



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV MATERIÁLOVÝCH VĚD A INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING

## MATERIÁLY PRO HLAVNĚ PALNÝCH ZBRANÍ

THE MATERIALS FOR FIREARMS BARELLS

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jan Mrózek

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Karel Němec, Ph.D.

BRNO 2019

# Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav materiálových věd a inženýrství  
Student: **Jan Mrózek**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Základy strojního inženýrství  
Vedoucí práce: **Ing. Karel Němec, Ph.D.**  
Akademický rok: 2018/19

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

## **Materiály pro hlavně palných zbraní**

### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Práce by měla obsahovat přehled materiálů používaných pro výrobu hlavní palných zbraní a popis technologie jejich výroby. Následně by mělo být provedeno porovnání jednotlivých materiálů a technologií výroby zejména z hlediska jejich odolnosti vůči tlaku, opotřebení a korozi. V závěru práce by mělo být uvedeno předpokládané směřování materiálů pro hlavně palných zbraní.

### **Cíle bakalářské práce:**

- charakteristika materiálů vhodných pro hlavně palných zbraní,
- porovnání výhod a nevýhod jednotlivých materiálů,
- předpokládané směřování vývoje materiálů pro hlavně palných zbraní.

### **Seznam doporučené literatury:**

JANKOVÝCH, Róbert. Hlavňové zbraně a střelivo. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2012. 115s. ISBN 978-80-260-2384-5.

FREMUNT, Přemysl a Tomáš PODRÁBSKÝ. Konstrukční oceli. 1. vyd. Brno: CERM, 1996, 261s. ISBN 8085867958.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Ivo Dlouhý, CSc.  
ředitel ústavu

---

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

## **Abstrakt**

Cílem této bakalářské práce je shrnutí informací z pohledu vývoje a základního popisu jednotlivých částí hlavní palných zbraní a vhodného používání materiálů k jejich výrobě. Obsahem této práce jsou rovněž způsoby povrchové úpravy vývrtů hlavní. V závěru, práce také pojednává o životnosti a opotřebení hlavní palných zbraní.

### **Klíčová slova**

Hlaveň, vývrt, materiál, zbraň, ocel.

## **Abstract**

The aim of this Bachelor thesis is to summarise information about development and basic description of individual parts of barrel firearms and appropriate use of materials for their production. The content of this thesis are also methods of surface treatment of the barrel rifling. In conclusion, the thesis describes weapon life and deterioration of barrel firearms.

### **Keywords**

Barrel, rifling, material, firearm, steel.

## **Bibliografická citace**

MRÓZEK, Jan. *Materiály pro hlavně palných zbraní* [online]. Brno, 2019 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/116063>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav materiálových věd a inženýrství. Vedoucí práce Karel Němec.

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Materiály pro hlavně palných zbraní** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, které jsou součástí této práce a na základě konzultací a pod vedením vedoucího bakalářské práce.

V Brně dne:

Podpis:

.....

.....

Jan Mrózek

## **Poděkování**

Za pomoc, cenné rady a připomínky, ale i za podporu při tvorbě práce tímto děkuji svému vedoucímu práce Ing. Karlu Němcovi, Ph.D. V neposlední řadě bych chtěl také poděkovat své rodině, přátelům a známým za podporu, kterou mi v průběhu studia poskytli.

# Obsah

Úvod.....	9
<b>1 Historie.....</b>	<b>10</b>
1.1 Palné zbraně a jejich historie .....	10
<b>2 Hlavně palných zbraní.....</b>	<b>12</b>
2.1 Rozdělení palných zbraní podle druhu energie potřebné k výstřelu .....	12
2.2 Dělení hlavní palných zbraní.....	13
2.3 Kombinované zbraně .....	13
2.4 Stěny hlavní palných zbraní .....	15
2.4.1 Fretáž.....	16
2.4.2 Autofretáž.....	16
2.5 Vývrt hlavně .....	17
2.6 Tvary drážek.....	18
2.7 Nábojová komora .....	19
2.8 Přechodový kužel .....	21
<b>3 Materiály hlavní palných zbraní .....</b>	<b>22</b>
3.1 Oceli na výrobu hlavní .....	22
3.2 Slitiny lehkých kovů.....	26
3.3 Kompozity .....	26
3.4 Materiály vložek hlavní .....	27
3.5 Povrchová úprava vývrtu.....	27
3.5.1 Chromování.....	27
3.5.2 Nitridace .....	28
3.5.3 Další povrchové úpravy .....	30
<b>4 Životnost hlavní.....</b>	<b>31</b>
4.1 Opotřebení hlavní .....	33
4.2 Zabezpečení proti opotřebení hlavní .....	34
4.2.1 Konstrukční opatření .....	35
4.2.2 Materiálové a technologické faktory.....	35
4.2.3 Vnitrobalistické řešení.....	35
4.2.4 Provozní zabezpečení .....	36
<b>5 Závěr .....</b>	<b>37</b>
<b>6 Bibliografie .....</b>	<b>38</b>
<b>7 Seznam použitých zkratk a symbolů .....</b>	<b>40</b>



## Úvod

Zbraně byly nedílným průvodcem lidstva již od samotného počátku. Člověk si pomocí zbraně obstarával potravu a budoval respekt. S postupem času se tyto smrtící nástroje zdokonalovaly až do dnešní podoby moderních zbraní. Zbrojní průmysl a jeho odvětví mají nemalý vliv na dnešní celosvětovou situaci.

Hlaveň je základní součástí palné zbraně. Na její kvalitě závisí jak výkon a přesnost zbraně, tak bezpečnost uživatele. Hlaveň má určující vliv na konstrukci celé zbraně a její vlastnosti. Základní charakteristikou zbraně jsou účinná délka a přesnost střelby, hmotnost a rozměry zbraně. Tyto parametry blízce souvisejí s rozměry a funkčními vlastnostmi hlavně. Proto je důležité věnovat pozornost rozvoji konstrukce hlavně, aby nebyly zásadní příčinou omezující správné užívání zbraně.

Tato práce rešeršního charakteru je rozdělena na čtyři kapitoly. První kapitola pojednává o historickém vývoji ručních palných zbraní od objevení střelného prachu, přes vývoj dobových zámek až po dnešní palné zbraně.

Druhá kapitola je zaměřena na rozdělení hlavních palných zbraní a popis jejich jednotlivých dílů. Tato část přináší základní informace o vývrtné hlavni, nábojové komoře a přechodovém kuželu.

Ve třetí kapitole práce shrnuje základní materiály pro výrobu hlavních palných zbraní a jejich vlastnosti. Pojem nitridování a obecně povrchová úprava hlavně, která je nedílnou součástí při výrobě hlavně je v této práci také rozepsána.

Poslední oddíl je zaměřen na způsoby omezení opotřebení hlavně a tím prodloužení životnosti zbraní.

# 1 Historie

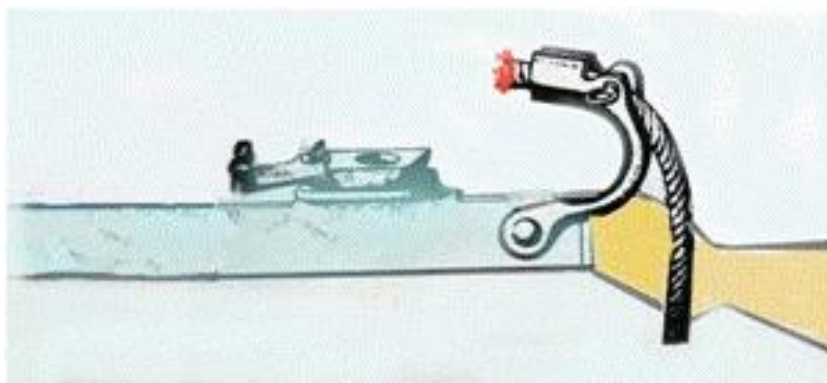
Lidé od prvopočátku používali zbraně a nástroje jimi podobné k získávání potravy a budování si respektu. Ať už s nimi lovili nebo se bránili, zbraně byly součástí života člověka v každé době. Mezi nepoužívanější nástroje k ulovení potravy patřily sekery, nože či oštěpy. Teprve s dobou si lidé uvědomili, že zbraně se dají využívat i k jiným účelům, než jen k lovu a boji. Jako každý nástroj i zbraně prošly dlouhým vývojem a zdokonalováním.

Za první průkopníky palných zbraní jsou považováni Číňané (8. století). S touto skutečností souvisí i fakt, že zhruba ve stejné době byl vynalezen střelný prach, což je směs dřevěného uhlí, síry a okysličující sloučeniny (draslíku nebo sodíku). Po Číně následovala Indie a Arábie [1]. V Evropě se palné zbraně objevily v první polovině 14. století. Teprve počátkem 15. století došlo k většímu rozšíření těchto zbraní, a to i díky husitským válkám.

