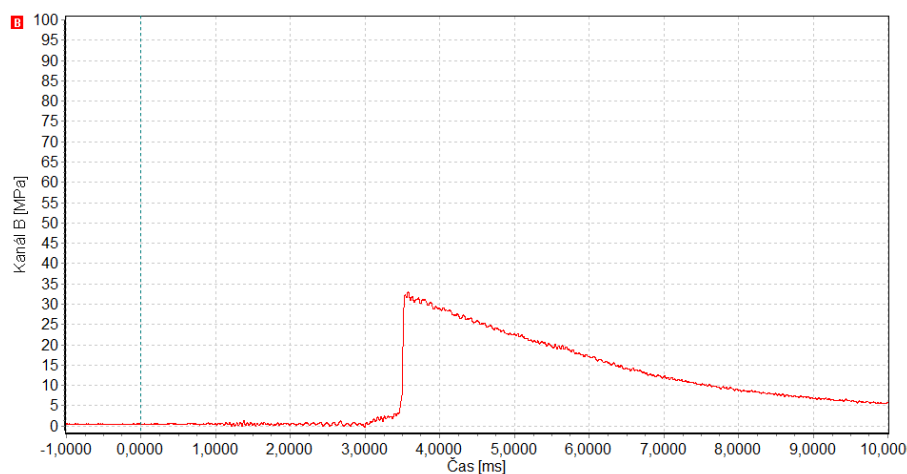
dopadu zápalníku na zápalku, který se velmi často určuje pomocí akcelerometru spojeného s bicím mechanismem. Za počátek elektrického podnětu je považována vzestupná hrana napětí na zápalcu v okamžiku začátku inicializačního impulsu.

Základní rozdíl mezi jednotlivými druhy měření však spočívá ve způsobu určení konce kontrolovaného časového intervalu. V případě měření akčního času se registruje okamžik, kdy dno střely mine odběrný kanálek piezoelektrického tlakoměru na ústí a tlakoměr registruje nárůst tlaku. V případě požadavku na stanovení doby výstřelu se registruje okamžik, kdy dno střely opouští rovinu ústí hlavně. Tento okamžik lze stanovit např. pomocí tlakového senzoru, optického senzoru, měřicího mikrofону nebo detekcí rozpojení elektrického obvodu střelou.

V praxi lze časový rozdíl mezi jednotlivými druhy měření zanedbat, neboť obě rozhodná místa, rovina ústí hlavně i odběrné místo úst'ového piezoelektrického tlakoměru jsou vzájemně velmi blízko u sebe. Poloha měřidla má v tomto případě na výslednou hodnotu časového intervalu menší vliv, než např. rozdíly způsobené rychlostí reakce zápalky nebo výmetné náplně.

4.4.1 Tlakový senzor

Použití piezoelektrického tlakového senzoru je jedním z velmi často používaných způsobů vyhodnocení doby výstřelu. Tlakoměr je v tomto případě upevněn na speciální mechanické konstrukci (pevně uchycené ke zkušební hlavni v těsné blízkosti ústí) a registruje nárůst tlaku v okamžiku, kdy dno střely opouští hlavěň. Časový rozdíl mezi počátkem iniciačního podnětu a okamžikem nárůstu tlaku na ústí pak určuje dobu výstřelu.

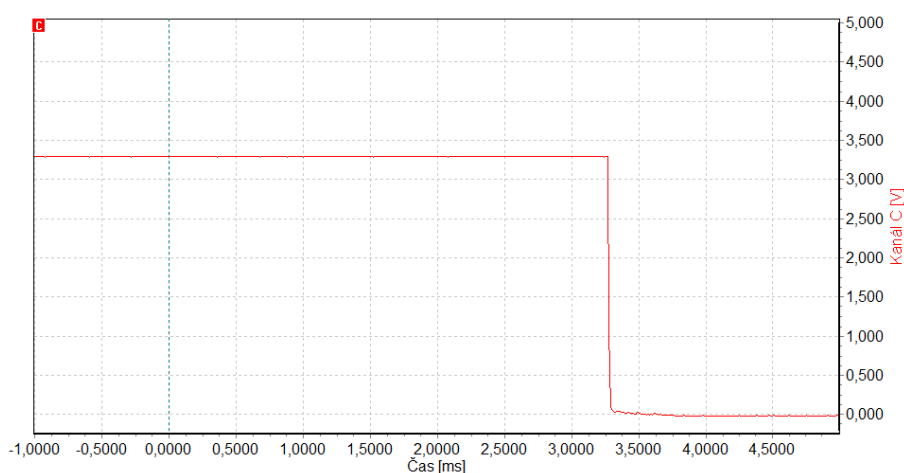


Obr. 30. Příklad průběhu tlaku na ústí hlavně.

V případě využití piezoelektrického tlakoměru pro měření doby výstřelu, konkrétně pro stanovení okamžiku, kdy dno střely opouští hlavěň, se vyhodnocuje prudký nárůst tlaku. V tento okamžik opouští dno střely ústí hlavěň a prachové plyny, které vytlačily střelu hlavní směrem k ústí, se začnou šířit do prostoru před hlavní a působit také na tlakoměr.

4.4.2 Přerušování vodivého spoje

Sledování přerušování vodivého spoje je dalším způsobem, kterým lze stanovit okamžik, kdy dno střely opouští ústí hlavěň. Tato metoda je založena na mechanickém přerušování vodiče střelou při jejím průletu. Ke zkušební hlavni v těsné blízkosti ústí je pevně uchycena speciální mechanická konstrukce, která umožňuje izolované upevnění vodiče a jeho vedení kolmo na osu hlavěň ve vzdálenosti přesně jedné délky střely před ústím hlavěň. Vodič je připojen do elektrického obvodu a jeho přerušování vyvolá změnu napětí na výstupu. Časový rozdíl mezi počátkem iniciačního podnětu a změnou napětí pak určuje dobu výstřelu.



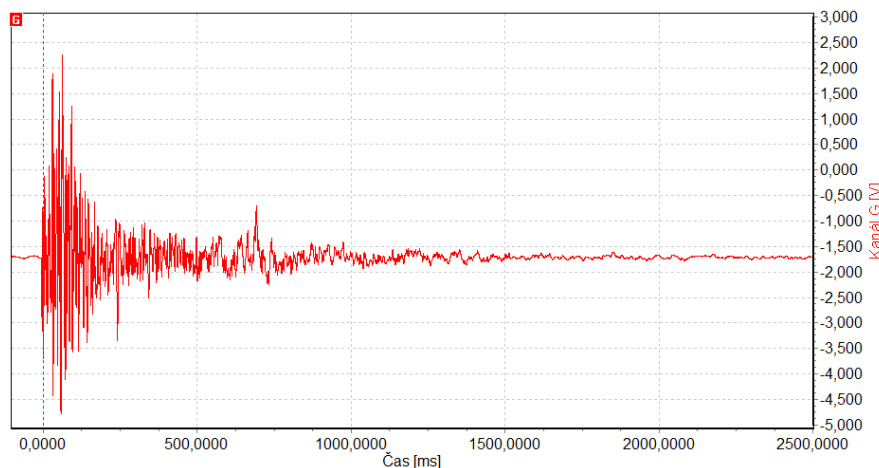
Obr. 31. Příklad průběhu napětí v měřicí smyčce.

Uchycení mechanické konstrukce je obvykle realizováno pomocí objímky, která umožňuje připevnění k balistickým hlavním různých ráží a nastavení různých vzdáleností podle délky střely, kdy dno střely je v rovině ústí a špička střely se dotýká vodiče. Jako vodič se pro měřicí smyčku používá velmi tenký a křehký železný drát nebo uhlíkové tyčinky.

Při zkoušce musí obsluha před každým výstřelem zapojit do měřicí smyčky nový vodič. Kontrolu správného propojení měřicí smyčky je možné prověřit měřením napětí na výstupu. V praxi bývá velmi často k výstupu připojené optické signalizační zařízení, které indikuje jakékoliv rozpojení smyčky. Toto rozpojení může být způsobeno nejen průletem střely, ale také např. chybou obsluhy při přípravě střelby.

4.4.3 Měřicí mikrofon

Stanovení doby výstřelu lze provést také akustickým měřením pomocí speciálního měřicího mikrofonu, i když použití měřicího mikrofonu v této souvislosti není v praxi běžně využíváno a v oblasti zkoušek vnitřní balistiky se jedná o velmi okrajovou, spíše až nouzovou metodu. Záznamovým zařízením je registrován napěťový signál z výstupu měřicího mikrofonu, kterým se zaznamenává zvuk při výstřelu.



Obr. 32. Příklad výstupního signálu měřicího mikrofonu

Měření je výrazně ovlivněno vzdáleností mikrofonu od ústí hlavně. Vzhledem k tomu, že měřicí mikrofon nelze dát do těsné blízkosti ústí hlavně, ve změřeném časovém intervalu se projeví zpoždění dané rychlostí šíření zvuku ve vzduchu při konkrétní teplotě a vzdálenosti mikrofonu od ústí. Pro stanovení doby výstřelu je nutné toto zpoždění (obvykle větší než vlastní doba výstřelu) odečíst od celkového změřeného časového intervalu.

$$t_v = t_z - \frac{s_m}{v_z \cdot \sqrt{1 + \frac{T_v}{273,15}}} \quad (7)$$

Kde	t_v	doba výstřelu [s]
	t_z	celkový časový interval [s]
	s_m	vzdálenost měřicího mikrofonu od ústí hlavně [m]
	v_z	rychlost zvuku ve vzduchu při 0 °C [m.s ⁻¹]
	T_v	teplota vzduchu [°C]

V praxi se měřicí mikrofon využívá např. k měření kadence u některých druhů zbraní, kdy lze výše popsané zpoždění zanedbat, protože je stejné pro každý výstřel v dávce. Další

využití měřicího mikrofonu může být účelné v případech, kdy není možné pro spouštění měření použít např. signál z akcelerometru na zápalníku nebo z piezoelektrického tlakoměru. Tato situace nastává většinou při funkčních zkouškách zbraní a nikoliv při zkouškách vnitřní balistiky nábojů.

4.4.4 Optický senzor

Optický senzor reaguje na záblesk při výstřelu, který nastává v okamžiku, kdy dno střely opustí rovinu ústí hlavně. Podle definice uvedené v ČOS 130506 se jedná o měření doby výstřelu [12]. Při zkouškách vnitřní balistiky se však optický senzor pro měření doby výstřelu využívá spíše okrajově a měření je realizováno použitím jiných zdrojů signálu.



Obr. 33. Optický senzor.

Při střeleckých zkouškách se signál generovaný optickým senzorem používá nejčastěji pro spuštění a synchronizaci měření, např. měření rychlosti střely balistickým radarem.

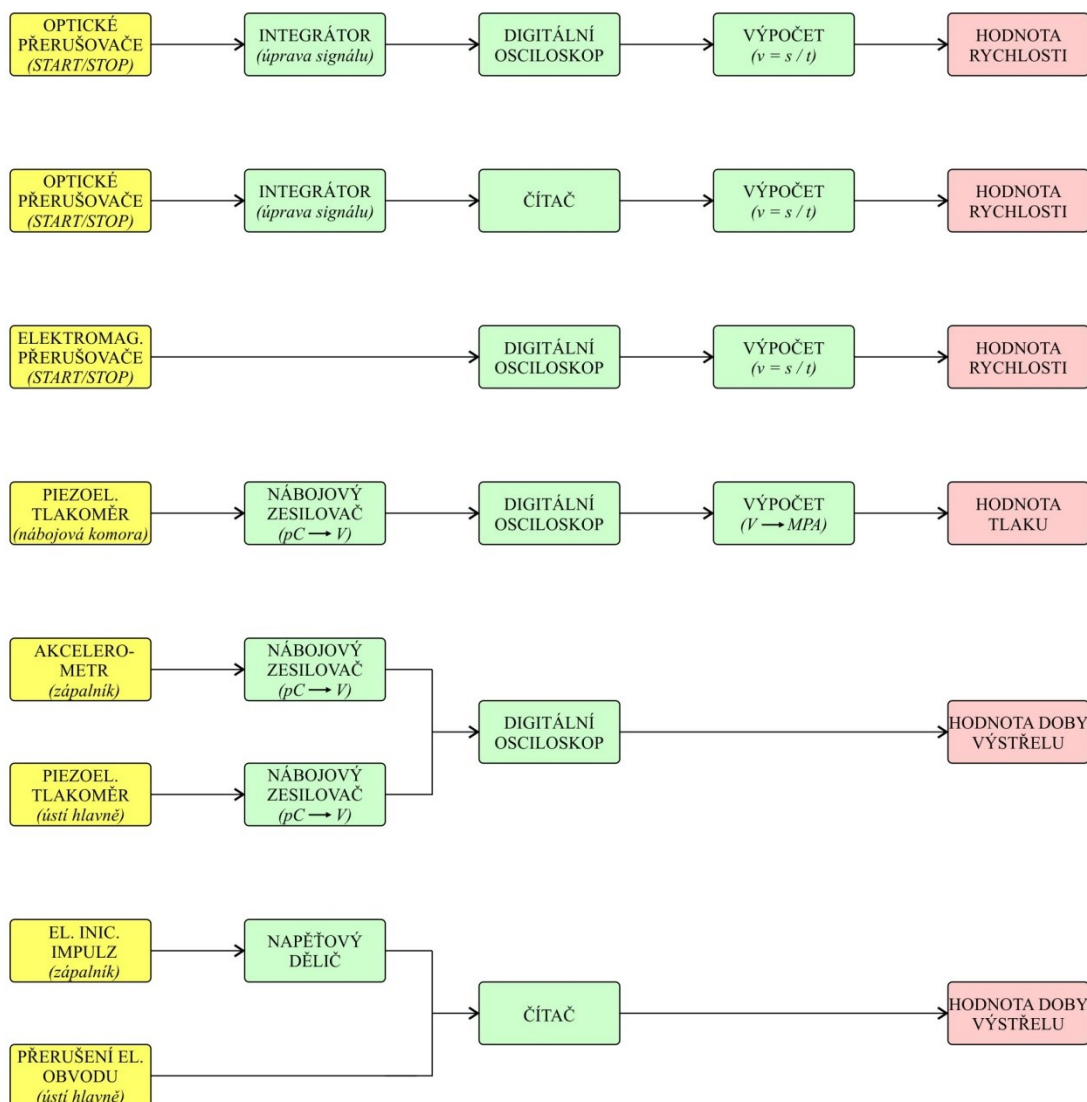
Výhodné je využití optického senzoru v případech, kdy není možné pro spouštění měření použít např. signál z akcelerometru na úderníku nebo z piezoelektrického tlakoměru. Tato situace nastává většinou při funkčních zkouškách zbraní a nikoliv při zkouškách vnitřní balistiky nábojů.

4.5 Záznamové a vyhodnocovací zařízení

V rámci zkoušek vnitřní balistiky se provádí měření několika základních veličin, a to měření tlaku, měření rychlosti a měření času. Výsledky měření (po provedení případných korekcí a výpočtů, např. *ODP*, *ODV*, deformace tlakoměrných válečků apod.) jsou následně

vyhodnoceny a dle účelu zkoušek je rozhodnuto, zda jsou nebo nejsou splněna předepsaná kritéria zkoušky.

Jedním ze způsobů, jak získat hodnoty sledovaných veličin, je provedení měření každé požadované veličiny při jednom výstřelu samostatnou měřicí soupravou, jejímž výstupem je buď hodnota (časový průběh) určená k následné početní úpravě, nebo přímo hodnota (časový průběh) měřené veličiny.