## 1.1 Palné zbraně a jejich historie

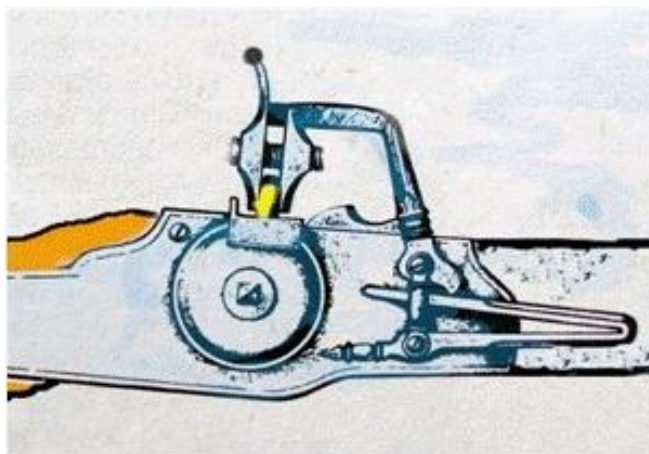
Předchůdci palných zbraní byla děla. Jejich konstrukce byla vyrobena z krátké tlustostěnné roury ze železa, později z bronzu nebo litiny, na jednom konci uzavřené, ve které byl pod pravým úhlem vyvrtaný otvor, jímž bylo možné prostrčit rozžhavený drát, a tak zapálit náplň uvnitř. Jako střelivo se používaly převážně kameny ve tvaru koule, které měly průměr až 500 mm. Tato děla byla většinou rozměrná, proto spočívala na dřevěných lafetách. Okolo roku 1350 se objevily nejstarší ruční palné zbraně. Menší zbraně s krátkými dřevci byly přenášeny v ruce a střílely projektily o průměru přibližně 25 mm. Ty se odlévaly z bronzu, ale později je nahradily železné odlitky nebo železné pláty skované do určitého tvaru pro lepší aerodynamické vlastnosti. Dřevce sloužil jako opora v rameni pro lepší manipulativnost a míření, z něhož se později stala primitivní pažba. Střelec byl schopný s touto zbraní smrtelně zranit cíl až na vzdálenost 100 m [1].

Kolem roku 1520 se poprvé objevily zbraně s drážkovanou hlavní. Tyto zbraně byly velmi těžké, a proto byl střelec nucen použít opěrnou vidlici. Její přesnost byla vyšší a dostřel byl dvojnásobný. Zejména lovci na koních nemohli tento smrtící nástroj používat, proto byl další vývoj zaměřen především na zkracování a odlehčování zbraní. Tak začaly vznikat první prototypy krátkých palných zbraní. Jedna z posledních věcí, chybějících pro dosažení soudobých pistolí, byl jejich nespolehlivý doutňákový zapalovací systém. Doutňák byl však nepraktický hned ze dvou důvodů. Zaprvé to byl děšť a vlhké počasí, které mohlo uhasit doutňák, jenž byl zapálen o mnoho dříve, než došlo k zapálení střelného prachu a samotnému výstřelu. A zadruhé zde hrozilo nebezpečí, že po celou dobu, co střelec manipuloval se střelným prachem, mohlo dojít k jeho samovolnému vznícení a následné explozi.



Obr. 1 Doutňákový zámek [1]

Zapalování ohně pomocí křesání kamene o ocílku bylo známo již v době doutnáku. Proto se zlepšovatelé tehdejší doby snažili zbavit doutnáku a zajistit zapálení střelného prachu pomocí vykřesání jiskry. To se podařilo vyřešit pomocí kolečkového zámku, který podle jistých pramenů navrhl Leonardo da Vinci [2]. Náčrt takového mechanismu byl součástí Da Vinciho vynálezu zvaného Codice Atlantico, vydaného roku 1508 [1]. Tento mechanismus fungoval na principu zdrsněného kolečka spojeného s pružinou, jejímž cílem bylo otáčení se při zmáčknutí spouště. Železný pyrit (pazourek) [2] byl uchycen v čelistech skřípce nakloněného ke kolečku. Po stisknutí spouště se kolečko roztočilo, křesadlo se třelo o drsný povrch kolečka a tím se vykřesaly jiskry, které následně zapálily střelný prach na pánvičce a tím i prach v nábojové komoře. Tento mechanismus byl však výrobně velmi nákladný, a proto si našel své zákazníky hlavně mezi šlechtou. Později došlo k jeho zjednodušení a rozšíření do celé Evropy. Během dalších zhruba 200 let došlo k výraznému pokroku od doutnákových pušek přes kolečkové zámky až k zámčům, které byly velmi složité a mnohdy předčily i práci hodinářů tehdejší doby [1]. Mezi další vylepšení, co se zápalných systémů týkalo, patřil holandský zámek, který se podobal kolečkovému zámku, avšak byl vyroben z lepších materiálů a za pomoci lepších znalostí v oboru fyziky.



*Obr. 2 Kolečkový zámek [1]*

Na přelomu 17. a 18. století se objevují vícekomorové zbraně s jednou hlavní a křesadlovým zámek, které dostaly název revolvery. Jakými předchůdci revolveru byly takzvané pepřenky. Měly rovněž křesadlový zámek a několik hlavní, které se musely ručně otáčet kolem pevné osy. U těchto zbraní byl poprvé použit kohoutek, který měl ve svých čelistech pazourek, jenž sloužil jako křesadlo. Tímto jednoduchým zápalným systémem se dal docílit okamžitý výstřel. [1]

Velkým posunem v oblasti zbraní byl španělský zámek. Ten byl svou konstrukcí mnohem jednodušší než předchozí zámky, a tedy i levnější. Proto ho začaly používat i armády. Španělský, později francouzský zámek, byl posléze vyvíjen francouzskými puškaři, kteří jej používali do svých mušket a pistolí do doby, než byla začátkem 19. století vynalezena perkusní zápalka. Na komínku, nazývaném piston byl umístěn kalíšek, který byl spojen zátravkou s nábojovou komorou. Kalíšek, jenž byl součástí perkusní zápalky, měl na svém dně traskavou směs, která po úderu bicího kohoutku explodovala, a tím došlo přes zátravku ke vznícení střelného prachu v nábojové komoře hlavně. Tímto pokročilým mechanismem byla zajištěna větší spolehlivost zážehu, avšak ke zkrácení doby samotného nabíjení nedošlo.

Zápalky se nejprve vyráběly jako malé ocelové kalíšky, které později nahradily cínové a poté také měděné. Dostřel těchto zbraní byl zhruba 200-300 m [3]. Pro přesnější a delší dostřel

se začaly používat zbraně s rýhovanou hlavní. Tyto zbraně se používaly převážně ve střeleckých bratrstvech a spolcích, převážně na obranu měst. Byly osobním majetkem členů těchto spolků.



Obr. 3 Perkusní zámek [20]

V další etapě vývoje následoval jeden vynález za druhým. Objevila se nábojnice, která sloužila jako těsnící prvek a umožňovala nabíjení hlavně zezadu. To vyvolalo rozmach výroby zadovek, které vytlačily předovky, jak z oblasti vojenské, tak i lovecké.

Do určité doby se lovecké palné zbraně příliš nelišily od zbraní vojenských. S postupem času se však začínají objevovat určité rozdíly. U loveckých zbraní je kladen daleko větší důraz na zhotovení zámků a hlavní, zbraně se odlehčovaly a bohatě zdobily v porovnání s vojenskými palnými zbraněmi. Na konci 15. století, po vzoru kuše, se palným zbraním pro lepší ovladatelnost přizpůsobuje pažba, je přebírán spoušťový mechanismus, napínáček i mířidla.

Co se týče munice, teprve koncem 19. století jsou olovené projektily u loveckých zbraní s drážkovanou hlavní nahrazeny střelou plášťovou. [4]

## 2 Hlavně palných zbraní

Hlaveň nebo také z němčiny lauf je nezbytná část palné zbraně, ve které dochází k přeměně tepelné energie plynů, vzniklých při hoření střeliva, na kinetickou energii projektilu. Úkolem hlavně je udělení počáteční rychlosti a směru střele, případně také rotace.

### 2.1 Rozdělení palných zbraní podle druhu energie potřebné k výstřelu

Střelné zbraně rozdělujeme podle druhu energie potřebné k výstřelu na:

- palné,
- plynové,
- mechanické,
- elektromagnetické.

Palné zbraně využívají k pohonu střely chemicko-tepelnou přeměnu střeliva (hořící prachovou náplň), čímž dojde k rychlému vytvoření plynů. Plynové zbraně využívají k pohonu střely vzduch nebo jiný plyn. Mechanickou energii k pohonu střely využívají mechanické zbraně a elektromagnetické pole zase elektromagnetické zbraně. [4]

Mezi hlavňové zbraně řadíme palné a plynové zbraně, jelikož k pohonu střely dochází v uzavřené hlavní změnou objemu její „náplně“.

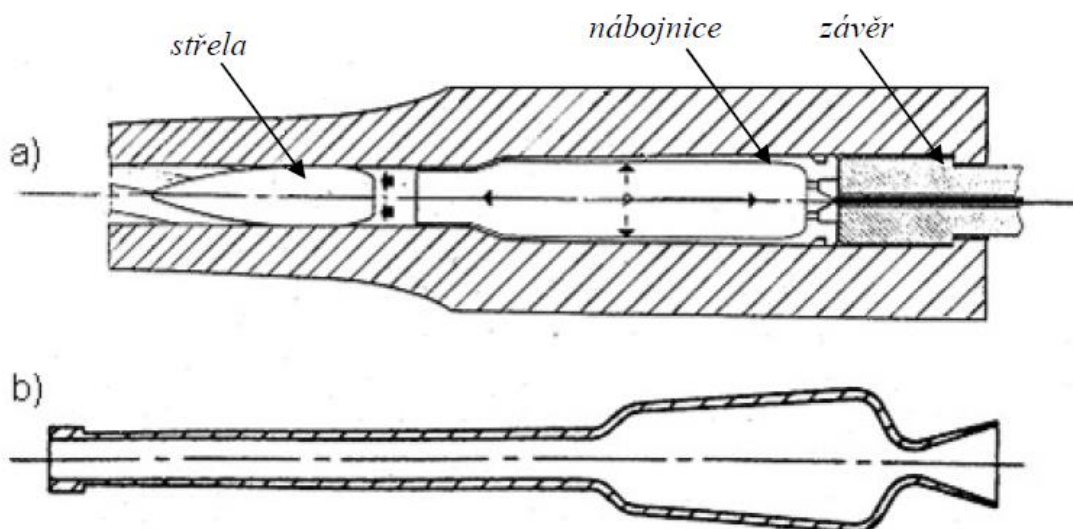
Hlavní palné zbraně dále můžeme členit do mnoha klasifikací podle řady kritérií. Například podle druhu zbraně, způsobu držení zbraně, podle ráže, způsobu uzamčení nábojové komory, či stupně automatizace a dalších.

## 2.2 Dělení hlavní palných zbraní

Podle zákluzu rozlišujeme dvě skupiny palných zbraní a to:

- zákluzové,
- bezzákluzové.

U zákluzových zbraní tvoří hlaveň osově symetrickou tlakovou válcovou nádobu, která je v zadní části uzavřena závěrem. Otevřená část je ve směru pohybu střely. U bezzákluzových zbraní je hlaveň otevřená na obou koncích. Otevřená zadní část bývá opatřena tryskou a tyto zbraně využívají část prachových plynů k zmírnění zpětného rázu.



Obr. 4 Schéma hlavně zákluzové a bezzákluzové [19]

## 2.3 Kombinované zbraně

Kombinovaná zbraň je palná zbraň s hlavní pro střelbu kulovými nebo brokovými náboji. Základním rozdělením loveckých zbraní je podle vývrtu hlavně. U brokovic se setkáváme s hlavní hladkou a u kulovnic s hlavní drážkovanou. Hlavním důvodem sduřování těchto hlavní, zejména v lovecké praxi, je jak použití více druhů nábojů na různé druhy lovné zvěře, tak umožnění dvou a více výstřelů za sebou. Pro určitý svazek hlavní používáme typickou terminologii, jako například broková kozlice, kulový troják a další.



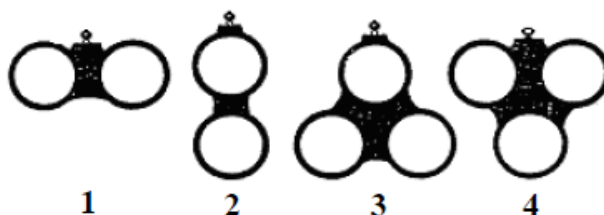
Obr. 5 Broková kozlice Beretta ráže 20/76



Obr. 6 Kulobroková kozlice ČZ ráže 6,5 x 57R/16/70

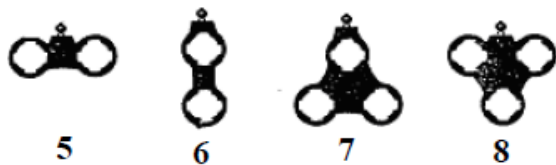
**Svazky brokových hlavní u zbraní:**

- 1 dvojka
- 2 broková kozlice
- 3,4 brokový troják



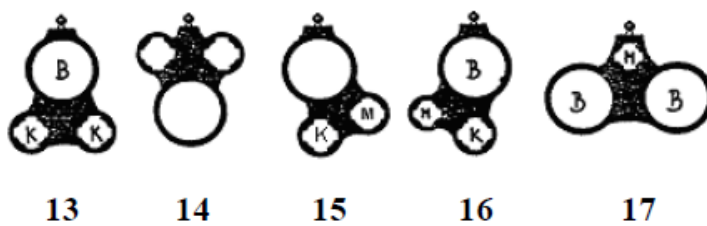
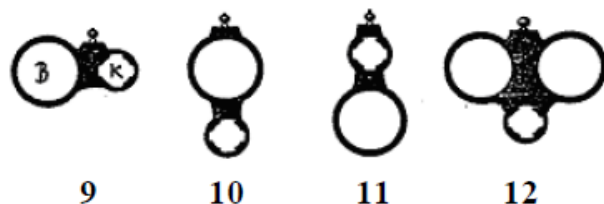
**Svazky kulových hlavní u zbraní:**

- 5 dvoják
- 6 kulová kozlice
- 7, 8 kulový troják



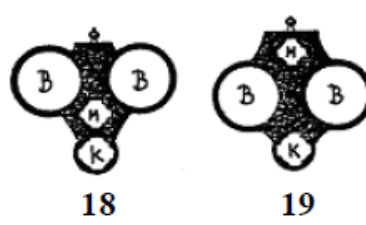
**Kulobrokové svazky hlavní u zbraní:**

- 9 obojetnice
- 10, 11 kulobroková kozlice
- 12 troják
- 13, 14 dvojákový troják
- 15, 16 trojče
- 17 trojáček
- 18, 19 čtyřče



**Legenda označení druhu hlavně:**

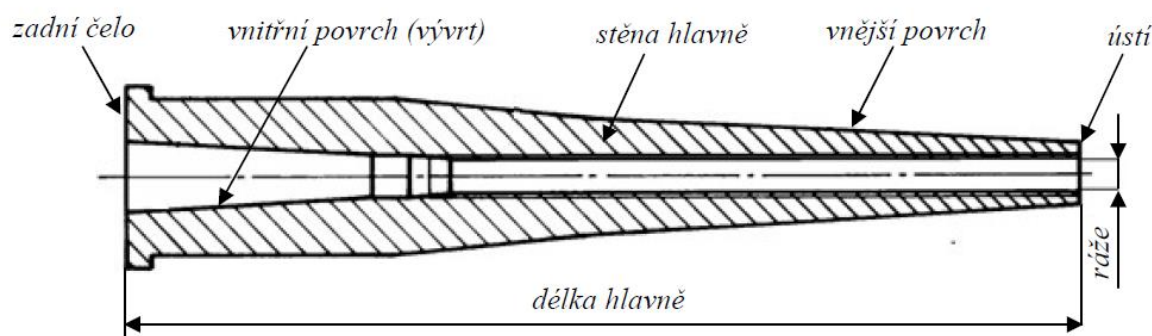
- B broková hlaveň
- K kulová hlaveň
- M malorážková hlaveň



Obr. 7 Kombinované hlavně loveckých zbraní [7]

## 2.4 Stěny hlavní palných zbraní

Vývrt, což je vnitřní prostor hlavně, rozdělujeme na dvě hlavní části. První z nich je nábojová komora, která se nachází v zadní části hlavně, v níž je náboj uložen a zabezpečuje spolehlivé nabíjení. Na komoru navazuje vodící část vývrtu, která je většinou drážkovaná a tím uděluje projektilu rotační pohyb. Díky rotaci se zvyšuje přesnost střely za letu mimo hlaveň.



Obr. 8 Základní popis hlavně [7]

Primárním ukazatelem hlavně, úzce související s druhem palné zbraně, pro kterou je hlaveň určena, je délka a kalibr.

Délka hlavně se udává v mm nebo palcích a je to vzdálenost mezi zadní částí a ústím hlavně. Čím je hlaveň delší, ale zároveň i těžší, tím je střela do určité míry přesnější. Záleží především k jakým účelům má hlaveň a celá zbraň sloužit.

Kalibr je vnitřní průměr hlavně. Jeho rozměr se udává v jednotkách délky a jejich násobcích a určuje, jaký projektil se dá použít pro danou hlaveň. U ručních palných zbraní kulových rozlišujeme mimo kalibr i pojem ráže, což je smluvní označení pro celý soubor údajů, jakými jsou například maximální a minimální rozměry náboje a jeho nábojnice, maximální povolený tlak a další. Ráže může být udána číslem (u brokových zbraní), určujícím počet kulí, odlitých z jedné anglické libry olova, které projdou vývrtem hlavně. Ráže se také udává jako měřítko délky hlavně, která je určena jako násobek její ráže. Označení ráže tedy znamená, jaký náboj je vhodný pro danou nábojovou komoru a pro daný kalibr.

Podle ráže se hlavně rozdělují na malorážové a dělové. U malorážových hlavní se používají střely plášťové a dělové hlavně vystřelují především střely s vodící obroučkou. [5]

Tvary hlavní se liší hlavně podle vývrtu a tloušťky stěny. Nejtlustší stěna bývá převážně v zadní části, kde je tlak plynů největší. Tloušťky stěny se navrhuje pro zajištění bezpečnosti v provozu o něco tlustší, aby měla stanovenou rezervu pevnosti při vyšším zatížení. Tloušťka stěny hlavně se musí zvětšovat s narůstajícím výkonem zbraně. Tloušťku však nelze zvětšovat neomezeně, neboť se zvětšováním tloušťky stěny se:

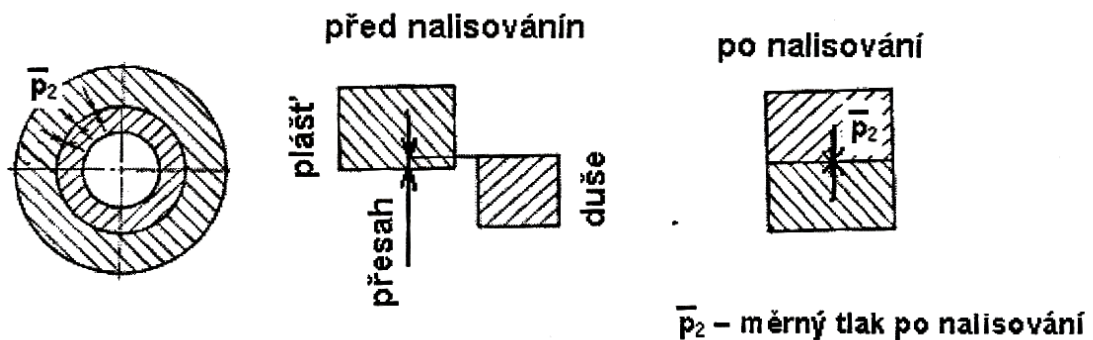
- zvyšuje hmotnost hlavně (větší náklady, horší manipulace),
- nelze důkladně prokalit stěnu hlavně v celé její tloušťce,
- snižuje gradient pevnostních charakteristik materiálu stěny hlavně. [5]

### 2.4.1 Fretáž

V případech, kdy není možné navrhnout hlaveň s racionální tloušťkou stěny pro určité provozní namáhání za přijatelné náklady, lze stěnu zpevnit technologií zvanou fretáž.

Principem fretáže je nalisování dalšího válce nebo prstenců na vlastní hlaveň za tepla a s přesahem. Vnitřní válec nese označení duše a vnější plášť. Stěna fretované hlavně může mít dva i více válců na sobě a plášť natažen po celé délce nebo jen v místě, ve kterém působí největší tlak.