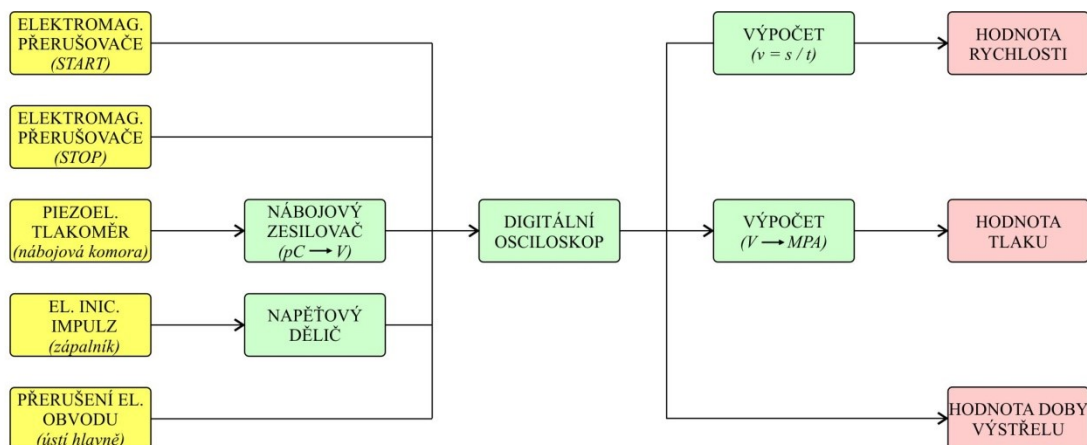


Obr. 34. Příklady možných zapojení samostatných měřicích sestav.

Počet možných kombinací by bylo určitě možné zvýšit např. úpravou signálů a použitím čítače místo digitálního osciloskopu.

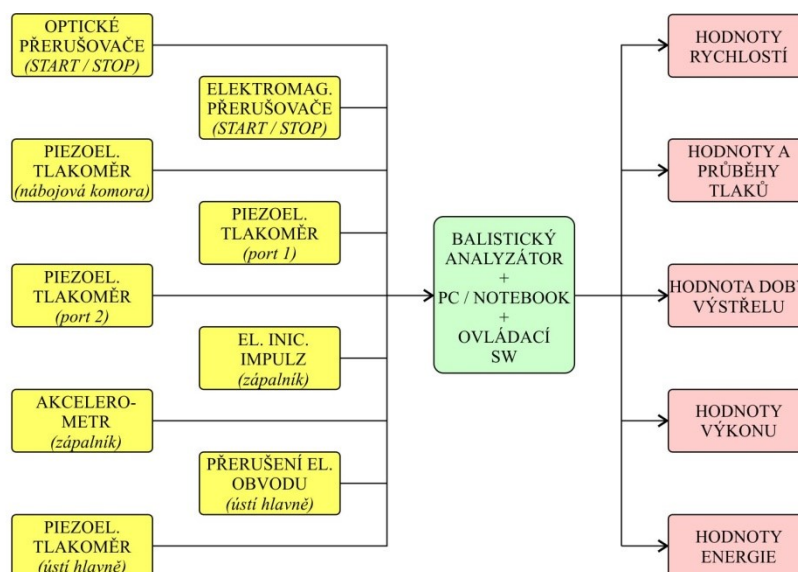
Dalším způsobem je využití digitálního osciloskopu jako centrálního měřicího zařízení. Současné digitální osciloskopy jsou vybaveny několika vstupními kanály (např. YOKOGAWA DL 716 umožňuje současné měření až na 16 vstupech), které jsou řešeny

modulově a dle požadavků zkoušky lze kombinovat např. vysokonapěťové vstupy, vstupy obsahující nábojové zesilovače nebo vstupy s vysokým rozlišením (až 16bitové A/D převodníky). Zapojení celé měřicí soupravy je pak možné zjednodušit. V praxi se tímto krokem snižují náklady na kalibraci přístrojů, zvyšuje přesnost měření a zejména se snižuje riziko závady (méně prvků měřicí soupravy → méně možností pro vznik chyby). Míra integrace však závisí na konkrétním vybavení zkušebny.



Obr. 35. Příklad zapojení měřicí soupravy s digitálním osciloskopem.

Při zkouškách vnitřní balistiky je možné využít také speciální měřicí zařízení, tzv. balistické analyzátory, která jsou cíleně navržena pro provádění měření při střeleckých zkouškách a disponují všemi potřebnými typy vstupů. Ve spojení s ovládacím SW pak lze nakonfigurovat prakticky jakoukoliv zkušební úlohu definovanou v ČOS nebo ČSN pro zkoušky vnitřní balistiky. Výstupem jsou přímo hodnoty sledovaných veličin.



Obr. 36. Příklad použití balistického analyzátoru.

V praxi se při zkouškách vnitřní balistiky obvykle (kromě specifických / vývojových úkolů) měří tlak prachových plynů, rychlost střely v určité vzdálenosti od ústí hlavně a doba výstřelu nebo akční čas.

Pro zkoušky vnitřní balistiky lze sestavit různé konfigurace měřicího zařízení, které je možné využít nejen pro vlastní měření, ale také jako náhradní řešení při závadě některé části nebo pro paralelní měření v případě potřeby porovnání.

Jeden typ náboje lze otestovat různými měřicími soupravami za podmínky, že jsou dodrženy ustanovení příslušných norem, ať už ČSN nebo ČOS, jako je místo odběru a způsob stanovení maximálního tlaku prachových plynů (piezo / crusher), vzdálenost středu měřicí báze pro měření rychlostí nebo maximální dovolená chyba měření.

5 NÁVRH A SESTAVA MĚŘICÍHO ZAŘÍZENÍ

Každá zkušebna provádějící zkoušky vnitřní balistiky disponuje obvykle vlastní měřicí soupravou. Podnikové zkušebny mají často pořízeny pouze jednoúčelové soupravy cíleně pro zkoušení nábojů dle výrobního programu. Vždy se však jedná o měřicí zařízení, které je nutné v pravidelných intervalech kalibrovat, případně nechat odstranit vzniklé závady. V obou případech pak nastává situace, kdy není možné celou soupravu nebo některé její komponenty po určitou dobu (dle typu až několik týdnů) využívat k provádění měření.

Pro každou takovou situaci existuje několik možných způsobů řešení. Je možné termíny zkoušek odkládat dle aktuálních možností zkušebny, nebo je možné využít outsourcing a měření nakupovat jako službu, pořídit další měřicí soupravu vhodnou pro daný druh měření, nebo využít náhradní přístrojové vybavení.

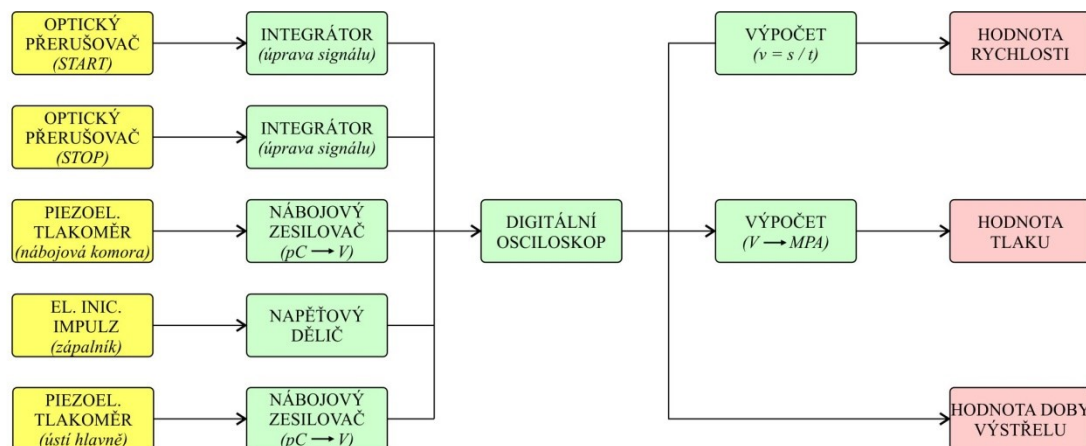
Ideálním řešením je stav, kdy lze měřicí soupravu nebo jakoukoliv její část okamžitě nahradit. Vzhledem k tomu, že pro zkoušky vnitřní balistiky jednoho typu náboje lze sestavit různé konfigurace měřicího zařízení za podmínky, že jsou dodrženy ustanovení příslušných norem, je možné kombinovat prvky různých souprav a vytvořit náhradní soupravu, kterou je pak možné využít nejen jako okamžité náhradní řešení při závadě, ale také přechodně po dobu kalibrace standardně používané soupravy nebo některé z jejích komponent. Tato možnost je však velmi individuální a závisí na přístrojovém vybavení konkrétní zkušebny a také na odborných znalostech pracovníků zkušebny.

Nejméně příznivá situace pak nastává v případě, pokud v průběhu zkoušky dojde k destrukci měřicího zařízení nebo některé jeho části. V tomto směru jsou nejvíce exponované ty části měřicí soupravy, které jsou umístěny při výstřelu před ústím hlavně a jsou opakovaně vystavovány tlakovým rázům při každém výstřelu, v horším případě mohou být zasaženy střelou nebo nějakým jejím fragmentem (v případě rozpadu těla střely). Při střeleckých zkouškách nábojů v rámci zkoušek vnitřní balistiky se jedná o optické přerušovače nebo elektromagnetické cívky.

5.1 Výchozí stav

Na zkušebně byly k dispozici optické přerušovače ze soupravy pro měření rychlosti střely E-BAL 95. Měření tlaku mohlo být realizováno mechanickým i piezoelektrickým tlakoměrem. Doba výstřelu byla určována od mechanického nebo elektrického podnětu, konec měření byl dán impulzem piezoelektrického tlakoměru na ústí hlavně. K záznamu signálů

optických přerušovačů, piezoelektrických tlakoměrů a iniciačního podnětu byl primárně určen vícekanálový digitální paměťový osciloskop, pro specifické vývojové úkoly pak různé typy balistických analyzátorů.



Obr. 37. Schéma zapojení výchozí měřicí soupravy.

Na základě posouzení technického vybavení zkušebny v souvislosti s předpisy a postupy pro provádění zkoušek vnitřní balistiky bylo možné konstatovat, že zkušebna je dostatečně vybavena pro provádění měření při zkouškách vnitřní balistiky včetně možnosti náhrady některých komponent v případě závady nebo odeslání na kalibraci.

Tab. 8. Způsob řešení závad komponent měřicí soupravy.

Způsob řešení závad komponent měřicí soupravy	
Závada	Popis řešení závady a dopad na provádění zkoušky
Mechanický tlakoměr	Potřeba výroby nového mechanického tlakoměru pro konkrétní balistické měřidlo. Možnost opakování celé zkoušky s jiným balistickým měřidlem.
Piezoelektrický tlakoměr - komora	Výměna piezoelektrického tlakoměru za jiný, nastavení měřicího zařízení dle parametrů náhradního tlakoměru. Pokračování zkoušky.
Piezoelektrický tlakoměr - ústí hlavně	Pořízení nového piezoelektrického tlakoměru. Ukončení zkoušky.
Nábojový zesilovač	Zajištění opravy nebo pořízení nového nábojového zesilovače. Možnost pokračování zkoušky s vyhodnocovacím zařízením obsahujícím nábojový zesilovač.
Optický přerušovač	Zajištění opravy nebo pořízení nového přerušovače. Ukončení zkoušky. Po přechodnou dobu možno objednat měření u externí organizace.
Integrátor	Vzhledem ke konstrukci možnost okamžité opravy a pokračování zkoušky.

Absence náhradního řešení však byla zjištěna u měření doby výstřelu (k dispozici pouze jeden piezoelektrický tlakoměr vhodného rozsahu) a u měření rychlostí (k dispozici pouze jeden pár optických přerušovačů). V případě závady nebo provádění kalibrace by nebylo možné provést požadovaná měření v režii zkušebny a bylo by nutné zkoušku odložit nebo objednat měření u externí organizace.

Pro zajištění možnosti úplné náhrady a tím provedení měření při nedostupnosti kteréhokoliv prvku měřicí soupravy by bylo nutné rozšířit vybavení zkušebny minimálně o další pár optických přerušovačů a piezoelektrický tlakoměr. Z finančního pohledu by to znamenalo investici v jednotkách stovek tisíc korun.

Dalším možným řešením by bylo vybavení zkušebny zcela jiným systémem pro měření rychlosti a to buď dopplerovským radarem, nebo elektromagnetickými cívkami. Pořízení pouze základní verze dopplerovského radaru (omezení maximální měřené rychlosti, omezený vyzařovaný výkon antény a tím i dosah měření) a piezoelektrického tlakoměru by znamenalo investici více jak jeden milion korun.

Rozšířit zkušebnu o možnost měřit rychlost střely elektromagnetickými cívkami by sice znamenalo jejich vývoj, výrobu a odzkoušení, nezbytná investice by se však pohybovala v jednotkách desítek tisíc korun. Následná výroba každé další cívkky by pak znamenala investici ve výši pouze jednotek tisíc korun.

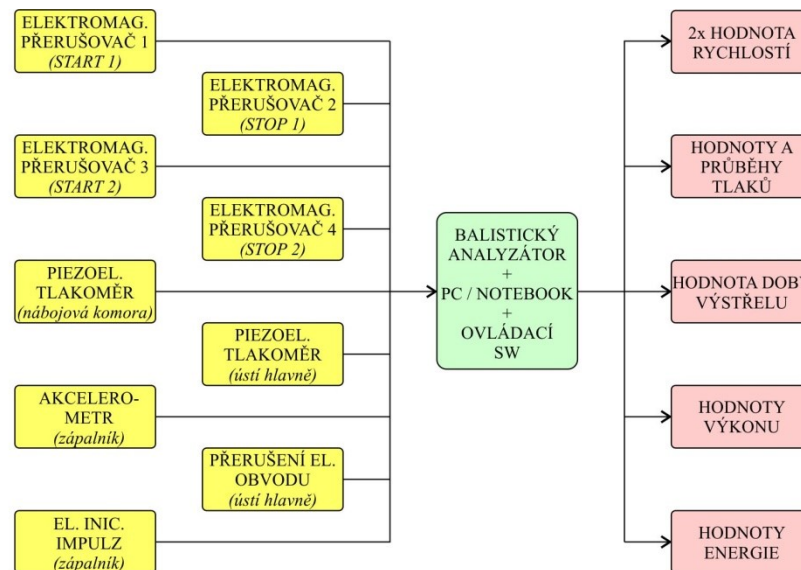
5.2 Návrh řešení

Navrhované řešení reaguje na zjištěnou vybavenost zkušebny a nezbytnou kompatibilitu jednotlivých prvků vhodných pro sestavu měřicího zařízení a zavádí měření rychlosti střely pomocí elektromagnetických cívek a měření doby výstřelu pomocí registrace přerušování vodivého spoje.

Aplikací navrhovaného řešení bude možné po realizaci výroby elektromagnetických cívek a obvodu pro registraci přerušování vodivého spoje (doplnění chybějících prvků) sestavit další nezávislou měřicí soupravu pro zkoušky vnitřní balistiky nábojů.

Návrh měřicího zařízení vychází z technických možností zkušebny a je zpracován primárně pro zkoušky nábojů 20x102 mm. Náboje 20x102 mm jsou jednotné náboje ráže 20mm, které jsou zkompletovány ze střely, nábojnice, elektrické zápalky a výmetné náplně. Iniciace probíhá elektrickým impulzem 160 V / 500 μ s. Důvodem byla možnost následného

ověření celé soupravy reálnou střelbou z balistické zbraně a porovnání výsledků měření hodnoty rychlosti s profesionálním zařízením.



Obr. 38. Schéma zapojení navrhované měřicí soupravy.

Koncepce zpracovaného návrhu však umožňuje provedení zkoušek nábojů i jiných ráží a plně pokrývá požadavky na měření prováděné při zkouškách vnitřní balistiky.

Využitím integrovaných nábojových zesilovačů balistického analyzátoru se zjednodušuje celé zapojení a lze vypustit některé prvky nezbytné pro funkci původní měřicí soupravy. Tím se snižují náklady na kalibraci přístrojů, zvyšuje se přesnost měření a zejména se snižuje riziko závady (méně prvků měřicí soupravy → méně možností pro vznik chyby).

Také použití elektromagnetických cívek pro indikaci průletu střely s sebou nese (kromě nízkých výrobních nákladů) několik dalších výhod. Při pořízení např. čtyř kusů cívek je možné stanovit rychlost střely v různých vzdálenostech od ústí hlavně, což se využívá zejména při vývojových úkolech nebo při výrobě svědečných nábojů. V rámci střeleckých zkoušek nábojů, kdy se používá pouze jeden pár přerušovačů (měří se rychlost střely pouze v jedné určité vzdálenosti od ústí hlavně), lze zbývající dvě cívky mít jako záložní pro případ závady. Po výměně vadné cívky „kus za kus“ pak měření pokračuje stejnou metodou bez nutnosti měnit nebo přestavovat některé prvky použité měřicí soupravy. Při nevratném poškození elektromagnetické cívky (např. při výstřelu nebo nehodou při přepravě a manipulaci) je materiálově, finančně i časově snadné realizovat výrobu nové cívky.