Po ochlazení pláště dojde k sevření duše, čímž vznikne předpětí. To následně působí proti napětí ve stěně hlavně, která je zatížená při výstřelu. [5]



Obr. 9 Princip fretáže [5]

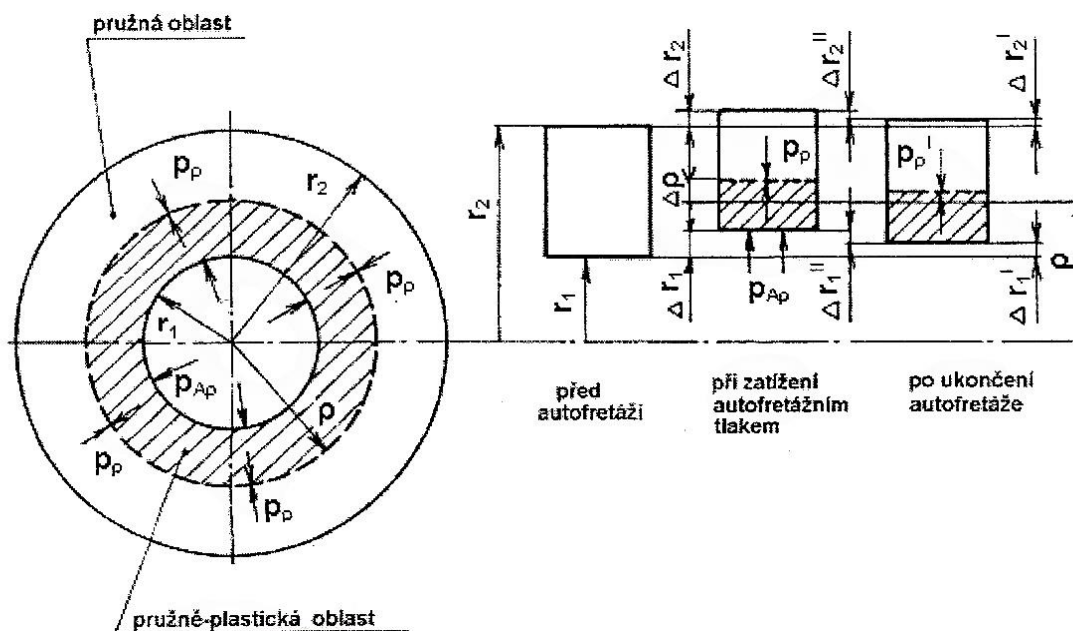
### 2.4.2 Autofretáž

Dalším technologickým způsobem pro zvýšení pevnosti stěny hlavně je použití autofretáže. Ta funguje na principu vytvoření autofretážního předpětí ve stěně hydrostatickým tlakem, nebo protahovacím trnem. Působí-li hydrostatický tlak přesně stanovenou silou, vzniká trvalá deformace stěny, zatímco vnější vrstvy mez kluzu nepřekročily a mají snahu se po odlehčení vrátit do původní polohy. Trvalá deformace vnitřních vrstev stěny hlavně tomu však brání. Výsledkem toho je tlakové předpětí ve vnitřních vrstvách a tahové ve vnějších.

Touto metodou vnikají ve stěně hlavně dvě oblasti, které se od sebe liší stavem deformace materiálu. Stěna, která je zpevněná autofretáží, se při opakovaném namáhání deformuje pružně, nedojde-li k překročení meze kluzu materiálu.

Vnitřní a vnější povrch se po ukončení autofretáže nevrací do původní polohy, nýbrž zaujme novou rovnovážnou polohu. Dojde ke zvětšení vnitřního poloměru  $r_1$  o velikost  $\Delta r_1$  a vnější o  $\Delta r_2$ . [5]





Obr. 10 Průřez stěnou hlavně po autofretáži [5]

## 2.5 Vývrt hlavně

Vývrt hlavně je komplex vodících ploch ve tvaru šroubovice, zajišťující roztočení střely okolo její podélné osy. Výsledkem je gyroskopická stabilizace projektilu, která zvětšuje dostřel a přesnost doletu střely.

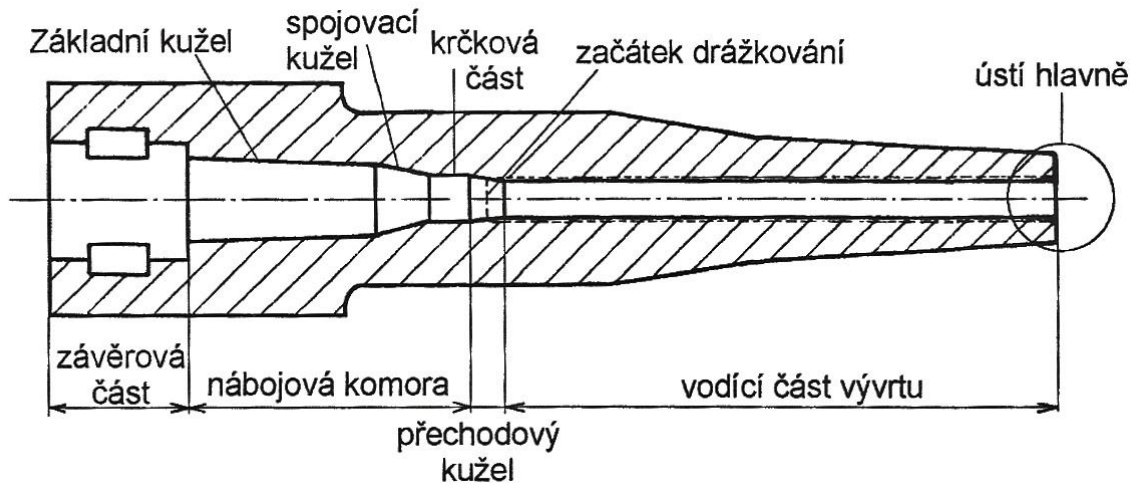
Drážky a pole tvoří vývrt hlavně, kde vystouplé prvky v hlavni jsou pole a vyříznuta místa jsou drážky. Každý typ hlavně se liší počtem, tvarem, hloubkou, směrem a velikostí stoupání drážky a pole.

Vývrt hlavně lze definovat jeho stoupáním, to znamená, že na jednu otáčku musí projektil urazit určitou vzdálenost. Čím je kratší vzdálenost, na které se projektil musí otočit, tím větší musí být stoupání vývrtu (a tedy i rotace projektilu). Velký důraz je kladen na prvky, které ovlivňují parametry drážek, jakými jsou ráže hlavně, typ střeliva, výrobní postup, materiál, požadované otáčky střely, přesnost a v neposlední řadě životnost. Existují příslušné oborové či státní normy, například v normě ČSN 39 5020 [6] lze dohledat optimální konfiguraci drážek v závislosti na ráži zbraně.

Z hlediska materiálu se například u malorážových zbraní nedoporučuje velký počet drážek (malý průměr vývrtu hlavně), protože šířka polí by byla malá a tím pádem by docházelo ke snižování pevnosti. Rovněž hluboké drážky by zapříčinily velké přetvárné procesy střely a s tím související nárůst odporu projektilu při průchodu hlavní. Z výrobních důvodů se vyrábí převážně sudý počet drážek dělitelný číslem 4 (u ráží do 10 mm, 4 nebo 6) [4], s šířkou obvykle poloviny průměru vývrtu hlavně. Nejčastěji se setkáváme s poměrem 1,5 – 2,5 [4], což udává šířku drážky k šířce pole.

Vývrt hlavně má obecně tyto části:

- nábojovou komoru, do níž se vkládá náboj nebo hnací náplň se střelou,
- přechodový kužel (přechod mezi nábojovou komorou a vodící částí vývrtu),
- vodící část vývrtu (drážkovaná). [5]



Obr. 11 Vývrt hlavně [5]

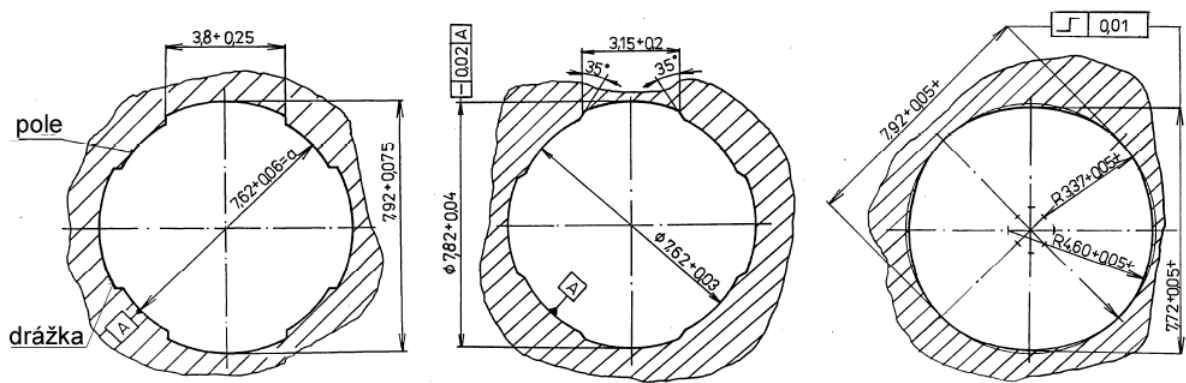
Posuzování přímosti vývrtu je prováděno pomocí stínu. Tato metoda je založena na využití stínového efektu, který vznikne při namíření hlavně na stínítko, které je vloženo mezi zdroj světla a hlaveň. Podle tvaru stínu lze usuzovat na místo a charakter ohybu hlavně. Zjištěné odchylky v přímosti hlavně se vyrovnávají na rovnacím lisu, do kterého se hlaveň při kontrole přímosti obvykle ukládá. Polygonální vývrt však nelze rovnat podle metody stínu, ale vyžaduje speciální rovnací stroj se zjišťováním přímosti hlavně pomocí laserového paprsku. [4]

## 2.6 Tvary drážek

Drážkovaný vývrt hlavně byl vynalezen již kolem 15. století Augustem Kotterem. Významnějšího použití se však dočkal až v 19. století. Za přední konstruktéry tehdejší doby byli považováni J. Whitworth a W. G. Armstrong. Pro takovéto tvarované vývrty hlavní bylo nezbytné změnit rozměry projektilů. Ty však z ekonomického hlediska byly podstatně dražší.