Nezávisle na elektronickém měření rychlosti střely, tlaku prachových plynů a doby výstřelu bude probíhat vyhodnocení maximálního tlaku pomocí tlakoměrných válečků (crusher).

5.3 Sestava měřicího zařízení

Pro střeleckou zkoušku byla určena pracovní tlakoměrná balistická zbraň umožňující střelbu nábojů 20x102 mm s elektrickou iniciací. Balistické měřidlo bylo sestaveno z balistické hlavě v. č. H. 1706 a lůžka v. č. L. 399 a pevně uchyceno ke střelecké stoličce.



Obr. 39. Sestavené balistické měřidlo.

Po sestavení balistického měřidla byla provedena (kromě vizuální kontroly) kontrola správného sestavení závěrového mechanismu uzamykacími kalibry a kontrola vývrtu hlavně propadacím kalibrem. Přesný popis kontroly balistické zbraně před střelbou je vždy popsán v příručce pro provoz a údržbu příslušné balistické zbraně.



Obr. 40. Vazba balistická hlaveň - lůžko.

Balistické parametry měřidla se ověřují střelbou svědečnými náboji až před střelbou zkoušených vzorků.

Pro iniciaci náboje byla balistická zbraň připojena k odpalovacímu zařízení generujícímu předepsaný elektrický impulz 160 V / 500 μ s.

5.3.1 Měření tlaku

Každá tlakoměrná hlaveň má v souladu s příslušnými normami vyrobeny montážní otvory pro umístění tlakoměrů (tzv. odběrná místa). Pro měření tlaku bude instalován piezoelektrický i mechanický tlakoměr a v rámci ověření zkušební soupravy bude provedeno měření tlaku oběma způsoby zároveň. Princip jednotlivých metod měření tlaku (crusher / piezo) byl popsán v kapitolách 4.2.1 a 4.2.2.

Mechanický tlakoměr je vždy výrobně svázán s konkrétní balistickou zbraní a nelze jej použít pro měření tlaku v jiném balistickém měřidle (předepsáno návodem k obsluze). Měření pomocí mechanického tlakoměru bude dle (5) stanovena maximální hodnota tlaku prachových plynů pro každý výstřel. Z hodnot tlaku prachových plynů naměřených při střelbě svědečných nábojů bude dle (1) určena hodnota *ODP*. Pro měření tlaku metodou crusher bude použit mechanický tlakoměr v. č. H. 1706.



Obr. 41. Instalovaný mechanický tlakoměr.

Použití piezoelektrického tlakoměru je více univerzální. Jeden typ piezoelektrického tlakoměru lze použít v různých hlavních různých ráží. Obvykle jsou typy tlakoměrů pro různé ráže (a tím i rozsahy tlaků) stanoveny v normách a balistická hlaveň je již z výroby vyba-

vena patřičnými odběrnými místy. Měřením pomocí piezoelektrického tlakoměru lze stanovit nejen maximální tlak prachových plynů, ale je možné získat také informace o časovém průběhu tlaku. Pro měření tlaku metodou piezo bude použit piezoelektrický tlakoměr KISTLER typ 6215.



Obr. 42. Instalovaný piezoelektrický tlakoměr.

Výstup piezoelektrického tlakoměru bude zapojen do vstupu nábojového zesilovače, který je součástí balistického analyzátoru. Měřením pomocí piezoelektrického tlakoměru bude určena maximální hodnota tlaku a časová závislost tlaku prachových plynů.

Výstupem měření bude hodnota maximálního tlaku získaná pomocí mechanického tlakoměru a hodnota maximálního tlaku a časové závislosti tlaku získaná pomocí piezoelektrického tlakoměru.

K zaslepení otvoru u nevyužitých odběrných míst se použije speciální krytka (ucpávka), která je také výrobně svázána s konkrétní balistickou zbraní a typem odběrného místa.

5.3.2 Měření rychlosti střely

Měření rychlosti střely bude realizováno pomocí elektromagnetických cívek. Princip měření je uveden v kapitole 4.3.2., výroba vlastních cívek je popsána v příloze II.

Měření rychlosti střely bude provedeno na měřicí bázi 10 m, střed této báze bude ve vzdálenosti 10 m od ústí hlavně. To znamená, že přerušovací cívka START bude umístěna ve vzdálenosti 5 m od ústí hlavně a přerušovací cívka STOP bude 10 m od cívky START ve směru střelby.

Napájení elektromagnetických cívek bude (provizorně) řešeno použitím laboratorních zdrojů. Každá cívka bude mít svůj napájecí zdroj s nastaveným napájecím proudem 1 A.



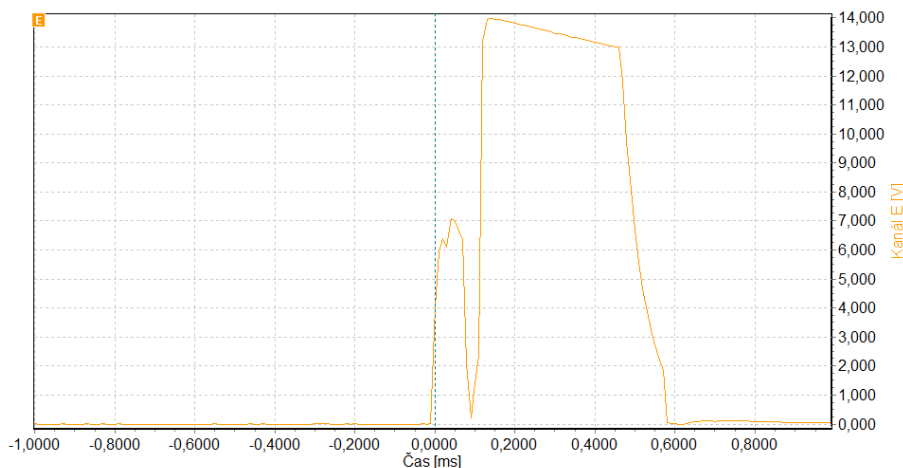
Obr. 43. Elektromagnetická cívka se stojanem.

Výstupem měření bude hodnota rychlosti střely v_{10} ve vzdálenosti 10 m od ústí hlavně. Z hodnot rychlostí střel naměřených při střelbě svědečných nábojů bude dle (3) určena hodnota *ODV*.

5.3.3 Měření doby výstřelu

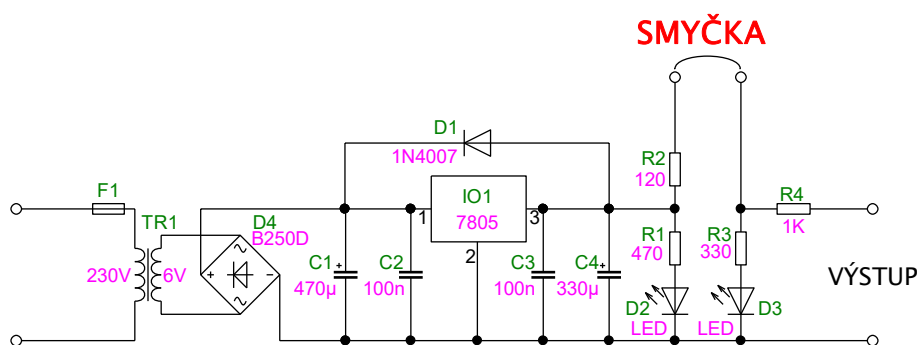
Měření doby výstřelu bude založeno na sledování přerušení vodivého spoje. Doba výstřelu je časový interval ohraničený počátkem iniciačního podnětu a okamžikem, kdy dno střely opustí rovinu ústí hlavně.

Jako iniciační podnět slouží elektrický impulz 160 V / 500 μ s. Počátek tohoto impulzu bude zároveň počátek měření doby výstřelu.



Obr. 44. Příklad průběhu iniciačního impulsu na zápalce.

K balistické hlavni v těsné blízkosti ústí se provede uchycení speciální mechanické konstrukce, která umožní izolované upevnění vodiče a jeho vedení kolmo na osu hlavně ve vzdálenosti přesně jedné délky střely před ústím hlavně. Vodič bude připojen do elektrického obvodu. Mechanické přerušení vodiče střelou při jejím průletu vyvolá změnu napětí na výstupu elektrického obvodu.



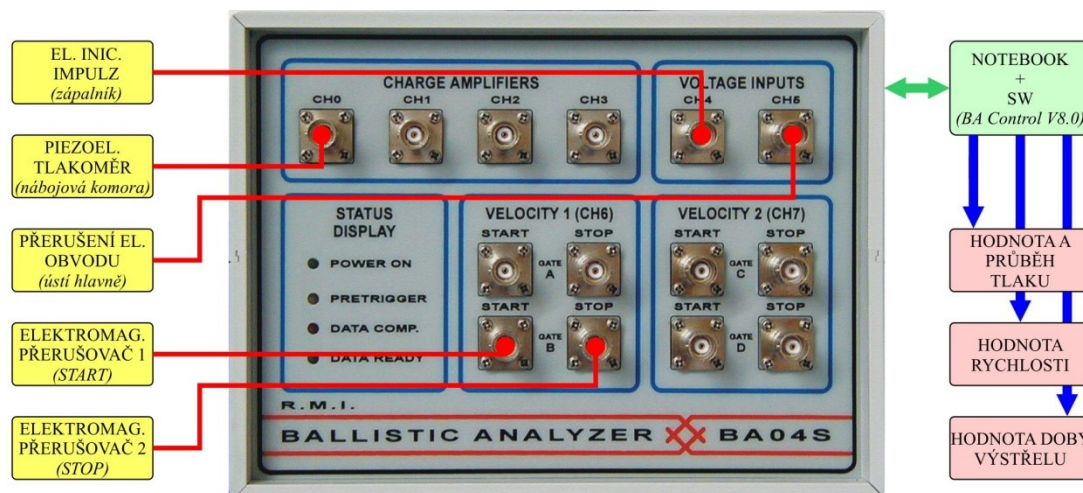
Obr. 45. Schéma zapojení ústového senzoru průletu střely.

Časový rozdíl mezi počátkem iniciačního impulsu a změnou napětí při přerušení vodiče pak bude určovat dobu výstřelu t_v .

5.3.4 Záznamové a vyhodnocovací zařízení

Pro záznam a analýzu jednotlivých signálů bude použit balistický analyzátor BA04S. Balistický analyzátor je speciální měřicí přístroj vybavený dostatečným počtem vstupních kanálů různých typů pro provedení zkoušek nejen nábojů, ale také prachových náplní, pyropatron, raketových motorů nebo např. i iniciátorů pro airbagy do automobilů. Balistický analyzátor je kompletně ovládán prostřednictvím počítače aplikací BA Control.

Aplikace BA Control umožňuje nastavení parametrů jednotlivých vstupních kanálů (rozsah, citlivost, vzorkování, doba záznamu, převodní konstanty a další potřebné konfigurační parametry), ovládání funkcí analyzátoru, provedení analýzy a třídění naměřených hodnot. Také nabízí obsáhlou knihovnu matematických funkcí pro dodatečné výpočty.



Obr. 46. Zapojení vstupů balistického analyzátoru BA04S.

Při zkoušce bude využit jeden vstup s nábojovým zesilovačem pro připojení piezoelektrického tlakoměru, jeden napěťový vstup pro záznam iniciačního elektrického impulzu, druhý napěťový vstup pro registraci změny napětí na výstupu úst'ového senzoru průletu střely a jeden párový vstup pro měření rychlosti střely, ke kterému budou připojeny elektromagnetické cívký.

Výstupem měření při využití balistického analyzátoru bude hodnota rychlosti střely v_{10} získaná měřením pomocí elektromagnetických cívek, hodnota maximálního tlaku prachových plynů P_{PIEZO} při výstřelu měřená piezoelektrickým tlakoměrem a hodnota doby výstřelu t_v určená časovým intervalem od počátku elektrického podnětu do okamžiku registrace změny napětí na výstupu úst'ového senzoru průletu střely.

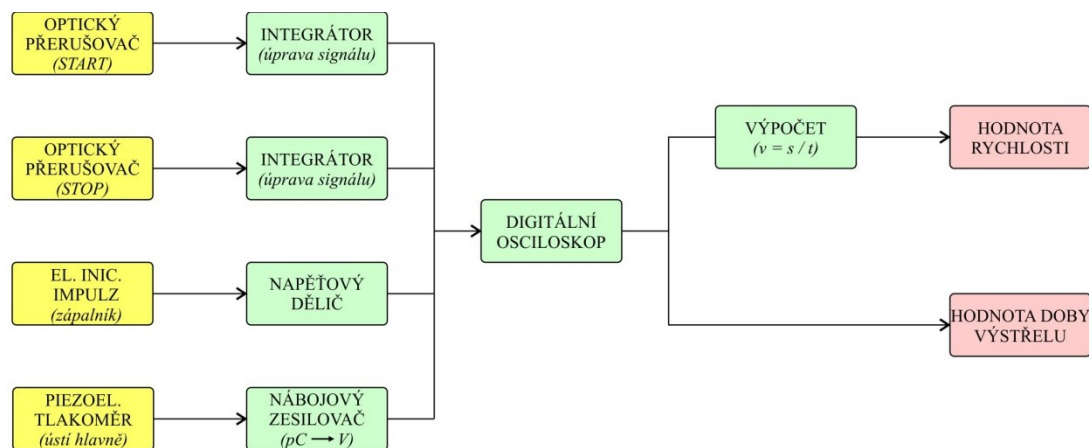
5.3.5 Porovnávací měření rychlosti a doby výstřelu

Porovnávací měření rychlosti bude realizováno pomocí optických přerušovačů ze soupravy E-BAL 95 připojených k digitálnímu osciloskopu YOKOGAWA DL708.

Pro měření rychlosti střely bude použita měřicí báze 10,2 m, střed této báze bude ve vzdálenosti 10 m od ústí hlavně. To znamená, že optický přerušovač START bude umístěn ve vzdálenosti 4,9 m od ústí hlavně a optický přerušovač STOP bude 10,2 m od přerušovače START ve směru střelby.

Prvotním výstupem měření bude doba t , za kterou střela překoná měřicí bázi. Hodnota průměrné rychlosti, kterou se střela pohybovala v měřicí bázi, se určí dle vztahu (6), kde t je doba průletu střely mezi optickými přerušovači START a STOP a s je vzájemná vzdálenost přerušovačů (měřicí báze, $s = 10,2$ m). Střed měřicí báze bude ve vzdálenosti 10 m před ústím hlavně. Uvedeným způsobem se dle (6) určí průměrná hodnota rychlosti střely ve vzdálenosti 10 m od ústí hlavně, tzv. rychlost v_{10} .

Porovnávací měření doby výstřelu bude provedeno na základě stanovení časového intervalu mezi počátkem iniciačního impulsu $160\text{V} / 500 \mu\text{s}$ a registrací nárůstu tlaku piezoelektrickým tlakoměrem na ústí hlavně. Měření časového intervalu bude provedeno digitálním osciloskopem YOKOGAWA DL708.



Obr. 47. Schéma zapojení porovnávací měřicí soupravy.

Výstupem měření bude hodnota rychlosti střely v_{10} získaná měřením pomocí optických přerušovačů a hodnota doby výstřelu t_v určená časovým intervalem od počátku elektrického podnětu do okamžiku registrace nárůstu tlaku piezoelektrickým tlakoměrem na ústí hlavně.

Navrhované řešení maximálně využívá technické vybavení zkušebny. Rozšířením vybavení zkušebny o některé prvky vznikne další plnohodnotná měřicí souprava, která umožní provádění střeleckých zkoušek nábojů v celém rozsahu.

Zároveň vznikne možnost provedení měření náhradním způsobem v případě závady některého z prvků soupravy a předejde se tak zbytečným ztrátám z důvodu nedokončení zkoušky a nutnosti objednat měření u externí organizace.