S dobou se na ručních palných zbraních osvědčilo jen pár principů drážkování a ty se zachovaly dodnes. Pravoúhlé drážkování, lichoběžníkové drážkování a polygonální profil jsou tři základní tvary, které se s vývojem jak výrobních technologií, tak používaných materiálů nejlépe osvědčily.

Pro třískové obrábění je nejvhodnější pravoúhlý tvar drážky. Radiálním nebo rotačním kovááním za studena, po případě protlačováním se upravuje drážka lichoběžníková, dříve často používaná. Polygonální vývrt se objevil v průběhu druhé světové války a jeho předností je delší životnost hlavně, snadnější údržba a dobré těsnící vlastnosti střely. Avšak pro aplikaci na delší hlavně je potřeba speciální zařízení, které zajistí přímost hlavně. [7]

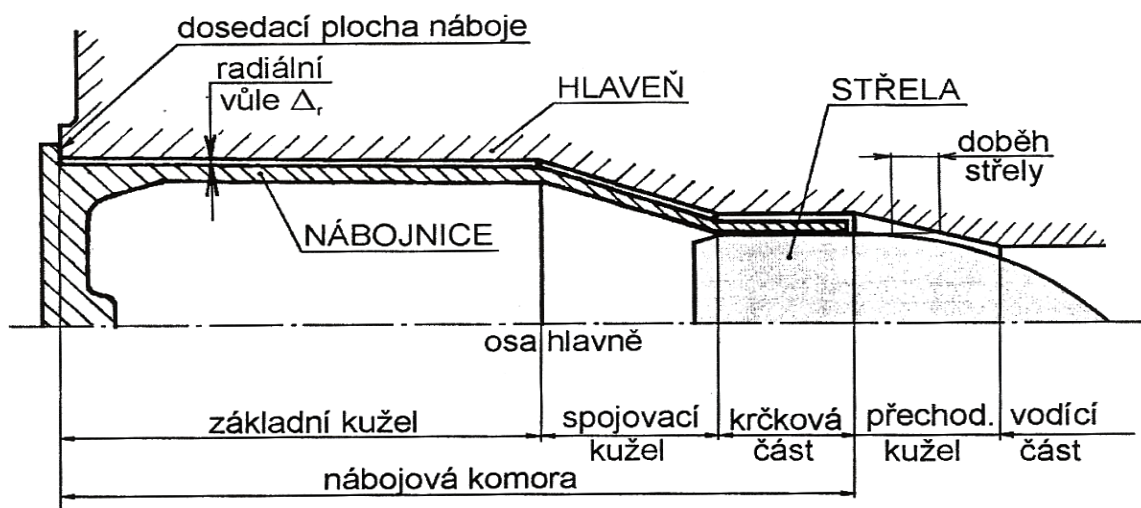


Obr. 12 Pravoúhlý, lichoběžníkový a polygonální profil drážek [19]

## 2.7 Nábojová komora

K uložení náboje do hlavně a vytvoření počátečního spalovacího prostoru slouží nábojová komora. Na druhu nábojnice závisí tvar nábojové komory. K nezákladnějším nábojnicím patří nábojnice s okrajem, drážkou nebo dosedacím nákrůžkem [4]. Tyto typy se využívají u malorážových zbraní, které mají, až na výjimky, pouze jednotnou střelu. Na správné poloze náboje v nábojové komoře závisí tolerance i axiální rozměry celého závěrového uzlu. Rozměry nábojové komory jsou normalizovány podle velikosti náboje se zahrnutím vůlí, které jsou nezbytné pro snadnou manipulaci s vkládáním náboje a vytahováním nábojnice.

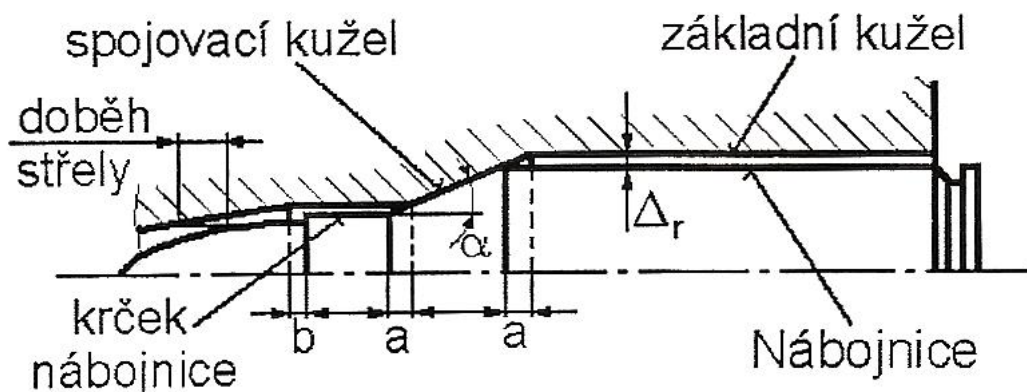
Nábojnice s okrajem doléhá na zadní část hlavně. Délka nábojové komory závisí na délce nábojnice, u které se musí počítat s výrobními tolerancemi. Pro tento typ nábojové komory je specifickým znakem vůle mezi nábojem a spojovacím kuželem. Výhodou nábojové komory pro náboj s okrajem je její spolehlivost při výstřelu a poměrně malé nároky na výrobu. Provozní nevýhody u automatických zbraní spočívají především v podávání při vysouvání z nábojového pásu a tvrdými rázy závorníku. [5]



Obr. 13 Nábojová komora kulových zbraní s ustavením polohy okraje nábojnice [5]

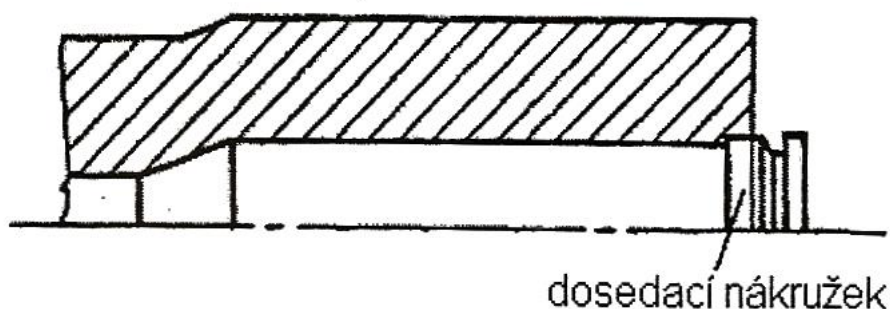
Dalším typem nábojnic je nábojnice s drážkou. Ta se opírá spojovacím kuželem o dosedací kužel hlavně. U tohoto provedení je nezbytné důkladně sledovat tolerance při výrobě nábojnice

a celého náboje. Nevýhodou zmiňovaného mechanismu je deformace nábojnice v důsledku setrvačných sil při zasouvání náboje do nábojové komory. Deformace je způsobena vysokou rychlostí palby a malým vytvarováním náboje. Při tomto jevu může dojít až k nepravidelné činnosti zbraně při výstřelu. K zamezení selhávání zbraně se proto doporučuje, u větších ráží, posunutí spojovacího kuželu komory do zadní části hlavně o 0,3 až 0,8mm [5]. Tímto se závorník uzamkne, díky setrvačné síle celého závěru, následně přitiskne náboj na spojovací kužel a do požadované pozice ho umístí řízená deformace nábojnice. U zbraní, kterým chybí spojovací kužel, ustavení polohy jistí přední hrana nábojnice.



Obr. 14 Poloha náboje ve spojovacím kuželu [5]

Třetí možností, jak dostat náboj do správné polohy v nábojové komoře, je pomocí nábojnice s dosedacím nákružkem. Ta svým tvarem zaručí pohodlné vysouvání náboje z pásu a zároveň má stejné výhody jako nábojnice s okrajem. Ke snížení výtahových sil se opatřují dvě úpravy. Komora je opatřena podélným odlehčujícím drážkováním (systém Revelli [5]) a náboj prochází povrchovou úpravou. Nejčastěji se provádí lakování, fosfátování a voskování, což je také určitá povrchová ochrana nábojnice [5]. Kuželovitost a jeho tolerance, materiál nábojnice a hloubka nábojové komory (měřena kalibry), jsou nedílnou součástí kontrolovaných aspektů při výrobě.