6 PROVEDENÍ MĚŘENÍ

Pro každý druh zkoušky je na zkušebně zpracována metodika zkoušky. Tato metodika stanovuje přesný postup provedení zkoušky (např. předmět zkoušky, dobu a teplotu teploty nábojů, počet zkoušených ran, režim střelby) v souladu se souvisejícími normami a provozním řádem zkušebny. Postup zároveň vychází z návodů k obsluze jednotlivých částí měřicí soupravy a obsahuje přesný a úplný popis nastavení rozsahů vstupů, vzorkovací frekvence, konstant a dalších parametrů měřicí soupravy.

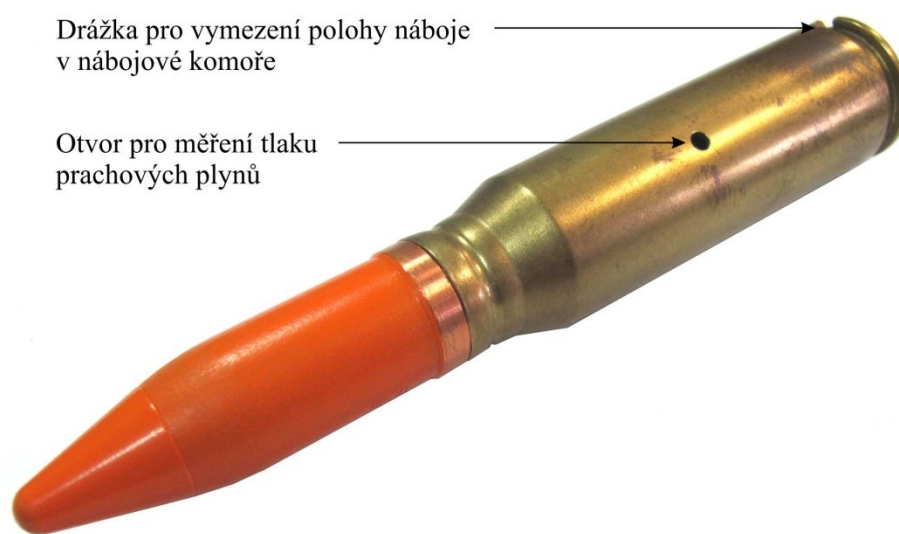
Pro provedení zkoušky byl zpracován postup zkoušky dle interních předpisů zkušebny, kde byla střelecká zkouška provedena. Hlavní body postupu jsou uvedeny v příloze č. III.

6.1 Příprava zkoušky

Před střeleckou zkouškou je nezbytné připravit veškerý materiál nezbytný k provedení zkoušky. V přípravné fázi je nutné připravit zkoušené náboje a sestavit a ověřit měřicí soupravu pro daný druh zkoušky před zahájením střelby.

6.1.1 Příprava zkoušených nábojů

Před zahájením střeleckých zkoušek vnitřní balistiky je nutné provést úpravu nábojů pro měření tlaku. Úprava spočívá ve vyseknutí drážky ve dnu nábojnice pro vymezení polohy náboje a ve vyvrtání otvoru patřičného průměru v nábojnici přesně proti odběrným místům pro mechanický a piezoelektrický tlakoměr.



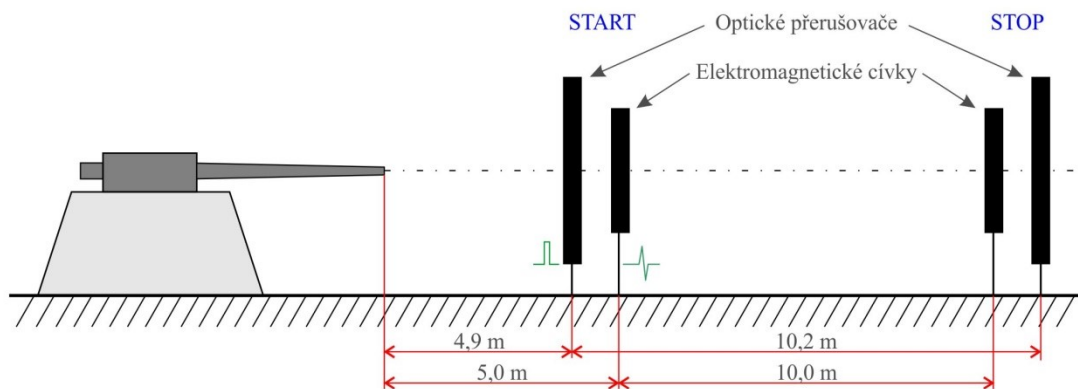
Obr. 48. Úprava náboje pro měření tlaku prachových plynů.

Mechanické úpravy se provádějí ve speciálním vrtacím přípravku, který přesně vymezuje polohu drážky a otvorů v nábojnici, zabezpečuje kolmé vedení vrtáku k povrchu nábojnice v místě vrtání a chrání obsluhu v případě nechtěné iniciace náboje.

Pro zkoušku byly připraveny celkem 3 skupiny nábojů ráže 20x102 mm se zápalkou reagující na elektrický podnět. První skupina nábojů 20x102 TP byla určena pro ověření funkce měřicího zařízení, druhou skupinu tvořily svědečné náboje 20x102 REF v počtu 11 kusů (1 kus jako náhradní), třetí skupiny tvořily zkoušené náboje 20x102 TP v počtu 11 kusů (1 kus jako náhradní) pro ověření vnitrobalistických parametrů náboje.

6.1.2 Příprava a kontrola měřicího zařízení

Před střeleckou zkouškou byla provedena kompletace zkušebního a měřicího zařízení. Kompletace spočívala v sestavení balistické zbraně včetně elektrického iniciačního zařízení, sestavy a montáže komorových tlakoměrů, uchycení vedení pro měřicí smyčku a ustavení elektromagnetických cívek do správných výškových a délkových pozic vůči hlavni, připojení napájecích zdrojů, sestavy vyhodnocovacího zařízení a vzájemného propojení jednotlivých prvků zkušebního a měřicího zařízení pomocí předepsané kabeláže.



Obr. 49. Vzájemná poloha balistické zbraně, optických přerušovačů a cívek.

Následně byla zkompletována kontrolní souprava pro porovnání měření rychlosti střely a doby výstřelu složená z piezoelektrického tlakoměru na ústí hlavně, optických přerušovačů, digitálního osciloskopu, nezbytných prvků pro úpravu signálů (napěťový dělič, nábojový zesilovač, integrátor) a předepsané kabeláže.

Po vzájemném propojení jednotlivých prvků měřicích souprav bylo provedeno nastavení parametrů vyhodnocovacích zařízení. Popis nastavení je uveden v příloze č. IV.

Jako synchronizační okamžik pro jednotlivé měřicí soupravy byl zvolen počátek elektrického inicializačního impulsu 160 V / 500 μ s.

Pro měření tlaku prachových plynů v komoře pomocí mechanického tlakoměru byly v souladu s ČOS 130506 připraveny tlakoměrné válečky s vhodným předtlakem. Předtlak válečků byl volen tak, aby tabulková hodnota tlaku před výstřelem byla přibližně o 30 MPa menší než předpokládaná hodnota tlaku prachových plynů při výstřelu. Příprava tlakoměrných válečků spočívala ve změření výšky každého jednotlivého válečku mikrometrem a stanovení tabulkového tlaku pomocí tarážní tabulky. Výšky připravených válečků pro celou skupinu ran se vzájemně nesměly lišit o více než 0,04 mm.

V rámci přípravy střelecké zkoušky je vhodné ověřit správnou funkci jednotlivých částí měřicí soupravy po jejím sestavení. Často je tak možné odhalit relativně banální chyby, např. zkrat v měřicí kabeláži, nesprávné nastavení rozsahu vstupů atd., které ovšem mohou způsobit problémy v provedení zkoušky. Takové závady většinou nevedou k poškození zkušební soupravy nebo k ohrožení bezpečnosti pracovníků. Důsledkem takových chyb však může být i výrazné navýšení ceny (režie pracovníků zkušebny, amortizace balistické zbraně, tlakoměrů, cena a temperace nábojů) z důvodu nutnosti opakování zkoušky nebo její dílčí části. Proto byly ještě před zahájením střelecké zkoušky provedeny následující kontroly:

- kontrola napájecí a měřicí kabeláže,
- kontrola dotažení tlakoměrů,
- kontrola zaslepení nevyužitých odběrů pro měření tlaku prachových plynů,
- kontrola správného propojení jednotlivých částí měřicí soupravy,
- kontrola nastavení napájení elektromagnetických cívek,
- kontrola nastavení parametrů v ovládacím SW balistického analyzátoru,
- kontrola nastavení časové základny a rozsahu vstupů digitálního osciloskopu.

Kontrola kabeláže spočívá v provedení vzhledové kontroly jednotlivých kabelů a konektorů včetně kontroly ohmického odporu jednotlivých propojovacích vodičů a provádí se ještě před sestavou měřicího zařízení.

6.2 Průběh střelecké zkoušky

Střelecká zkouška byla provedena v souladu s vypracovaným postupem dle přílohy č. III za dodržování bezpečnostních a legislativních předpisů.

Před zahájením střelecké části byla provedena kontrola podmínek okolního prostředí pro provádění zkoušky.

Tab. 9. Podmínky okolního prostředí.

Podmínky okolního prostředí.			
Teplota prostředí [$^{\circ}\text{C}$]		Relativní vlhkost [%]	
Předepsaná	Naměřená	Předepsaná	Naměřená
21,0±3,0	22,0	40,0 až 60,0	59,5

Následně bylo provedeno ověření správné funkce měřicího zařízení střelbou 3 pokusných nábojů 20x102 TP. Získané výsledky nebyly zahrnuty do hodnocení zkoušky.

V rámci zkoušky bylo provedeno měření rychlosti střely a doby výstřelu dvěma vzájemně nezávislými měřicími soupravami. Každá souprava byla vybavena rozdílnými senzory pro registraci průletu střely měřicí bází a pro stanovení doby výstřelu a používala odlišné vyhodnocovací zařízení.

Současně byla při každém výstřelu měřena maximální hodnota tlaku prachových plynů mechanickým a piezoelektrickým tlakoměrem.

6.2.1 Stanovení ODP a ODV

V první fázi střelecké zkoušky byla vystřelena skupina deseti ran svědečnými náboji 20x102 REF pro stanovení opravy dne pro rychlost a pro tlak.

Při stanovení ODP a ODV se vycházelo z hodnot uvedených ve výnosu o vnitrobalistických charakteristikách svědečného náboje.

Tab. 10. Vnitrobalistické charakteristiky 20x102 REF. Vlastní zpracování dle [16].

Vnitrobalistické charakteristiky 20x102 REF				
$v_{10STŘ}$ [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]	$v_{23,8STŘ}$ [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]	SDv [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]	$P_{CRSTŘ}$ [MPa]	t_v [ms]
1038,0	1029,0	< 9,1	345,3	≤ 3,500

Při zkoušce byla soupravou s BA04S u každého náboje měřena rychlost střely v_{10} pomocí elektromagnetických cívek, maximální tlak prachových plynů P_{PIEZO} v komoře pomocí

piezoelektrického tlakoměru KISTLER 6215 a doba výstřelu t_v od počátku elektrického iniciačního impulzu do okamžiku registrace změny napětí na výstupu úst'ového senzoru průletu střely.

Porovnávací soupravou s DL708 byla určena rychlost střely v_{10} a měřena doba výstřelu t_v od počátku elektrického iniciačního impulzu do okamžiku registrace nárůstu tlaku piezoelektrickým tlakoměrem KISTLER 6215 na ústí hlavně. Úprava signálu piezoelektrického tlakoměru byla provedena nábojovým zesilovačem KISTLER 5011. Rychlost střely v_{10} byla stanovena výpočtem dle (6). Časový interval t , za který střela překoná měřicí bázi s , byl měřen pomocí optických přerušovačů připojených k digitálnímu osciloskopu.

Tab. 11. Naměřené hodnoty 20x102 REF.

Naměřené hodnoty 20x102 REF							
Pořadové číslo výstřelu	BA04S			DL708			Crusher
	v_{10} [m.s ⁻¹]	P_{PIEZO} [MPa]	t_v [ms]	t [ms]	v_{10} [m.s ⁻¹]	t_v [ms]	P_{CR} [MPa]
1	1041,9	383,9	2,657	9,794	1041,5	2,663	339,7
2	1046,1	395,4	2,609	9,749	1046,3	2,612	349,7
3	1044,6	389,2	2,557	9,765	1044,5	2,562	344,4
4	1041,6	384,0	2,651	9,791	1041,8	2,655	339,7
5	1047,7	405,3	2,530	9,735	1047,8	2,534	361,4
6	1041,8	387,8	2,549	9,787	1042,2	2,555	343,1
7	1046,1	394,2	2,565	9,745	1046,7	2,571	344,4
8	1042,5	389,9	2,646	9,783	1042,6	2,650	339,7
9	1049,6	407,8	2,611	9,714	1050,0	2,616	348,3
10	1041,4	387,9	2,644	9,796	1041,3	2,650	339,7
Průměr	1044,3	392,5	2,602	---	1044,5	2,607	345,0
Max.	1049,6	407,8	2,657	---	1050,0	2,663	361,4
Min.	1041,4	383,9	2,530	---	1041,3	2,534	339,7
SD	2,9	8,3	0,048	---	3,1	0,048	6,8
Rozptyl	8,2	23,9	0,127	---	8,7	0,129	21,7

Pro stanovení *ODV* byly za rozhodující výsledky považovány hodnoty rychlosti získané měřicí soupravou s BA04S a elektromagnetickými cívkami.

Hodnoty pro stanovení *ODP* byly získány metodou crusher, při každém výstřelu byl měřen maximální tlak prachových plynů v komoře hlavně pomocí mechanického tlakoměru. Pro zkoušku bylo připraveno deset kusů tlakoměrných válečků $\phi 4,5 \times 6$ mm s předtlakem 310 MPa.

Tab. 12. Vyhodnocení tlakoměrných válečků u 20x102 REF.

Naměřené hodnoty 20x102 REF – mechanický tlakoměr							
Pořadové číslo	P_0 [MPa]	h_1 [mm]	P_1 [MPa]	$P_0 - P_1$ [MPa]	h_2 [mm]	P_2 [MPa]	P_{CR} [MPa]
1	310,0	4,37	310,1	-0,1	4,12	339,8	339,7
2	310,0	4,37	310,1	-0,1	4,04	349,8	349,7
3	310,0	4,37	310,1	-0,1	4,08	344,5	344,4
4	310,0	4,37	310,1	-0,1	4,12	339,8	339,7
5	310,0	4,37	310,1	-0,1	3,95	361,5	361,4
6	310,0	4,37	310,1	-0,1	4,09	343,2	343,1
7	310,0	4,37	310,1	-0,1	4,08	344,5	344,4
8	310,0	4,38	308,9	1,1	4,13	338,6	339,7
9	310,0	4,38	308,9	1,1	4,06	347,2	348,3
10	310,0	4,38	308,9	1,1	4,13	338,6	339,7

Ze středních hodnot rychlosti střely a maximálního tlaku získaných střeleckou zkouškou svědečných nábojů 20x102 REF bylo provedeno stanovení *ODP* a *ODV*:

$$ODP = P_{SV} - P_{STR} = 345,3 - 345,0 = +0,3 \text{ MPa}$$

$$ODV = v_{SV} - v_{STR} = 1038,0 - 1044,3 = -6,3 \text{ m.s}^{-1}$$

Oprava tlaku a rychlosti na teplotu prachu nebyla prováděna, protože náboje byly temperovány na teplotu prostředí.

6.2.2 Zkoušené náboje

U skupiny deseti nábojů 20x102 TP byla provedena střelecká zkouška. Při zkoušce byly měřeny stejné veličiny jako při zkoušce referenčních nábojů pro stanovení *ODP* a *ODV*.

Soupravou s BA04S byla měřena rychlost střely v_{10} , maximální tlak prachových plynů v komoře P_{PIEZO} a doba výstřelu t_v .

Soupravou s digitálním osciloskopem YOKOGAWA DL708 bylo opět provedeno porovnávací měření rychlosti střely v_{10} a doby výstřelu t_v .

Tab. 13. Naměřené hodnoty 20x102 TP.