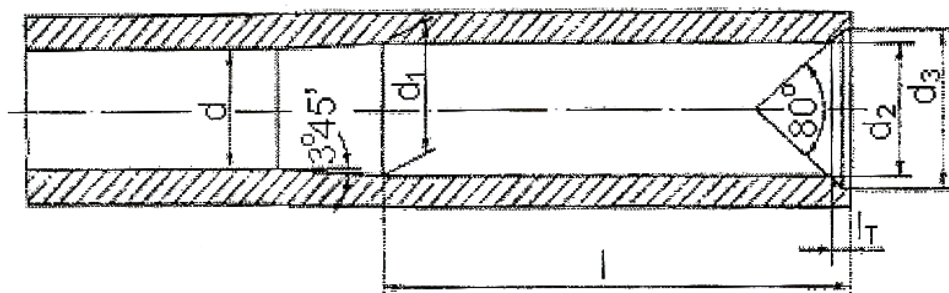


Obr. 15 Zajištění polohy náboje dosedacím nákružkem [19]

Nábojová komora brokové hlavně je mírně kuželovitá z důvodu lepšího vytahování prázdné nábojnice. U těchto nábojových komor rozlišujeme následující údaje:

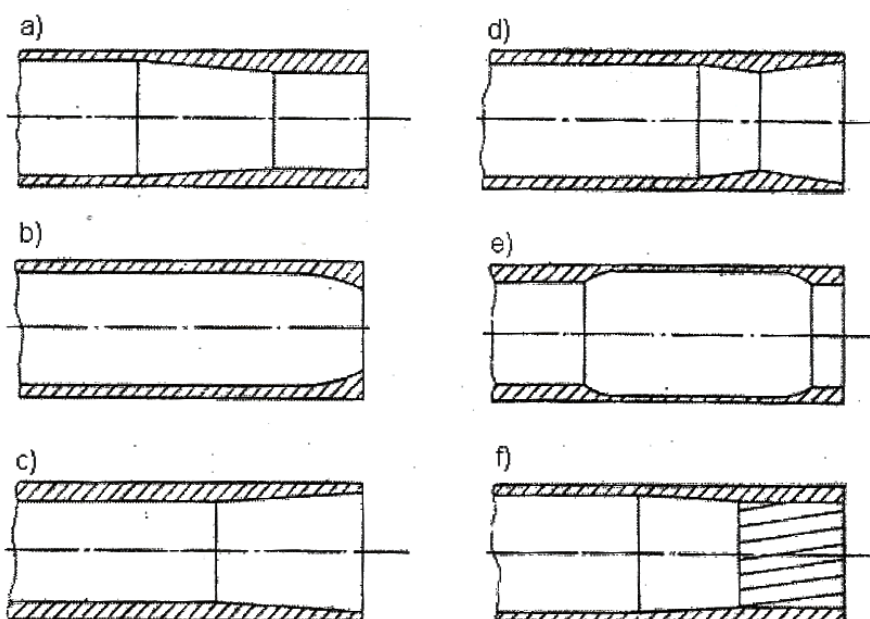
- průměr vývrtnu hlavně  $d$ ,
- přední průměr nábojové komory  $d_1$ ,
- zadní průměr nábojové komory  $d_2$ ,

- průměr zahloubení pro okraj dna nábojnice  $d_3$ ,
- hloubka zahloubení pro okraj dna nábojnice  $l_T$ ,
- délka nábojové komory  $l$ . [7]



Obr. 16 Nábojová komora brokovnice [4]

Podle normy ČSN 39 5020 [6] jsou rozměry vývrtu brokové hlavně normalizovány. Pokud je vývrt hlavně po celé své délce válcovaný až k ústí, jde o hlavěň válcovou neboli nezahrdlenou. Má-li však vnitřní část v místě ústí tvarovanou, jde o tzv. zahrdlení (anglicky „choke“) a jde tak o hlavěň zahrdlenou. [7]



Obr. 17 Tvary zahrdlení brokových hlavní [4]

## 2.8 Přejchodový kužel

Funkci přechodového kuželu je zaklesnutí vodící části náboje do drážek vývrtu hlavně. Napomáhá k utěsnění plynů střelou, zařiznutí vodící části projektilu do drážek vývrtu a částečně se podílí i zažehnutí prachové náplně. Je krajně nežádoucí, aby se střela zalisovala do přechodového kužele, neboť uvolní projektil v krčku nábojnice, čímž negativně ovlivní vnitrobalistické vlastnosti a zároveň znepríjemní vytahování selhaného náboje. Doběh střely do počátečních míst přechodového kužele musí být co nejkratší.

Provozním opotřebáváním se přechodový kužel posune vpřed, čímž se zmenší jeho strmost a velikost doběhu se zvětšuje. Následkem toho vzniká situace, kdy plyny začnou střelu předbíhat a tím přechodový kužel odírat, nadměrně vyhřívat a snižovat tak jeho odolnost vůči otěrům studené střely.

Na životnost hlavně má velký vliv tvar, povrchová úprava i rozměr přechodového kuželu. Optimální délka přechodového kuželu musí být taková, aby v momentě, kdy část střely opustí ústí nábojnice, byla vodící část střely zaříznuta do drážek. Dvojitou kuželovitostí přechodového kuželu, dosáhneme zkrácení doběhu. Malorážové hlavně mají kuželovitost obvykle v rozsahu 2°–5° [5]. Existují však hlavně, jež mají vnitřní povrch chráněný určitým druhem povlaků, např. chromovou vrstvou. Tloušťka tohoto povlaku, na rozdíl od nábojové komory, se v místech přechodového kuželu a ve vodící části nanáší 2–3krát silnější vrstvou [5].

### 3 Materiály hlavní palných zbraní

Nejpoužívanějším materiálem pro výrobu hlavní palných zbraní je v současné době ocel. V ojedinělých případech lze použít i hliníkové slitiny a titan, u zbraní využívaných armádou se můžeme setkat i s vyztuženými plasty (kompozity).

Základními vlastnostmi materiálu pro výrobu hlavně jsou:

- pevnost,
- houževnatost,
- tvrdost,
- žáruvzdornost,
- chemická odolnost.

Díky vysoké pevnosti dokážou hlavně odolávat obrovským tlakům prachových plynů, vytvořených během výstřelu. Houževnatostí je docíleno toho, že nedochází ke křehkému lomu, obzvláště za snížených teplot rychlým a opakujícím se zatěžováním. Tvrdost zaručí, aby se hlaveň při průchodu střely neopotřebovala. Žáruvzdornost a chemická odolnost je nezbytná při působení prachových plynů, koroze a dalších vlivů. Všechny tyto vlastnosti musí být neměnné v teplotním rozmezí -50 °C až 600 °C [5]. Povrch vývrtu uvnitř hlavně musí krátkodobě odolávat teplotám až do 1200 °C [5].

Hlavně musí být také dobře obrobitelné a jak mechanickými vlastnostmi, tak chemickým složením vhodné pro technologickou výrobu. Z delšího pozorování vychází, že tepelné zpracování, které zlepšuje obrobitelnost a hospodárnost výroby, negativně ovlivňuje výkon a životnost hlavně. Výrobci se proto snaží najít kompromis, zajišťující optimální obrobitelnost a zároveň potřebnou životnost.

#### 3.1 Oceli na výrobu hlavně

Pro výrobu hlavní palných zbraní se díky svým vlastnostem nejlépe hodí legované oceli. Naši výrobci hlavně jsou zatím omezovali předpisy, určující značku ocelí, které mohou být použity při výrobě hlavní palných zbraní. To samé platí i pro další komponenty potřebné k sestavení zbraně. U výroby některých malorážových zbraní, především brokových a vložných, konstruktéři využívají nerezavějící oceli. Tyto oceli velmi dobře odolávají korozi, ale na druhou stranu jsou poměrně drahé a těžko povrchově upravitelné.

Destruktivní zkoušky slouží k vyhodnocování mechanických vlastností ocelí, použitých k výrobě hlavních. Dané zkoušky jsou normalizovány a výsledné hodnoty nemají jednoznačný fyzikální význam, ale berou se za hodnoty konvenční, přesně určeny v normách.

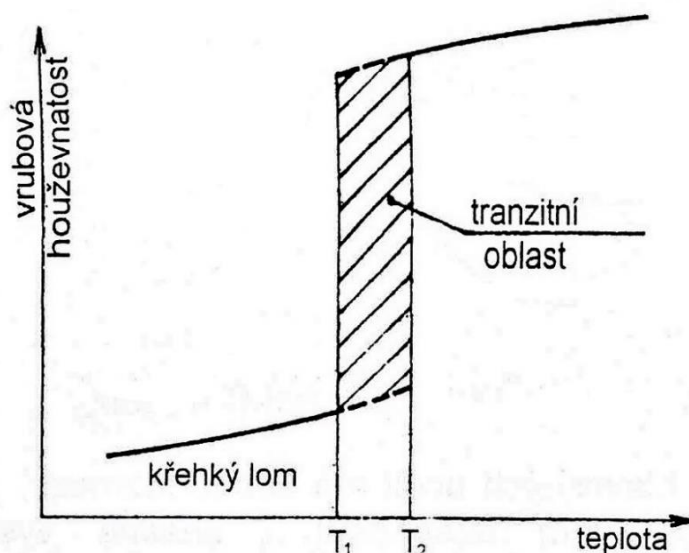
Základními pevnostními charakteristikami jsou:

- mez kluzu,
- smluvní mez kluzu,
- mez pevnosti v tahu,
- tažnost,
- kontrakce,
- vrubová houževnatost,
- dynamická lomová houževnatost. [5]

Pod pojmem mez kluzu materiálu se rozumí velikost napětí, které je potřebné k jeho trvalé deformaci. Pokud napětí nepřesáhne hodnotu meze kluzu, materiál se po odstranění napětí vrátí zpět do původního tvaru. Jestliže však napětí překročí mez kluzu a jeho hodnota se bude dále zvětšovat, dosáhne maxima, který označujeme jako mez pevnosti. Vlastnosti jako jsou mez kluzu i mez pevnosti lze u kovů ovlivnit. Neefektivnějším způsobem je teplotné zušlechťování nebo tváření za studena. Zavádění pojmu smluvní meze kluzu se využívá v případě, kdy není jednoznačně zřetelný konec počáteční lineární závislosti mezi napětím a deformací. [8]

Tažnost můžeme definovat jako prodloužení měřené délky materiálu, před a po vykonání tahové zkoušky. Kontrakce vyjadřuje, stejně jako tažnost, míru plasticity daného materiálu. Udává nám relativní zúžení průřezu na základě rozdílu počáteční plochy průřezu a průřezu v místě lomu (místě přetržení) zkušebního materiálu, při tahové zkoušce. [9]

U ocelí se nesmí zapomínat na houževnatost, která je výrazně závislá na teplotě. Přechodová neboli tranzitní teplota charakterizuje přechod od houževnatého porušování ke křehkému. To se děje při klesající teplotě. Tranzitní teplota určuje oblast, pod kterou materiál již nedokáže odolávat rázovému namáhání.