Naměřené hodnoty 20x102 TP							
Pořadové číslo výstřelu	BA04S			DL708			Crusher
	v_{10} [m.s ⁻¹]	P_{PIEZO} [MPa]	t_v [ms]	t [ms]	v_{10} [m.s ⁻¹]	t_v [ms]	P_{CR} [MPa]
1	1048,3	395,4	3,034	9,729	1048,4	3,037	341,3
2	1048,6	394,6	3,055	9,728	1048,5	3,061	341,2
3	1050,4	399,0	3,057	9,706	1050,9	3,062	340,2
4	1052,1	404,7	3,079	9,689	1052,7	3,085	350,2
5	1046,1	390,2	3,067	9,749	1046,3	3,074	336,4
6	1050,6	399,8	3,075	9,706	1050,9	3,080	346,3
7	1041,2	380,2	3,124	9,798	1041,0	3,130	329,8
8	1042,5	385,1	3,065	9,780	1042,9	3,072	332,1
9	1049,5	396,3	3,041	9,702	1051,3	3,044	351,2
10	1042,2	385,0	3,135	9,781	1042,8	3,141	336,4
Průměr	1047,2	393,0	3,073	---	1047,6	3,079	340,6
Max.	1052,1	404,7	3,135	---	1052,7	3,141	351,2
Min.	1041,2	380,2	3,034	---	1041,0	3,037	329,4
SD	3,9	7,7	0,033	---	4,1	0,034	7,3
Rozptyl	10,9	24,5	0,101	---	11,7	0,104	21,8

Při každém výstřelu byl také měřen maximální tlak prachových plynů v komoře hlavně pomocí mechanického tlakoměru (metoda crusher). Pro zkoušku bylo připraveno deset kusů tlakoměrných válečků $\phi 4,5 \times 6$ mm s předtlakem 300 MPa.

Tab. 14. Vyhodnocení tlakoměrných válečků u 20x102 TP.

Naměřené hodnoty 20x102 TP – mechanický tlakoměr							
Pořadové číslo	P_0 [MPa]	h_1 [mm]	P_1 [MPa]	$P_0 - P_1$ [MPa]	h_2 [mm]	P_2 [MPa]	P_{CR} [MPa]
1	300,0	4,44	301,9	-1,9	4,09	343,2	341,3
2	300,0	4,45	300,9	-0,9	4,10	342,1	341,2
3	300,0	4,44	301,9	-1,9	4,10	342,1	340,2
4	300,0	4,45	300,9	-0,9	4,03	351,1	350,2
5	300,0	4,46	299,9	0,1	4,15	336,3	336,4
6	300,0	4,45	300,9	-0,9	4,06	347,2	346,3
7	300,0	4,44	301,9	-1,9	4,19	331,7	329,8
8	300,0	4,44	301,9	-1,9	4,17	334,0	332,1
9	300,0	4,46	299,9	0,1	4,03	351,1	351,2
10	300,0	4,46	299,9	0,1	4,15	336,3	336,4

Po vystřelení skupiny deseti zkoušených nábojů byla provedena korekce hodnot rychlosti střely a maximálního tlaku prachových plynů započítáním ODP a ODV .

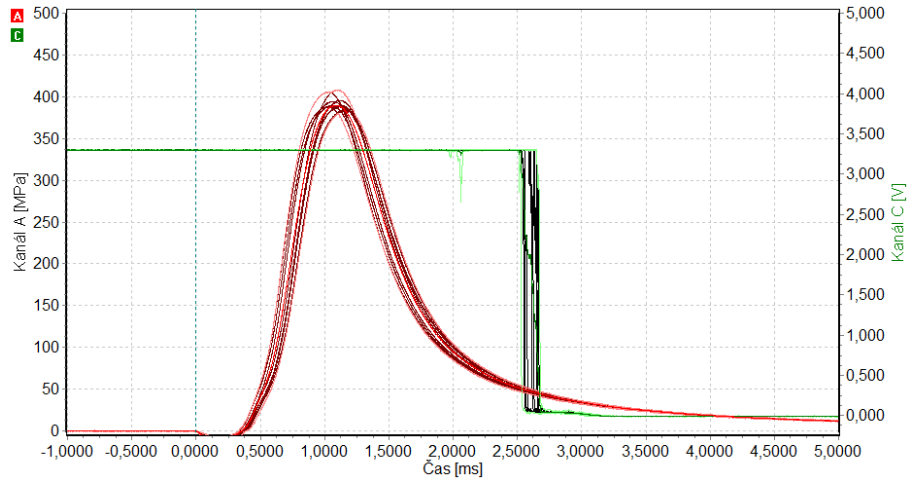
Tab. 15. Vnitrobalistické charakteristiky 20x102 TP s korekcí ODP a ODV .

Vnitrobalistické charakteristiky 20x102 TP s korekcí ODP a ODV					
v_{10STR} [m.s ⁻¹]	ODV [m.s ⁻¹]	v_{10OPR} [m.s ⁻¹]	P_{CRSTR} [MPa]	ODP [MPa]	P_{CROPR} [MPa]
1047,2	- 6,3	1040,9	340,6	+0,3	340,9

Po ukončení střelecké části byla provedena demontáž a nezbytné ošetření jednotlivých částí zkušebního a měřicího zařízení. Při zkoušce bylo vystřeleno celkem 23 nábojů, 3 náboje byly pokusné, 10 nábojů bylo svědečných a 10 nábojů bylo zkoušených.

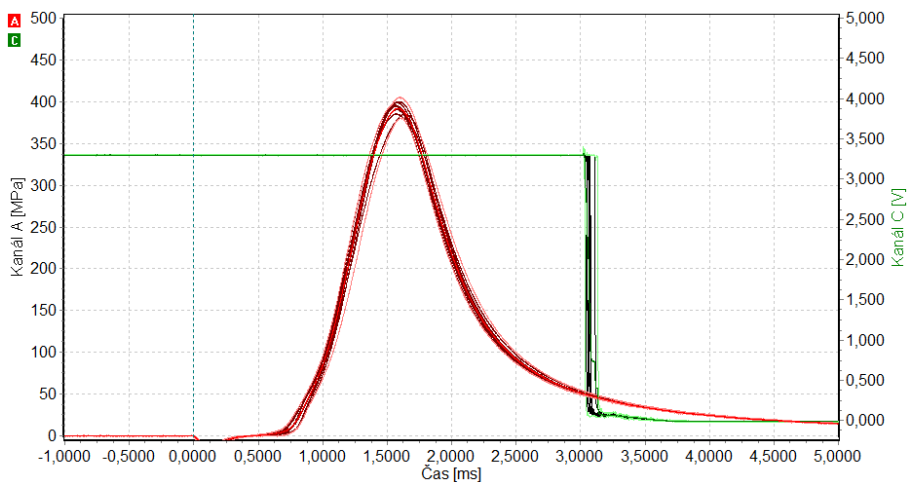
6.3 Výsledky zkoušky

Při střeleckých zkouškách byla měření při střelbě svědečných nábojů 20x102 REF stanovena ODP a ODV. Zároveň byla měřena doba výstřelu a byl zaznamenáván průběh tlaku prachových plynů při výstřelu.



Obr. 50. Průběhy tlaků a měření doby výstřelu u 20x102 REF.

Po střelecké zkoušce svědečných nábojů byla provedena střelba zkoušených nábojů 20x102 TP se současným měřením rychlosti střely, maximálního tlaku prachových plynů v komoře při výstřelu metodou crusher a doby výstřelu. Současně byl prováděn záznam průběhu tlaku prachových plynů.



Obr. 51. Průběhy tlaků a měření doby výstřelu u 20x102 TP.

Na základě zjištěných výsledků lze konstatovat, že vnitrobalistické parametry zkoušeného náboje 20x102 TP odpovídají požadavkům TTD. Měřicí souprava s balistickým analyzáto-

rem BA04S, vyráběnými elektromagnetickými cívkami a úst'ovým senzorem průletu střely pracovala po úvodním nastavení ihned a bez závad.

Tab. 16. Vyhodnocení zkoušky nábojů 20x102 TP.

Vyhodnocení zkoušky nábojů 20x102 TP					
Hodnoty	v_{10OPR} [m.s ⁻¹]	SDv_{10} [m.s ⁻¹]	t_v [ms]	$P_{CROPR+0,84R}$ [MPa]	$t_{vSTŘ}+4SDt_v$ [ms]
Dle TTD	1041,0±15	≤ 12,2	≤ 4,000	≤ 376,0	≤ 4,000
Naměřeno	1040,9	3,9	3,073	358,9	3,205

Rychlost střely a doba výstřelu byla měřena také pomocí další soupravy za účelem porovnání naměřených hodnot a stanovení možnosti vzájemné výměny jednotlivých prvků měřících souprav.

Při střelecké zkoušce bylo provedeno stanovení základních balistických parametrů zkušební náboje. Pro měření rychlosti střely a doby výstřelu byly použity dvě navzájem nezávislé měřící soupravy. Obě soupravy byly po prvotním nastavení plně funkční a pracovaly bez závad.

Měření tlaku prachových plynů piezoelektrickým tlakoměrem bylo realizováno soupravou s balistickým analyzátozem z důvodu možnosti uložení všech průběhů pro případný budoucí rozbor.

Měření tlaku prachových plynů při výstřelu pomocí mechanického tlakoměru bylo provedeno nezávisle na obou soupravách.

7 POROVNÁNÍ MĚŘENÍ

Při experimentálním ověření vnitrobalistických parametrů náboje 20x10 TP byly pro stanovení rychlosti střely a doby výstřelu použity dvě nezávislé měřicí soupravy.

Testovaná souprava byla složena z balistického analyzátoru BA04S, vyráběných elektromagnetických cívek a úst'ového senzoru průletu střely.

Porovnávací souprava byla složena z digitálního osciloskopu YOKOGAWA DL708, profesionálních optických přerušovačů ze soupravy E-BAL 95 a piezoelektrického tlakoměru na ústí hlavně.

Tab. 17. Porovnání hodnot v_{10} a t_v pro 20x102 REF.

Porovnání hodnot v_{10} a t_v pro 20x102 REF						
Pořadové číslo výstřelu	BA04S		DL708		Rozdíl	
	v_{10} [m.s ⁻¹]	t_v [ms]	v_{10} [m.s ⁻¹]	t_v [ms]	Δv_{10} [m.s ⁻¹]	Δt_v [ms]
1	1041,9	2,657	1041,5	2,663	0,4	-0,006
2	1046,1	2,609	1046,3	2,612	-0,2	-0,003
3	1044,6	2,557	1044,5	2,562	0,1	-0,005
4	1041,6	2,651	1041,8	2,655	-0,2	-0,004
5	1047,7	2,530	1047,8	2,534	-0,1	-0,004
6	1041,8	2,549	1042,2	2,555	-0,4	-0,006
7	1046,1	2,565	1046,7	2,571	-0,6	-0,006
8	1042,5	2,646	1042,6	2,650	-0,1	-0,004
9	1049,6	2,611	1050,0	2,616	-0,4	-0,005
10	1041,4	2,644	1041,3	2,650	0,1	-0,006
Průměr	1044,3	2,602	1044,5	2,607	---	---
Max.	1049,6	2,657	1050,0	2,663	---	---
Min.	1041,4	2,530	1041,3	2,534	---	---
SD	2,9	0,048	3,1	0,048	---	---
Rozptyl	8,2	0,127	8,7	0,129	---	---

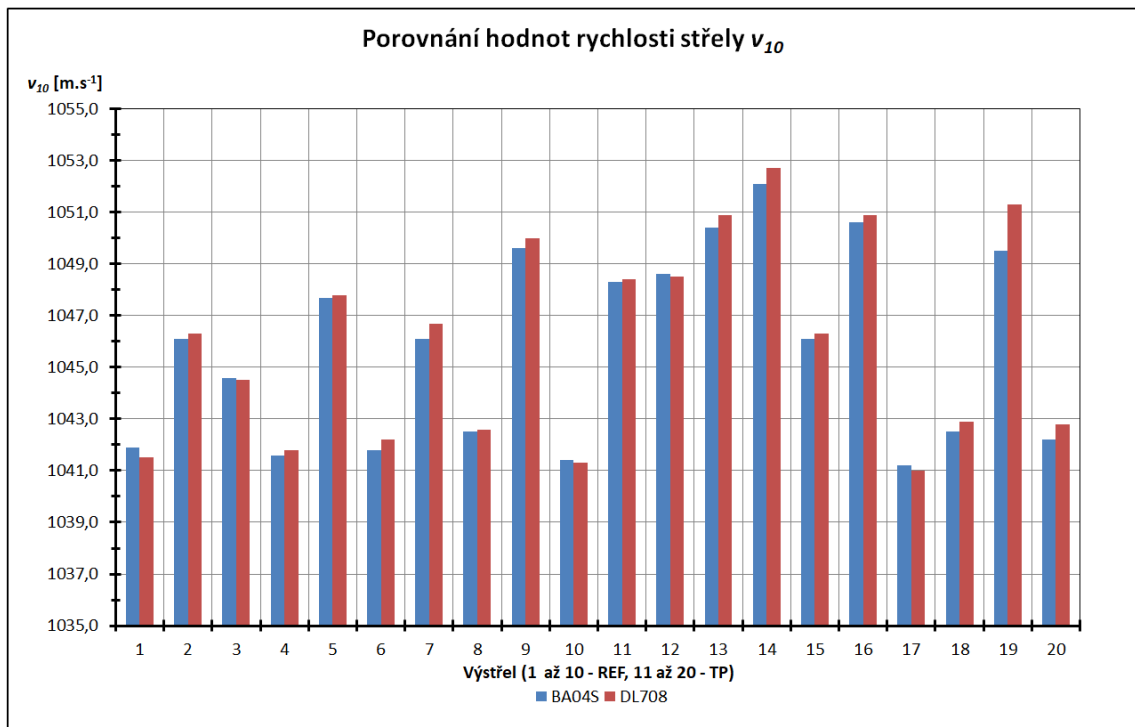
Porovnáním hodnot získaných při střelecké zkoušce náboje 20x102 REF lze konstatovat, že průměrný rozdíl hodnot rychlostí mezi oběma měřicími soupravami je $\Delta v_{10} = 0,2 \text{ m.s}^{-1}$ a průměrný rozdíl ve stanovení doby výstřelu je $\Delta t_v = 0,005 \text{ ms}$.

Tab. 18. Porovnání hodnot v_{10} a t_v pro 20x102 TP.

Porovnání hodnot v_{10} a t_v pro 20x102 TP						
Pořadové číslo výstřelu	BA04S		DL708		Rozdíl	
	v_{10} [m.s ⁻¹]	t_v [ms]	v_{10} [m.s ⁻¹]	t_v [ms]	v_{10} [m.s ⁻¹]	t_v [ms]
1	1048,3	3,034	1048,4	3,037	-0,1	-0,003
2	1048,6	3,055	1048,5	3,061	0,1	-0,006
3	1050,4	3,057	1050,9	3,062	-0,5	-0,005
4	1052,1	3,079	1052,7	3,085	-0,6	-0,006
5	1046,1	3,067	1046,3	3,074	-0,2	-0,007
6	1050,6	3,075	1050,9	3,080	-0,3	-0,005
7	1041,2	3,124	1041,0	3,130	0,2	-0,006
8	1042,5	3,065	1042,9	3,072	-0,4	-0,007
9	1049,5	3,041	1051,3	3,044	-1,8	-0,003
10	1042,2	3,135	1042,8	3,141	-0,6	-0,006
Průměr	1047,2	3,073	1047,6	3,079	---	---
Max.	1052,1	3,135	1052,7	3,141	---	---
Min.	1041,2	3,034	1041,0	3,037	---	---
SD	3,9	0,033	4,1	0,034	---	---
Rozptyl	10,9	0,101	11,7	0,104	---	---

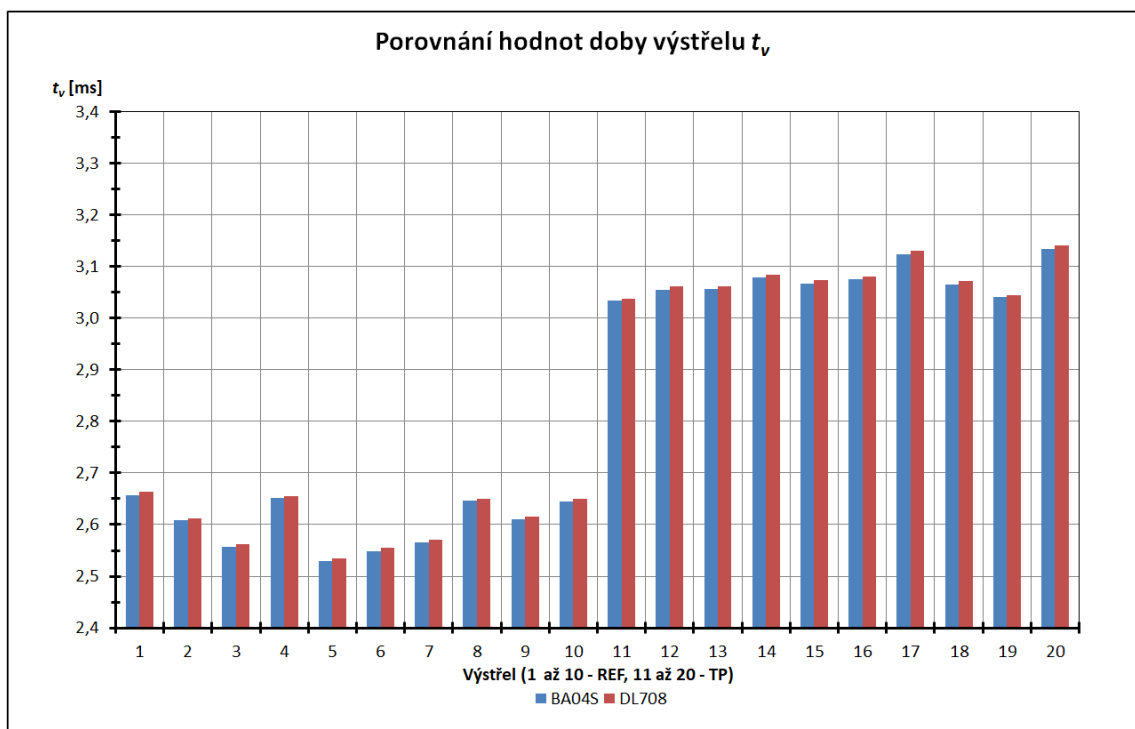
Porovnáním hodnot získaných při střelecké zkoušce náboje 20x102 TP lze konstatovat, že průměrný rozdíl ve stanovení hodnot rychlostí mezi oběma použitými měřicími soupravami je $\Delta v_{10} = 0,4 \text{ m.s}^{-1}$ a průměrný rozdíl ve stanovení doby výstřelu je $\Delta t_v = 0,006 \text{ ms}$.

Porovnáním všech dvaceti hodnot rychlosti v_{10} získaných při střelecké zkoušce lze konstatovat, že průměrný rozdíl ve stanovení rychlosti střely je $\Delta v_{10} = 0,3 \text{ m.s}^{-1}$.



Obr. 52. Grafické porovnání hodnot rychlosti střely.

Porovnáním všech dvaceti hodnot doby výstřelu t_v získaných při střelecké zkoušce lze konstatovat, že průměrný rozdíl ve stanovení doby výstřelu je $\Delta t_v = 0,005$ ms.



Obr. 53. Grafické porovnání hodnot doby výstřelu.

Přesnost měřicího zařízení pro měření rychlosti střely optickými přerušovači musí být dle požadavků ČOS 137701 (Měření rychlosti střel) $\pm 0,1$ % měřené rychlosti, což při rychlosti střely $v_{10} = 1038,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (nominální hodnota rychlosti střely 20x102 REF) odpovídá povolené nepřesnosti $\Delta v_{10} = 1,038 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Průměrný rozdíl v hodnotách rychlostí střel mezi oběma soupravami je $0,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ a je menší než povolená nepřesnost.

Přesnost měřicího zařízení pro měření doby výstřelu musí být dle požadavků ČOS 130506 (Vnitřní balistika) 10^{-5}s , což odpovídá minimálnímu rozlišení $0,010 \text{ ms}$. Průměrný rozdíl v hodnotách doby výstřelu mezi oběma soupravami je $0,005 \text{ ms}$ a je menší než minimální přesnost požadovaná pro použité zařízení. Vzhledem k rozdílům měřených hodnot doby výstřelu u jednotlivých nábojů způsobených konstrukcí náboje, citlivostí zápalky, použitou prachovou náplní apod. je rozdíl vzniklý odlišnými metodami stanovení doby výstřelu zcela zanedbatelný.

Na základě získaných výsledků a provedených porovnání lze konstatovat, že obě metody měření rychlosti střely i obě metody měření doby výstřelu jsou vzájemně nahraditelné a je možné je použít a kombinovat s ostatními druhy měření prováděnými v rámci střeleckých zkoušek vnitřní balistiky.

ZÁVĚR

V dnešní době používá střelné zbraně včetně nábojů řada lidí a nemusí se jednat pouze o příslušníky ozbrojených složek, ale také o zaměstnance soukromých bezpečnostních služeb nebo např. i sportovní střelce. Všichni tito uživatelé automaticky používají náboj jako prvek, který přesně plní svůj účel a od kterého očekávají správnou a z hlediska obsluhy i bezpečnou funkci.

Velmi často je význam náboje spojován se střelbou na cíl. Tento účel ale nemusí primárně plnit všechny náboje. Některé náboje jsou vyráběny jako etalony s přesně definovanými balistickými parametry pro zkoušky jiných nábojů, pro zátěžové zkoušky při výrobě hlavní i sestavených zbraní nebo pro zkoušky balistické ochrany.

Aby náboj splnil očekávanou funkci, ať už svým dopadovým účinkem, nebo jako etalon při zkouškách, musí být nejen správně navržen, ale i kvalitně vyroben. Správnost teoretického návrhu a kvalita výroby náboje je pak ověřována střeleckými zkouškami, při kterých jsou kontrolovány základní vnitrobalistické parametry jako je tlak prachových plynů při výstřelu, rychlost střely a doba výstřelu. Na základě získaných hodnot je pak dále numerickými metodami určován výkon výmetné náplně nebo energie střely.

Zvláštní důraz je kladen na měření parametrů nábojů při návrhu, výrobě a výsledném zkoušení balistické ochrany. Taková měření musí být provedena velmi odpovědně, protože balistická ochrana je pak často jediná a poslední bariéra chránící člověka před dopadovými účinky střel.

Tato práce se zabývá metodami měření vybraných parametrů kontrolovaných při střeleckých zkouškách nábojů, návrhem sestavy zkušebního zařízení pro zkoušky vnitřní balistiky a jeho ověřením střeleckou zkouškou včetně porovnání získaných výsledků s výsledky kontrolní měřicí soupravy.

Teoretická část obsahuje souhrn důležitých historických mezníků z oblasti vývoje palných zbraní, střeliva a jejich zkoušení, klasifikaci zbraní a střeliva, seznam základních legislativních dokumentů z oblasti zkoušení zbraní a střeliva pro civilní i vojenské využití, přehled oblastí balistického zkoumání a pojmy týkající se nábojů, průběhu výstřelu a zkoušek vnitřní balistiky.

Praktická část obsahuje rozbor možných metod pro měření jednotlivých veličin při zkouškách vnitřní balistiky nábojů, návrh zkušebního zařízení, popis jeho sestavy a zejména pak

popis přípravy, realizace a vyhodnocení měření provedených v rámci střelecké zkoušky. v souladu s předpisy pro provádění zkoušek vnitřní balistiky nábojů.

Ověření požadovaných parametrů nábojů měřeními při střeleckých zkouškách je nezbytným zakončením celého procesu návrhu a výroby náboje, protože jen správně vyrobený náboj s dodržеныmi požadovanými parametry je bezpečný pro obsluhu i pro zbraň a splní svůj úkol v systému střelec – zbraň – náboj – cíl.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] KNEUBUEHL, Beat P. *Balistika*. 1. Praha: NAŠE VOJSKO, 2013. ISBN 80-206-0749-8.
- [2] ČESKO. *Zákon č. 119/2002 ze dne 8. 3. 2002 o střelných zbraních a střelivu ve znění pozdějších předpisů (zákon o zbraních)*. In: Sbíрка zákonů České republiky. 2002, částka 52, s. 3038-3070. Dostupné také z: www.mvcr.cz/soubor/zbrane-6-8-2016-pdf
- [3] JANKOVÝCH, Róbert. *Hlavňové zbraně a střelivo*. Brno: VÚT Brno, 2012. ISBN 978-80-260-2384-5.
- [4] VALOUCH, Jan. Zbraně se směrovanou energií jako prostředek rozvoje schopností ozbrojených sil. *Vojenské rozhledy* [online]. 2016, **2016**(3) [cit. 2018-12-12]. ISSN 2336-2995. Dostupné z: <http://www.vojenskerozhledy.cz/kategorie-clanku/technika-a-vyzbroj/zbrane-se-smerovou-energi>
- [5] HÝKEL, Jindřich a Václav MALIMÁNEK. *Náboje do ručních palných zbraní*. 2. Praha: NAŠE VOJSKO, 2003. ISBN 80-206-0641-6.
- [6] HARTINK, A. E. *Vojenské zbraně*. 2. Čestlice: Rebo Productions CZ, 2005. ISBN 80-7234-481-1.
- [7] PLANKA, Bohumil. Kriminální balistika. *Kriminalistika* [online]. 2008, **2008**(3) [cit. 2018-12-12]. Dostupné z: <http://www.mvcr.cz/sluzba/ViewFile.aspx?docid=21161105>
- [8] C.I.P - všeobecné informace. *Český úřad pro zkoušení zbraní a střeliva* [online]. Praha: Český úřad pro zkoušení zbraní a střeliva, ©2013-2018 [cit. 2018-12-21]. Dostupné z: <http://www.cuzs.cz/cs/vseobecne-informace/>
- [9] ČESKÁ REPUBLIKA. *Vyhláška č. 335/2004 ze dne 14. 5. 2004, kterou se provádějí některá ustanovení zákona o ověřování střelných zbraní, střeliva a pyrotechnických předmětů*. In: Sbíрка zákonů České republiky, 2004, částka 107, s. 7185-7223. Dostupné také z: <http://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/ViewFile.aspx?type=c&id=4411>
- [10] ČESKO. *Zákon č. 156/2000 ze dne 18. 5. 2000 o ověřování střelných zbraní, střeliva a pyrotechnických předmětů a o změně zákona č. 288/1995 Sb., o střelných zbraních a střelivu (zákon o střelných zbraních), ve znění zákona č. 13/1998 Sb., a zákona č. 368/1992 Sb., o správních poplatcích, ve znění pozdějších předpisů*.

- In: Sbírka zákonů České republiky. 2000, částka 49, s. 2322-2330. Dostupné také z: <http://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/ViewFile.aspx?type=c&id=3437>
- [11] Státní ověřování jakosti. *Úřad pro obrannou standardizaci, katalogizaci a státní ověřování jakosti* [online]. Praha: Úřad pro obrannou standardizaci, katalogizaci a státní ověřování jakosti, ©2018 [cit. 2018-12-17]. Dostupné z: <http://www.ossoj.army.cz/statni-overovani-jakosti>
- [12] ČOS 130506. *METODIKA BALISTICKÝCH ZKOUŠEK PRO MALÉ A STŘEDNÍ RÁŽE: (VNITŘNÍ BALISTIKA)*. Praha: Úřad pro obrannou standardizaci, katalogizaci a státní ověřování jakosti, 2006. Dostupné také z: <http://www.oos-data.army.cz/cos/cos/130506.pdf>
- [13] ČOS 051625. *TECHNICKÉ PODMÍNKY PRO PRODUKTY URČENÉ K ZAJIŠTĚNÍ OBRANY STÁTU*. 3. vydání. Praha: Úřad pro obrannou standardizaci, katalogizaci a státní ověřování jakosti, 2017. Dostupné také z: <http://www.oos-data.army.cz/cos/cos/051625.pdf>
- [14] ČESKO. *Zákon č. 309/2000 ze dne 9. 8. 2000 o obranné standardizaci, katalogizaci a státním ověřování jakosti výrobků a služeb určených k zajištění obrany státu a o změně živnostenského zákona*. In: Sbírka zákonů České republiky. 2000, částka 85, s. 4150-4158. Dostupné také z: <https://ossoj.army.cz/sites/ossoj.army.cz/files/dokumenty/zakladni-stranka/zakon309.pdf>
- [15] POPELÍNSKÝ, Lubomír. *Plamen*. 1. Praha: DEUS, 2007. ISBN 978-80-87087-03-9.
- [16] NÁPLAVA, Václav. *Výnos o stanovení vnitrobalistických charakteristik svědečného náboje 20 x 102 TP, série I/05*. Slavičín, 2005.
- [17] ČOS 102505. *MĚŘENÍ TLAKU TLAKOMĚRY S TLAKOMĚRNÝMI TĚLÍSKY*. 2. vydání. Praha: Úřad pro obrannou standardizaci, katalogizaci a státní ověřování jakosti, 2009. Dostupné také z: <http://www.oos-data.army.cz/cos/cos/102505.pdf>
- [18] ČOS 137701. *MĚŘENÍ RYCHLOSTÍ STŘEL*. 2. vydání. Praha: Úřad pro obrannou standardizaci, katalogizaci a státní ověřování jakosti, 2007. Dostupné také z: <http://www.oos-data.army.cz/cos/cos/137701.pdf>
- [19] In: *Prototypa* [online]. Brno, ©1991-2019 [cit. 2019-03-07]. Dostupné z: <http://www.prototypa.com/file/2350/uz-2002-general-view-rgb300dpi.jpg>

- [20] In: *Prototypa* [online]. Brno, ©1991-2019 [cit. 2019-03-07]. Dostupné z: <http://www.prototypa.com/file/2598/8.jpg>
- [21] ČOS 102506. *MINIATURIZOVANÁ PIEZOELEKTRICKÁ MĚŘIDLA TLAKU*. Praha: Úřad pro obrannou standardizaci, katalogizaci a státní ověřování jakosti, 2006. Dostupné také z: <http://www.oos-data.army.cz/cos/cos/102506.pdf>
- [22] ČSN 39 5105. *Zkoušení střeliva*. 1. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.
- [23] ČSN 39 5107. *Kontrola referenčního střeliva*. 1. Praha: Český normalizační institut, 1993.
- [24] ČSN 39 5301. *Balistická měřidla. Tlakoměrné hlavně. Technické požadavky*. 1. Praha: Český normalizační institut, 1994.
- [25] ČSN 39 5302. *Měřicí zařízení pro měření tlaku prachových plynů piezoelektrickými snímači*. 1. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [26] GUNTHER, DYCKMANS. *Fundamentals of Ballistics: E-book in Ballistics Theory and Software* [online]. 2007, 2015 [cit. 2018-12-21]. Dostupné z: e-ballistics.com
- [27] ŠVEJKA, Radim. *Balistický analyzátor BA04S/SE: Návod k instalaci a obsluze balistického analyzátoru*. Pardubice, 2006.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

A/D	Analogově / digitální.
API-T	Armor Piercing Incendiary with Tracer.
AQAP	Allied Quality Assurance Publication.
C.I.P.	Commission Internationale Permanente pour l'Épreuve des Armes à Feu portatives.
CoC	Certificate of Conformity.
crusher	Metoda stanovení maximálního tlaku prachových plynů pomocí mechanického tlakoměru a tlakoměrných válečků.
č.	Číslo.
ČOS	Český obranný standard.
ČR	Česká republika.
ČSN	Česká technická norma.
ČÚZZS	Český úřad pro zkoušení zbraní a střeliva.
el.	Elektrický.
elektromag.	Elektromagnetický.
h_1	Výška tlakoměrného válečku před výstřelem.
h_2	Výška tlakoměrného válečku po výstřelu.
HEI	High-Explosive Incendiary.
Inic.	Iniciační.
ISO	International Organization for Standardization.
l	Dráha střely v hlavni.
l_m	Dráha střely v hlavni v okamžiku maximálního tlaku.
l_t	Opravný koeficient (uveden na výkresu pro střelnici, $l_t \approx 0,0012$).
l_u	Dráha střely v hlavni v okamžiku, kdy dno střely opustí ústí hlavně.
m_t	Opravný koeficient (uveden na výkresu pro střelnici, $m_t \approx 0,0036$).

max.	Maximální.
min.	Minimální.
MNO	Ministerstvo národní obrany.
MO ČR	Ministerstvo obrany České republiky.
MOPI	Manual of Proof and Inspection Procedures.
NATO	North Atlantic Treaty Organization.
Náboj REF	Svědčkový náboj.
Náboj TP	Náboj se střelou náhradní.
OJK	Osvědčení o jakosti a kompletnosti.
<i>ODP</i>	Oprava dne pro tlak.
<i>ODV</i>	Oprava dne pro rychlost.
p	Okamžitý tlak prachových plynů.
p_0	Tlak prachových plynů v okamžiku začátku pohybu střely v hlavni.
p_k	Tlak prachových plynů v okamžiku dohoření výmetné náplně.
p_m	Maximální tlak prachových plynů.
p_u	Tlak prachových plynů v okamžiku, kdy dno střely opustí ústí hlavně.
p_{x1}	Okamžitá hodnota tlaku prachových plynů v okamžiku t_x při standardním průběhu výstřelu.
p_{x2}	Okamžitá hodnota tlaku prachových plynů v okamžiku t_x v případě, že se střela při výstřelu nezačne pohybovat.
P_0	Předtlak tlakoměrného válečku.
P_1	Tabulkový tlak před výstřelem.
P_2	Tabulkový tlak po výstřelu.
P_{CR}	Maximální tlak prachových plynů určený metodou crusher.
P_{CROPR}	Střední hodnota maximálního tlaku určeného metodou crusher se započítanou opravou dne pro tlak.