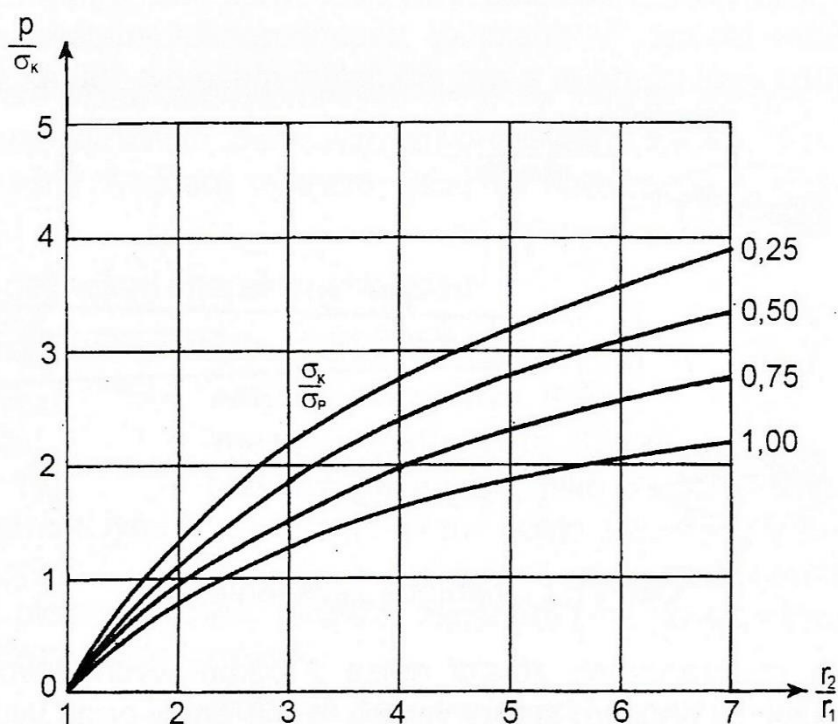
Obr. 18 Přechod ke křehkému lomu [5]

Zaměříme-li se na zkoušky hlavní u malorážových zbraní, je zde velký problém připravit vzorek v příčném směru z rozměrových důvodů. Nejčastěji se proto provádějí zkoušky přímo na části hlavně, která je v laboratoři opakovaně namáhána tlakem, který simuluje reálný výstřel.

Dnešními technologickými procesy dokážeme vytvořit vysokou pevnost u ocelí určených k výrobě hlavní. Avšak důležité je zachovat u této oceli dobrou plasticitu a obrobitelnost, což je pro technologii omezující. Důležitým předpokladem, co se týče bezpečnosti hlavnových ocelí s vysokou pevností, je zachování dostatečného odstupů meze kluzu od meze pevnosti. Následující rovnice definuje horní hranici porušení hlavně:

$$p_{hh} = \frac{2\sigma_K}{\sqrt{3}} \ln \frac{r_2}{r_1} \left( 2 - \frac{\sigma_K}{\sigma_P} \right).$$

Na obr. 19 je znázorněn vliv poměru meze kluzu a meze pevnosti na odpor hlavně, který se také objevuje v rovnici, viz výše.



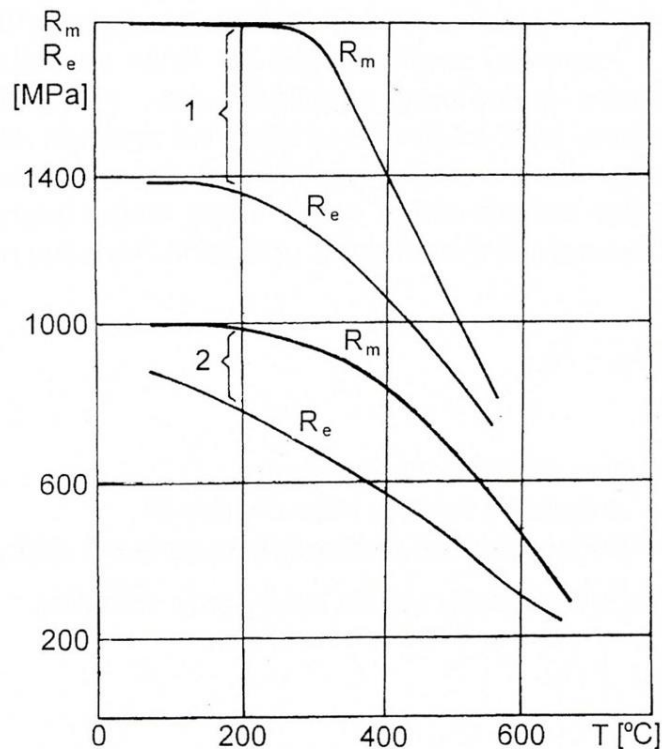
Obr. 19 Vliv poměru  $\sigma_K/\sigma_P$  na odpor hlavně [5]

Přibližuje-li se mez kluzu k mezi pevnosti materiálu, blíží se horní hranice porušení hlavně k její dolní hranici a tím dochází k poklesu potřebné plastické rezervy.

Pro zvyšování balistických výkonů výrobci hlavnových ocelí volí bohatě legované oceli s vysokou pevností, což ale způsobuje zvýšenou citlivost k nízkocyklové únavě. Přidá-li se k tomu vliv působení teplotních rázů, vyvolaných při střelbě, může dojít k tvorbě a následnému šíření trhlinek na vnitřním povrchu hlavně.

Se zvětšující se teplotou mění ocel svoji pevnost a další vlastnosti. Obr. 20 naznačuje závislost pevnostních charakteristik, meze pevnosti a meze kluzu, na teplotě. Jako příklad jsou zde uvedeny hlavnové oceli ORD 4330V (1) a Cr – MO – V (2). [10]





Obr. 20 Závislost mechanických vlastností na teplotě [10]

Pro výrobu hlavní palných zbraní je možné se u nás nejčastěji setkat s oceli 13 242, 15 142 a 15 230 [4]. Přísadovými prvky těchto ocelí jsou mangan, chrom, vanad a křemík [11]. U méně namáhaných hlavní může být použita uhlíková konstrukční ocel 12 061 za předpokladu, že je u této oceli zaručena prokalitelnost. Zahraniční výrobci oceli tuto situaci řeší dalším přísadovým prvkem, kterým je molybden [4]. Některé lovecké zbraně jsou vyráběny z nerezové oceli, zejména hlavně brokové a vložné. Ty jsou však poměrně drahé a těžko se povrchové upravují.

Velkým úkolem konstruktérů je zlepšování vlastností materiálu a za tímto účelem dochází k úpravám struktury ocelí mnoha způsoby. Zkoušeny jsou různé technologie a jednou z nich je jednorázové řízené podchlazování oceli. Tato metoda má za následek lepší mechanické vlastnosti oceli a delší životnost. Pro hlavně malých ráží jsou přístupné i materiály, u kterých kromě hlubokého podchlazení je ovlivněna i mikrostruktura v propojení s ultrazvukovými vlnami o velké amplitudě a elektromagnetickými pulsy. Snížení vnitřních pnutí a strukturální změny přispívají k delší životnosti, a dokonce i menšímu rozptylu (udává se až o polovinu [5]).

Je důležité přesně stanovit, co by neměla ocel obsahovat, např. nitrid titanu. Mělo by se také dbát, aby ocel neobsahovala velké množství nežádoucích prvků, síry a fosforu, kombinaci hliníku, cínu, mědi a podobně. Mikrostruktura nesmí být hrubozrnná, ale jemnozrnná, tvořená homogenním sorbitem bez feritu. Hodnota tvrdosti by neměla fluktuovat o více jak 10 % [5]. V osvědčení by mělo být doloženo hodnocení mikrostruktury a výsledky měření mikročistoty.

Dnešní hlavně se vesměs vyrábějí buď z výkovku nebo tyčové oceli třískovým obráběním, protlačováním nebo kováním. Co se týče rotačního kování, je nejehospodárnější z hlediska procesů ze všech technologií výroby. Výhoda rotačního kování spočívá v tom, že na jeden úkon se zhotoví požadovaný vnitřní povrch, hladký, drážkovaný, případně i s nábojovou komorou, který nemusí být dále dohotovován, kromě povrchové úpravy (např. chromování).

Další výhodou moderních kovacíh strojů je i možnost během kování plynule přestavovat kuželový kovací trn v podélném směru. Díky tomu lze kovat i kuželové vnitřní tvary vývrtnu, což má příznivý vliv na přesnost střelby a vyšší životnost hlavně. [4]

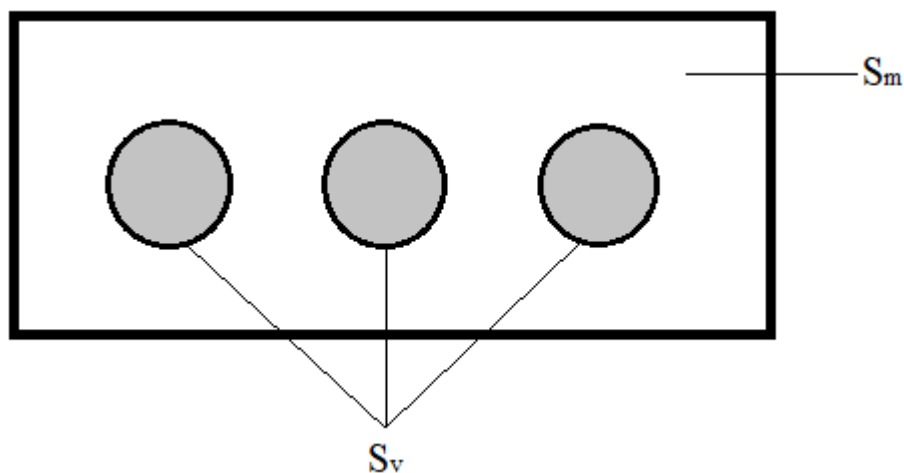
### 3.2 Slitiny lehkých kovů

Hliníkové slitiny jako materiál na výrobu hlavních jsou využívány především u vojenské techniky, např. ruční tenkostěnné protitankové zbraně. Tyto zbraně fungují na principu raket, které mají malý tlak v hlavní a jsou bezzákluzové. Hliník jako samostatný materiál je však na výrobu hlavních, zejména jeho mechanickými vlastnostmi, nepoužitelný. Na druhou stranu jeho slitiny s jinými prvky mají zcela odlišné vlastnosti. Jejich velkou předností je nízká měrná hmotnost ( $2,7 \text{ g.cm}^{-3}$ ), čímž je dosažena lepší manipulativnost. Dále snadná obrobitelnost a dobrá odolnost vůči korozi. [5]