P_{CRSTR}	Střední hodnota maximálního tlaku určeného metodou crusher ze skupiny ran.
P_{PIEZO}	Maximální tlak prachových plynů určený metodou piezo.
P_{STR}	Střední hodnota maximálního tlaku ze skupiny ran.
P_{SV}	Nominální střední tlak svědečného náboje.
Piezo	Metoda měření tlaku pomocí piezoelektrického tlakoměru.
piezoel.	Piezoelektrický.
pol.	Polovina.
R	Rozptyl hodnot ze skupiny ran.
SAAMI	Small Arms and Ammunition Manufacturers Institute (1923 až 1926).
SAAMI	Sporting Arms and Ammunition Manufacturers Institute (po 1926).
SD	Pravděpodobná úchylka naměřených hodnot ve skupině ran.
SDt_v	Maximální pravděpodobná úchylka doby výstřelu.
SDv_{10}	Maximální pravděpodobná úchylka rychlosti.
STANAG	Standardization Agreement.
SW	Software.
s	Délka měřicí báze.
s_m	Vzdálenost měřicího mikrofону od ústí hlavně.
t	Časový interval, za který střela překoná měřicí bázi.
t_0	Okamžik počátku pohybu střely v hlavni.
t_k	Okamžik dohoření výmetné náplně.
t_m	Okamžik maximální hodnoty tlaku prachových plynů.
t_u	Okamžik, kdy dno střely opustí ústí hlavně.
t_v	Hodnota doby výstřelu.
t_{vSTR}	Střední hodnota doby výstřelu ze skupiny ran.
t_x	Libovolný časový okamžik v průběhu výstřelu ($t_0 < t_x < t_m$).

t_z	Celkový časový interval po registraci signálu měřicím mikrofonom.
T	Hodnota teploty prachových plynů.
T_0	Teplota prachových plynů v okamžiku začátku pohybu střely v hlavni.
T_m	Teplota prachových plynů v okamžiku maximálního tlaku.
T_u	Teplota prachových plynů v okamžiku, kdy dno střely opustí ústí hlavně.
T_v	Hodnota teploty vzduchu.
TP	Technické podmínky.
TTD	Takticko-technická data.
Úř OSK SOJ	Úřad pro obrannou standardizaci, katalogizaci a státní ověřování jakosti.
v	Hodnota rychlosti střely.
v_0	Počáteční hodnota rychlosti střely v hlavni.
v_5	Hodnota rychlosti střely ve vzdálenosti 5 m od ústí hlavně.
v_{10}	Hodnota rychlosti střely ve vzdálenosti 10 m od ústí hlavně.
v_{10OPR}	Střední hodnota rychlosti střely ve vzdálenosti 10 m od ústí hlavně ze skupiny ran se započítanou opravou dne pro rychlost.
$v_{10STŘ}$	Střední hodnota rychlosti střely ve vzdálenosti 10 m od ústí hlavně ze skupiny ran.
$v_{23,8STŘ}$	Střední hodnota rychlosti střely ve vzdálenosti 23,8 m od ústí hlavně ze skupiny ran.
v_k	Rychlost střely v okamžiku dohoření výmetné náplně.
v_m	Rychlost střely v okamžiku maximální hodnoty tlaku prachových plynů.
$v_{STŘ}$	Střední hodnota rychlosti střely ze skupiny ran.
v_u	Úst'ová rychlost střely.
v_z	Hodnota rychlosti zvuku ve vzduchu při 0 °C.
v. č.	Výrobní číslo.
ZTÚ	Zbrojní technický úřad.

ZVS	Zástupce vojenské správy.
ΔP_t	Oprava hodnoty tlaku na teplotu prachu.
Δt	Rozdíl mezi normální teplotou a teplotou prachu při zkoušce.
Δt_v	Rozdíl hodnot doby výstřelu určených různými měřicími soupravami.
Δv_{10}	Rozdíl hodnot rychlosti střely měřené ve vzdálenosti 10 m od ústí hlavně určených různými měřicími soupravami.
Δv_t	Oprava hodnoty rychlosti na teplotu prachu.
ϕ	Průměr.

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Klasifikace zbraní a střeliva. Vlastní zpracování dle [2].</i>	13
<i>Obr. 2. Kategorie střelných zbraní dle zákona. Vlastní zpracování dle [2].</i>	13
<i>Obr. 3. Kategorie střelných zbraní podle druhu energie. Vlastní zpracování dle [4].</i>	14
<i>Obr. 4. Příklad dělení palných hlavnových zbraní. Vlastní zpracování dle [3].</i>	14
<i>Obr. 5. Experiment s černým prachem [5].</i>	15
<i>Obr. 6. Doutňákový zámek [5].</i>	18
<i>Obr. 7. Křesadlový zámek [5].</i>	18
<i>Obr. 8. Perkusní zámek [5].</i>	19
<i>Obr. 9. Možné způsoby dělení balistiky. Vlastní zpracování dle [7].</i>	23
<i>Obr. 10. Stopy na zápalce a dnu nábojnice.</i>	24
<i>Obr. 11. Průběhy vnitrobalistických veličin [3].</i>	25
<i>Obr. 12. Proud prachových plynů na ústí hlavně [1].</i>	25
<i>Obr. 13. Typy drah střel dle úhlu výstřelu [3].</i>	26
<i>Obr. 14. Dopadový účinek průbojné střely na pancíř.</i>	27
<i>Obr. 15. Jednotný náboj [1].</i>	36
<i>Obr. 16. Tvary nábojnic [1].</i>	37
<i>Obr. 17. Typy zápalů [1].</i>	38
<i>Obr. 18. Dělení prachu dle způsobu hoření. Vlastní zpracování dle [1].</i>	40
<i>Obr. 19. Příklad úvodního listu výnosu [16].</i>	42
<i>Obr. 20. Průběhy vnitrobalistických veličin [3].</i>	45
<i>Obr. 21. Příklad vyhodnocovací části zkušebního zařízení.</i>	50
<i>Obr. 22. Balistická zbraň [19].</i>	51
<i>Obr. 23. Dělení balistických zbraní. Vlastní zpracování dle [12].</i>	52
<i>Obr. 24. Mechanický tlakoměr.</i>	53
<i>Obr. 25. Tlakoměrné válečky.</i>	54
<i>Obr. 26. Piezoelektrický tlakoměr. Vlastní úprava dle [20].</i>	55
<i>Obr. 27. Příklad výstupního signálu optických přerušovačů.</i>	57
<i>Obr. 28. Příklad výstupního signálu elektromagnetických cívek.</i>	58
<i>Obr. 29. Balistický radar.</i>	59
<i>Obr. 30. Příklad průběhu tlaku na ústí hlavně.</i>	61
<i>Obr. 31. Příklad průběhu napětí v měřící smyčce.</i>	62
<i>Obr. 32. Příklad výstupního signálu měřícího mikrofonu</i>	63

<i>Obr. 33. Optický senzor.</i>	64
<i>Obr. 34. Příklady možných zapojení samostatných měřicích sestav.</i>	65
<i>Obr. 35. Příklad zapojení měřicí soupravy s digitálním osciloskopem.</i>	66
<i>Obr. 36. Příklad použití balistického analyzátoru.</i>	66
<i>Obr. 37. Schéma zapojení výchozí měřicí soupravy.</i>	69
<i>Obr. 38. Schéma zapojení navrhované měřicí soupravy.</i>	71
<i>Obr. 39. Sestavené balistické měřidlo.</i>	72
<i>Obr. 40. Vazba balistická hlaveň - lůžko.</i>	72
<i>Obr. 41. Instalovaný mechanický tlakoměr.</i>	73
<i>Obr. 42. Instalovaný piezoelektrický tlakoměr.</i>	74
<i>Obr. 43. Elektromagnetická cívka se stojanem.</i>	75
<i>Obr. 44. Příklad průběhu iniciačního impulzu na zápalce.</i>	76
<i>Obr. 45. Schéma zapojení ústového senzoru průletu střely.</i>	76
<i>Obr. 46. Zapojení vstupů balistického analyzátoru BA04S.</i>	77
<i>Obr. 47. Schéma zapojení porovnávací měřicí soupravy.</i>	78
<i>Obr. 48. Úprava náboje pro měření tlaku prachových plynů.</i>	79
<i>Obr. 49. Vzájemná poloha balistické zbraně, optických přerušovačů a cívek.</i>	80
<i>Obr. 50. Průběhy tlaků a měření doby výstřelu u 20x102 REF.</i>	87
<i>Obr. 51. Průběhy tlaků a měření doby výstřelu u 20x102 TP.</i>	87
<i>Obr. 52. Grafické porovnání hodnot rychlosti střely.</i>	91
<i>Obr. 53. Grafické porovnání hodnot doby výstřelu.</i>	91


SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1. Oblasti působení pracovních podkomisí C.I.P. Vlastní zpracování dle [5].</i>	29
<i>Tab. 2. Současná struktura C.I.P. Vlastní zpracování dle [8].</i>	30
<i>Tab. 3. Přehled základních předpisů pro zkoušení civilních zbraní a střeliva.</i>	31
<i>Tab. 4. Příklad předpisů pro zkoušení vojenských zbraní a munice.</i>	34
<i>Tab. 5. Základní balistické vlastnosti výmetných náplní [1].</i>	39
<i>Tab. 6. Vnitrobalistické parametry svědečných nábojů. Vlastní zpracování dle [12].</i>	43
<i>Tab. 7. Hodnoty fyzikálních veličin při výstřelu [1].</i>	47
<i>Tab. 8. Způsob řešení závad komponent měřicí soupravy.</i>	69
<i>Tab. 9. Podmínky okolního prostředí.</i>	82
<i>Tab. 10. Vnitrobalistické charakteristiky 20x102 REF. Vlastní zpracování dle [16].</i>	82
<i>Tab. 11. Naměřené hodnoty 20x102 REF.</i>	83
<i>Tab. 12. Vyhodnocení tlakoměrných válečků u 20x102 REF.</i>	84
<i>Tab. 13. Naměřené hodnoty 20x102 TP.</i>	85
<i>Tab. 14. Vyhodnocení tlakoměrných válečků u 20x102 TP.</i>	86
<i>Tab. 15. Vnitrobalistické charakteristiky 20x102 TP s korekcí ODP a ODP.</i>	86
<i>Tab. 16. Vyhodnocení zkoušky nábojů 20x102 TP.</i>	88
<i>Tab. 17. Porovnání hodnot v_{10} a t_v pro 20x102 REF.</i>	89
<i>Tab. 18. Porovnání hodnot v_{10} a t_v pro 20x102 TP.</i>	90

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha P I Tarážní tabulka tlaků.
- Příloha P II Popis výroby a zkoušení cívek.
- Příloha P III Postup střelecké zkoušky.
- Příloha P IV Nastavení prvků měřicích souprav.

PŘÍLOHA P I: TARÁŽNÍ TABULKA TLAKŮ.

	ATEST O KVALITĚ ZBOŽÍ	SÉRIE 5/06
<p>TLAKOMĚRNÉ VÁLEČKY ϕ 4 x 6,5 mm, ČÍSLO SÉRIE 5/06</p> <p>VYROBENÉ A ZKOUŠENÉ DLE TECHNICKÝCH PODMÍNEK: TPA-5-010264/III.</p> <ul style="list-style-type: none">- TOLERANCE PRŮMĚRU: $\pm 0,01$mm (PŘED PŘEDTLAČENÍM)- TOLERANCE VÝŠKY: $\pm 0,01$mm (PŘED PŘEDTLAČENÍM)- POVOLENÁ MAXIMÁLNÍ ÚCHYLKA KRUHOVITOSTI TLAKOMĚRNÉHO VÁLEČKU: $\leq 0,01$mm (PŘED PŘEDTLAČENÍM)- ČELA VÁLEČKŮ JSOU KOLMÁ K OSE VÁLCE- POVRCH VÁLEČKŮ JE BEZ DEFECTŮ <p>VÝROBA: ADAMOVSKE STROJIRNY a.s. PŘEDTLAČENÍ: neprovedeno</p>		
<p>Prototypa - ZM, s.r.o.</p> <p>Hudcova 533/78c, CZ - 612 00 Brno Tel : 00420-541 513 682, Fax : 00420-541 513 681, E-mail: pm@prototypa.cz</p>	<p>TARÁŽNÍ TABULKA TLAKŮ</p>	<p>5/06A</p>
<p>TLAKOMĚRNÉ VÁLEČKY ϕ 4 x 6,5 mm</p> <p>ČÍSLO SÉRIE 5/06</p> <p>PRŮMĚR PÍSTKU: 5,05 mm (plocha pístku 0,2 cm²)</p> <p>TEPLOTA PŘI TÁROVÁNÍ: 20°C</p> <p>TÁROVÁNO A PŘEDTLAČOVÁNO NA: BARANOVSKÝ LIS PB-6-50</p> <p>TECHNICKÉ PODMÍNKY: TPA-5-010264/III</p>		
<p>EXPEDOVÁNO:</p> <p>2.2.2007</p>	<p>KONTROLOVAL: OŘJ Prototypa-ZM, s.r.o.</p> <p> </p>	

Tabulka tlaků

Stlačováno na Baranovského lisu PB-6-50

Tlakoměrné válečky $\varnothing 4 \times 6,5$ bez předtlaku

Partie a rok výroby VP 01420992/06.

Průměr pístku tlakoměru 5,05 mm (plocha pístku tlakoměru $0,2 \text{ cm}^2$).

Číslo tarážní tabulky: 5/06A

Tlaky v MPa při 20°C

Zbylá výška	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,00	Zbylá výška
5,5	176,5	177,7	179,0	180,2	181,4	182,6	183,9	185,1	186,3	187,5	5,5
5,4	188,6	189,8	190,9	192,1	193,2	194,4	195,6	196,7	197,9	199,0	5,4
5,3	200,2	201,3	202,5	203,6	204,8	205,9	207,0	208,1	209,2	210,3	5,3
5,2	211,4	212,5	213,6	214,7	215,7	216,8	217,9	219,0	220,1	221,2	5,2
5,1	222,3	223,4	224,5	225,6	226,6	227,6	228,6	229,7	230,7	231,7	5,1
5,0	232,8	233,8	234,8	235,9	236,9	237,9	239,0	240,0	241,0	242,1	5,0
4,9	243,1	244,1	245,2	246,3	247,3	248,4	249,5	250,6	251,7	252,8	4,9
4,8	253,9	255,0	256,1	257,2	258,2	259,3	260,4	261,5	262,6	263,7	4,8
4,7	264,8	265,9	267,0	268,0	269,1	270,2	271,3	272,4	273,5	274,6	4,7
4,6	275,7	276,8	277,9	278,9	280,0	281,1	282,2	283,3	284,4	285,4	4,6
4,5	286,5	287,5	288,5	289,6	290,6	291,6	292,7	293,7	294,7	295,7	4,5
4,4	296,8	297,8	298,8	299,9	300,9	301,9	303,0	304,0	305,2	306,5	4,4
4,3	307,7	308,9	310,1	311,4	312,6	313,8	315,0	316,3	317,5	318,7	4,3
4,2	319,9	321,2	322,4	323,6	324,8	325,9	327,1	328,2	329,4	330,5	4,2
4,1	331,7	332,8	334,0	335,2	336,3	337,5	338,6	339,8	340,9	342,1	4,1
4,0	343,2	344,5	345,8	347,2	348,5	349,8	351,1	352,4	353,7	355,0	4,0
3,9	356,3	357,6	358,9	360,2	361,5	362,8					3,9
	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,00	

V Brně, dne 30.1.2007

PŘÍLOHA P II: POPIS VÝROBY A ZKOUŠENÍ CÍVEK.

Stanovení počtu závitů:

Pro napájecí vinutí byl určen izolovaný drát o průměru 1 mm. Předpokládaný proud vinutím bude 1 A a v případě nutnosti zvýšení citlivosti pak bude možné při max. proudovém zatížení $2,5 \text{ A} \cdot \text{mm}^{-2}$ (dáno typem drátu) nastavit proud napájecí cívkou až 2 A.

Vzhledem k tomu, že navíjení cívek mělo být provedeno ručně (a také s ohledem na skladové zásoby materiálu), byl pro indikační vinutí zvolen drát o průměru 0,35 mm.

Počty závitů jednotlivých vinutí						
Vinutí cívky	Průměr drátu [mm]	Požadovaná impedance [Ω]	Odpor drátu [$\Omega \cdot \text{m}^{-1}$]	Délka drátu [m]	Délka závitů [m]	Počet závitů celkem
Napájecí	1,00	7	0,024	292	0,942	310
Indikační	0,35	380	0,189	2010	1,005	2000

Pro napájecí vinutí bylo určeno 310 závitů drátem o průměru 1 mm, pro indikační vinutí bylo stanoveno 2000 závitů drátem o průměru 0,35 mm.

Stanovení závitové plochy kostry cívky:

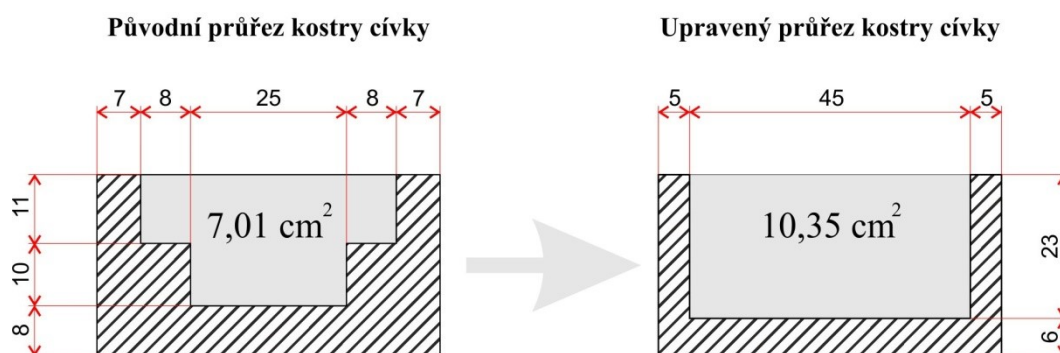
Na základě zvolených průměrů drátů pro jednotlivá vinutí byla určena minimální závitová plocha cívky.

Závitová plocha cívky						
Vinutí cívky	Průměr drátu [mm]	Počet závitů na 1 cm^2	Počet závitů celkem	Plocha závitů [cm^2]	Izolační vrstva [cm^2]	Celková plocha [cm^2]
Napájecí	1,00	82	310	3,8	0,45	8,80
Indikační	0,35	640	2000	3,2	1,35	

Do potřebné celkové plochy cívky byla započítána také plocha nezbytné izolační vrstvy mezi napájecím a indikačním vinutím a plocha vrchní krycí izolace.

Výroba cívky:

Pro vlastní výrobu byla použita kostra indukční cívky vyřazeného nefunkčního časoměrného zařízení. Po odstranění původních vinutí byla provedena rozměrová úprava kostry cívky (zvětšení závitové plochy), aby bylo možno provést navinutí stanoveného počtu závitů a vložit prokládací izolační vrstvy. Provedení úpravy znázorňuje následující obrázek.



Po provedení rozměrové úpravy vznikl dostatečný prostor pro obě vinutí a izolační vrstvy. Následně bylo provedeno ruční navinutí stanoveného počtu závitů, nejdříve napájecí a poté indikační vinutí. Napájecí a indikační vinutí bylo odděleno izolací. Na viditelný povrch indikačního vinutí byla aplikována krycí izolace. Konce obou vinutí byly vyvedeny do plastové krabičky pevně uchycené ke kostře cívky se samostatnými konektory pro jednotlivá vinutí.

Přestože bylo navíjení provedeno ručně a jednotlivé závity nebyly uloženy tak ideálně, jako při strojním navíjení, žádná část vinutí nepřesahovala přes okraje kostry cívky.

Pro mechanické uchycení cívky při zkoušce byla použita původní mechanická konstrukce včetně stojanu.

Zkoušení cívek:

Po navinutí cívek a jejich mechanickém uchycení byla provedena kontrola parametrů vinutí a ověření funkce hotových elektromagnetických cívek.

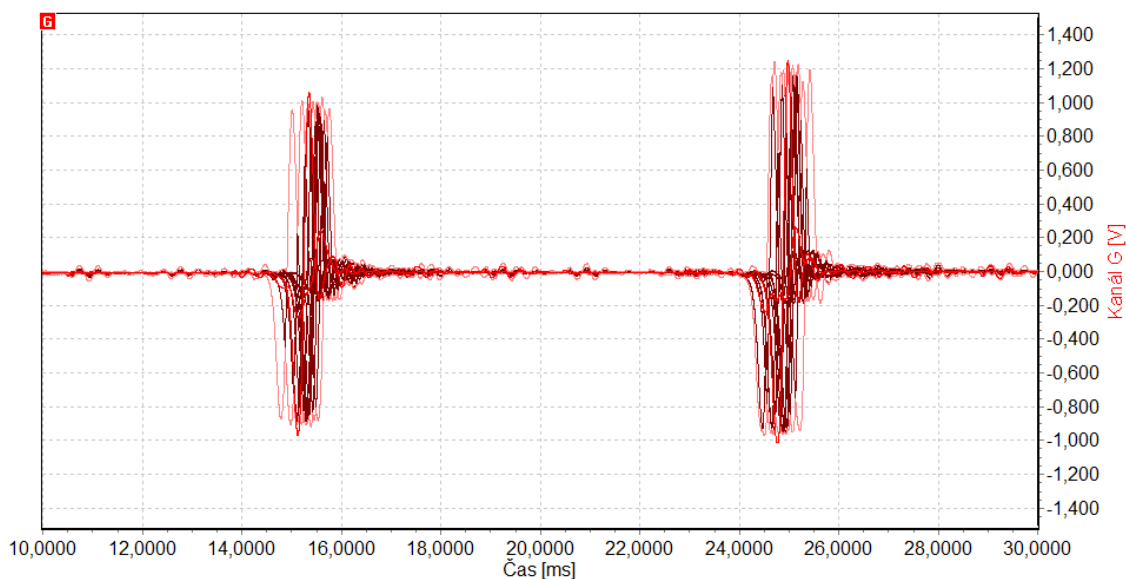
Kontrola parametrů spočívala v ověření impedance jednotlivých vinutí každé cívky (měřeno na konektorech) a kontrola izolace (oddělení) jednotlivých vinutí.

Kontrola parametrů vinutí cívek					
Vinutí	Požadovaná impedance vinutí cívky [Ω]	Naměřená impedance cívky 1 [Ω]	Naměřená impedance cívky 2 [Ω]	Kontrola izolace a zapojení cívky 1	Kontrola izolace a zapojení cívky 2
Napájecí	7	6,93	7,07	OK	OK
Indikační	380	378,10	382,61	OK	OK

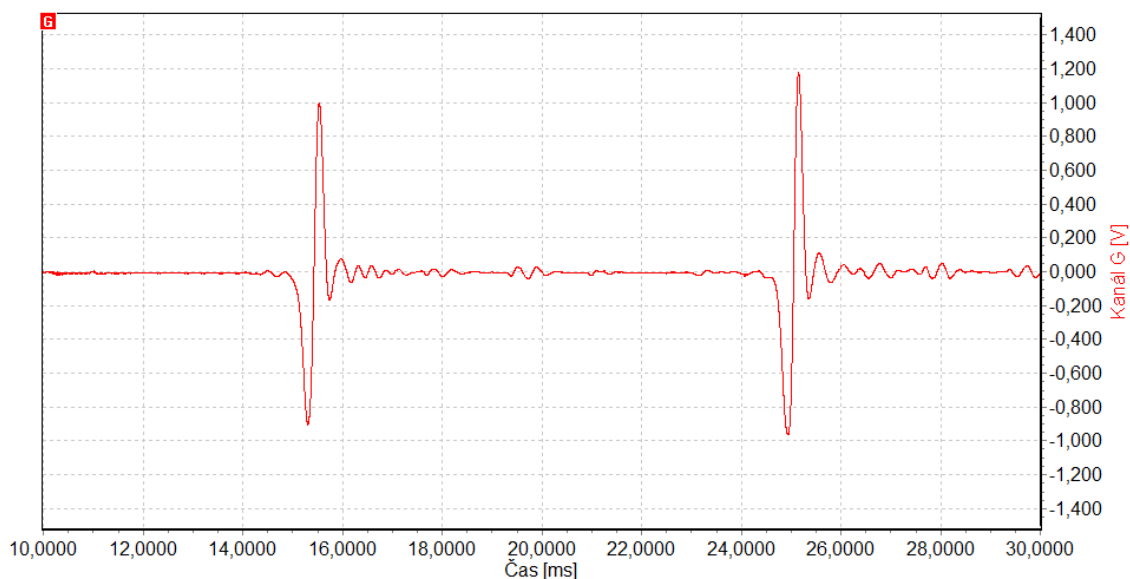
V rámci kontroly funkce bylo provedeno připojení napájení ke každé cívce. Napájení bylo realizováno laboratorním stabilizovaným zdrojem 0 až 30 V / 0 až 3 A samostatně pro každou cívku. Napětí na výstupu zdroje bylo před připojením cívek nastaveno na nulu a postupně bylo ovládacím prvkem zvyšováno až do okamžiku, kdy každou cívkou procházel proud o velikosti 1 A.

Ověření správné funkce registrace průletu střely bylo provedeno pokusnou střelbou z rychlostní balistické zbraně. Bylo vystřeleno celkem 10 nábojů 20x102 TP, při každém výstřelu byla měřena rychlost střely na měřicí bázi 10 m.

Následující obrázek graficky znázorňuje průběhy signálů při průletu střely jednotlivými cívkami (všechny výstřely).



Příklad záznamu registrace průletu střely cívkami při jednom výstřelu:



Okamžik průletu střely cívkou byl v záznamovém zařízení reprezentován „průchodem nulou“ při změně polarity indukovaného napětí.



Na základě rozboru záznamů z vyhodnocovacího zařízení byl vysloven závěr, že zhotovené elektromagnetické cívkky jsou funkční a ve spojení s vyhodnocovacím zařízením opakovaně umožňují jednoznačné stanovení rychlosti střely.

PŘÍLOHA P III: POSTUP STŘELECKÉ ZKOUŠKY.

Příprava a provedení střelecké zkoušky:

1. Poučení účastníků zkoušky, zápis o poučení do Knihy střelieb.
2. Příprava nábojů pro střeleckou zkoušku (navrtání, temperace).
3. Příprava zkušebního a měřicího zařízení (sestava a zamíření balistického měřidla, iniciační okruh, tlakoměry, tlakoměrné válečky, měřicí souprava s BA04S, měřicí souprava s digitálním osciloskopem, vyměření polohy optických přerušovačů, vyměření polohy elektromagnetických přerušovačů, napájecí zdroje k jednotlivým prvkům měřicích souprav, propojovací a napájecí kabeláž).
4. Kontrola sestavy balistického měřidla.
5. Kontrola měřicího zařízení.
6. Pokusná střelba (min. tři výstřely) pro usazení zbraně a kontrolu správné funkce měřicího zařízení (nezapočítává se do hodnocení zkoušky).
7. Střelba skupiny deseti svědečných nábojů 20x102 REF, stanovení ODP a ODV.
8. Střelba skupiny deseti zkoušených nábojů 20x102 TP, korekce výsledků započítáním ODP a ODV.
9. Ukončení střelecké zkoušky, demontáž a uložení zkušebního a měřicího zařízení.

Podmínky pro provedení zkoušky:

1. Přípravu nábojů pro zkoušku provést v souladu s ČOS 130506, 1. vydání.
2. Přípravu, kontrolu, použití, demontáž a čišění balistické zbraně provést dle Příručky pro provoz a údržbu. Po ukončení zkoušky zapsat do záznamníku zbraně celkový počet výstřelů.
3. Jednotlivé prvky měřicích souprav používat v souladu s jejich návody k obsluze.
4. Zkoušku provést v souladu s ČOS 130506, 1. vydání.
5. Zkoušku provést při teplotě prostředí $+21\pm 3$ °C a relativní vlhkosti 40 až 60 %.
6. Všechna měřidla použitá při zkoušce musí mít platnou kalibraci.

PŘÍLOHA P IV: NASTAVENÍ PRVKŮ MĚŘICÍCH SOUPRAV.

Nastavení digitálního osciloskopu:

(provést v souladu s návodem k obsluze)

Časová základna: 2 ms / dílek

Vstup 1 (CH1): 3V / dílek, filtr 500 kHz (iniciační impulz přes napěťový dělič 1:10)

Vstup 2 (CH2): 1V / dílek, filtr 50 kHz (piezoelektrický tlakoměr na ústí hlavně přes nábojový zesilovač KISTLER 5011)

Vstup 3 (CH3): 1V / dílek, filtr 50 kHz (optický rám START - 4,9 m)

Vstup 4 (CH4): 1V / dílek, filtr 50 kHz (optický rám STOP - 15,1 m)

Trigger (synchronizační signál pro spouštění)

Vstup 1 (CH1)

úroveň 0,4V

vzestupná hrana

pozice 10%

Nastavení časové konstanty integrátoru:

$k = 1 \mu\text{s}$

Nastavení nábojového zesilovače KISTLER 5011:

(provést v souladu s návodem k obsluze)

[T] 1,42 E + 0 (-1,42 pC / MU)

[S] 4,22 E + 2 (422 MU / V)

[LP] OFF

[TC] LONG

Nastavení balistického analyzátoru:

(provádí se v prostředí virtuálního panelu SW aplikace BA Control na ovládacím notebooku v souladu s návodem k obsluze)

Nastavení vzorkování: 1 MHz

Vstup 0 (CH0): nábojový zesilovač (piezoelektrický tlakoměr v komoře balistické zbraně)

Konstanta: -1,423 pC / bar

Rozsah: 6200 pC

Filtr: 10 kHz

Interval: -1,0 ms až + 5,0 ms

Vstup 4 (CH4): napěťový vstup (iniciační impulz přes napěťový dělič 1:10)

Rozsah: ± 25 V

Interval: -1,0 ms až + 1,0 ms

Vstup 5 (CH5): napěťový vstup (registrace průletu střely na ústí)

Rozsah: ± 5 V

Interval: -1,0 ms až + 5,0 ms

Vstup 6 (CH6): vícenásobný napěťový vstup (měření rychlosti)

Rozsah: ± 5 V

Interval: +4,0 ms až + 24,0 ms

Gate B – START (elektromagnetická cívka START - 5 m)

Gate B – STOP (elektromagnetická cívka STOP - 15 m)

Trigger (synchronizační signál pro spouštění)

Vstup 4 (CH4)

úroveň 12,5 %

vzestupná hrana