Slitiny titanu mají o něco větší měrnou hmotnost ( $4,5 \text{ g.cm}^{-3}$ ) než hliníkové slitiny, ale zato vyšší tepelnou odolnost. Stejně jako výše zmiňovaná slitina i titan má dobré korozivzdorné vlastnosti a vysokou pevnost. U této slitiny je také výhodou nízká tepelná vodivost a ve výsledku i malý modul pružnosti. Stejně jako slitiny hliníku i titan je vhodný pro výrobu hlavních bezzákluzových zbraní. Tedy zbraní, u kterých část utvořených plynů při výstřelu směřuje vzad, čímž vytvoří působící sílu směřující vpřed a tím zmírní zpětný ráz výstřelu. [5]

### 3.3 Kompozity

Kompozity neboli vyztužené plasty jsou v poslední době vývojáři velmi probíraným a rozšířeným materiálem, používaným k výrobě hlavních. V porovnání s kovovými materiály jsou kompozity daleko více nehomogenní a anizotropní. Podíváme-li se na tyto materiály z hlediska mikrostruktury, jsou tvořeny dvěma složkami, výtuzí (armaturou) a pojivem (matrice). Jednotlivá vlákna orientovaná jedním směrem, obklopená pojivem, tvoří materiálovou makrostrukturu, viz obr. 21. Tento materiál má kombinaci hned několika odlišných vlastností oproti zmiňovaným slitinám. Těmi jsou především vysoká pevnost, nízká měrná hmotnost, odolnost proti nárazu, korozivzdornost, relativně nízká tepelná vodivost. Tyto materiály se dají používat i za vyšších provozních teplot.



Obr. 21 Průřez kompozitu,  $S_m$  – průřez matrice,  $S_v$  – průřez vláken

Kompozity vyztužené skleněnou tkaninou (prepregy), mají porovnatelnou pevnost jako oceli. Nevýhodou, díky nízkému modulu pružnosti, je malá tuhost, která způsobuje velké deformace a ztrátu nosné stability. Použitím jiného druhu vlákna než skleněného, lze kompenzovat tento nedostatek. Jako příklad vhodných vláken můžeme uvést vlákno uhlíkové, grafitové, kevlar apod [5]. Touto náhradou docílíme zvýšení modulu pružnosti, čímž ale porostou výrobní náklady.

Dalšími pozorovanými nedostatky kompozitních materiálů je chybějící charakteristická mez kluzu a nepřizpůsobivost materiálu při neočekávaném přetížení.

Kompozitní materiály se používají převážně u loveckých kulových zbraní malých ráží. Ukázalo se, že nejvhodnější sestavou hlavně s kompozitními komponenty je duše vyrobená z nerezové oceli, opatřená drážkovaným vývrtem. Ten má na vnějším povrchu plášť z kompozitu vyztuženého uhlíkovými vlákny. Kulovnice tak váží o zhruba 0,5 kg méně než standardní i přesto, že je plášť poměrně tlustý [5]. Dalším pozitivním faktem je větší přesnost střelby, a to díky tlumenému kmitání hlavně.

### **3.4 Materiály vložek hlavní**

Ke zvyšování životnosti hlavní, především u zbraní s rychlým opakovaním po sobě jdoucích střel, se vývrt vyrábí ze žárupevných materiálů. Tyto materiály mohou sloužit také jako povrchová úprava vývrtnu. Jako nejlepší žáruvzdorný materiál pro vložky do hlavní, se jeví stellyty, což jsou slitiny kobaltu, chromu a wolframu. Kromě vysokého bodu tání stellyty neztrácejí svou tvrdost (až 64 HRC), a to do teploty 600 °C a dobře odolávají erozi [5]. Díky ocelové hlavni, která slouží jako plášť a brání nadměrné roztažnosti, nedochází k lomu vložky.

Mezi další žáruvzdorné slitiny můžeme uvést například Inconel 718, což je austenitická slitina na bázi niklu a chromu (50-55 % Ni a Co, 17-21 % Cr, 3 % Mo, 5-6 % Nb a Ta). U slitin Inconel jsou žádoucími vlastnostmi odolnost proti korozi a oxidaci. Jsou vhodné pro provoz v prostředí, které je extrémní díky vysokému tlaku a teplu. Se zvyšující se teplotou vytváří Inconel stabilní oxidovou vrstvu, která následně chrání povrch před dalšími nežádoucími jevy. [5]

### **3.5 Povrchová úprava vývrtnu**

Povrchová úprava vývrtnu zvyšuje jeho odolnost vůči korozi a opotřebení obecně. Existuje několik druhů povrchových úprav a tato práce pojednává o některých z nich.

#### **3.5.1 Chromování**

Jako nejvhodnější materiál na úpravu vývrtnu se svými vlastnosti jeví chrom. Ke stěžejním znakům tohoto kovu patří vysoká teplota tání (1863 °C) [5]. Chrom lze nanášet na povrch vývrtnu galvanicky (tvrdým chromováním), dále má vysokou pevnost a tvrdost za vysokých teplot, tažnost i za nízkých teplot. Je odolný proti erozi a korozi z chemických účinků prachových plynů.

Tvrdé chromování vývrtnu hlavně je nejběžnější povrchovou úpravou u malorážových zbraní. Díky této metodě se podstatně zvyšuje životnost hlavně a snižuje nákladovost na zhotovení. Chromová vrstva může mít různou tloušťku, v závislosti na ráži a požadované životnosti. Rozmezí tloušťky chromové vrstvy je od 0,005 mm v nábojové komoře až do 0,3 mm i více v drážkované části vývrtnu [5]. O danou tloušťku se musí zvětšit i rozměr vývrtnu při výrobě. Tvrdost chromování je omezená ráží a to do 30 až 40 mm [5]. Důvodem je horší přilnavosti chromové vrstvy k vývrtnu hlavně s rostoucí ráží.

Další z metod, jak zvýšit odolnost vývrtu hlavně proti opotřebení se jeví jako účinná iontová nitridace a karbonitridace.

### 3.5.2 Nitridace

Nitridování je způsob povrchového tvrzení, při kterém se za tepla nasycuje povrch oceli dusíkem, vznikají nitridy. Typické u nitridování je, že povrch je i bez kalení tvrdý, stačí ho pouze pozvolně ochlazovat. Výhodou je i to, že zabráníme deformacím, které vznikají při kalení.

Nitridování se provádí při teplotě do 580 °C [12] a oceli s obsahem hliníku, chromu a dalších prvků mají nejlepší tvrdost. Důležitou součástí pro nitridaci je vhodná, hermeticky uzavřená pec. V peci působí na součásti, které chceme nitridovat, plynný čpavek. To se děje při teplotě okolo 500 °C, při které se čpavek rozkládá na dvě složky: dusík a vodík.

Dusík při štěpení vniká do kovové čistého povrchu oceli, kde se slučuje s jednotlivými prvky, jakými jsou Fe, Mo, Cr, V a dalšími. Tím vytvoří ucelené tvrdé nitridy, za určitých teplot velmi stabilní. Podstatou procesu nitridování je difúze dusíku a vylučování jemných částic nitridů. V atomové mřížce vzniká napětí, které se projeví nárustem tvrdosti. Tloušťka vrstvy závisí jak na délce procesu, tak na teplotě a chemickém složení nitridované oceli. Vrstva o tloušťce 0,01 mm vzniká přibližně 1 hodinu. Nitridační oceli mívají vrstvu o tloušťce okolo 0,3 mm. [12]

Jednou z nevýhod tohoto zpracování je doba procesu, která je vzhledem k ostatním způsobům tepelného zpracování poměrně dlouhá. Z toho vyplývá, že i ekonomicky je tato metoda povrchové úpravy o něco náročnější. Na druhou stranu, nitridováním vznikají i velmi žádané vlastnosti, kterými jsou kromě tvrdosti i odolnost proti opotřebení a teple. Tvrdost součástí, které jsou cementované nebo kalené, klesá již při zahřátí na 200 °C, tvrdost vrstvy nitridované ztlačně neklesá ani po zahřátí na teplotu 600 °C [12].

Další dobrou vlastností nitridace je odolnost proti korozi, která je srovnatelná se součástmi, které jsou niklované nebo vyrobené z nerezové oceli. Proti korozi se nitridují převážně oceli nízkouhlíkové, vysokouhlíkové, slitinové anebo šedá litina. Protikorozi nitridování se provádí při různých teplotách a na povrchu se vytvoří vrstva o tloušťce 2 - 5 μm, nazývaná antikorozi fáze [12]. Součásti s nitridovaným hladkým povrchem jsou odolnější proti korozi. Rychle ochlazená vrstva má lepší korozivzdorné vlastnosti, na rozdíl od vrstvy ochlazované pozvolna.

Nitridování dále zvyšuje mez únavy výrobku. Vnitřní tlakové pnutí nitridační vrstvy působí proti tahovým pnutím, která jsou zdrojem únavových lomů. V neposlední řadě je nutné počítat s vyšší křehkostí vrstvy a její minimální tloušťkou pro dané součásti a brát je v úvahu při konstrukci.

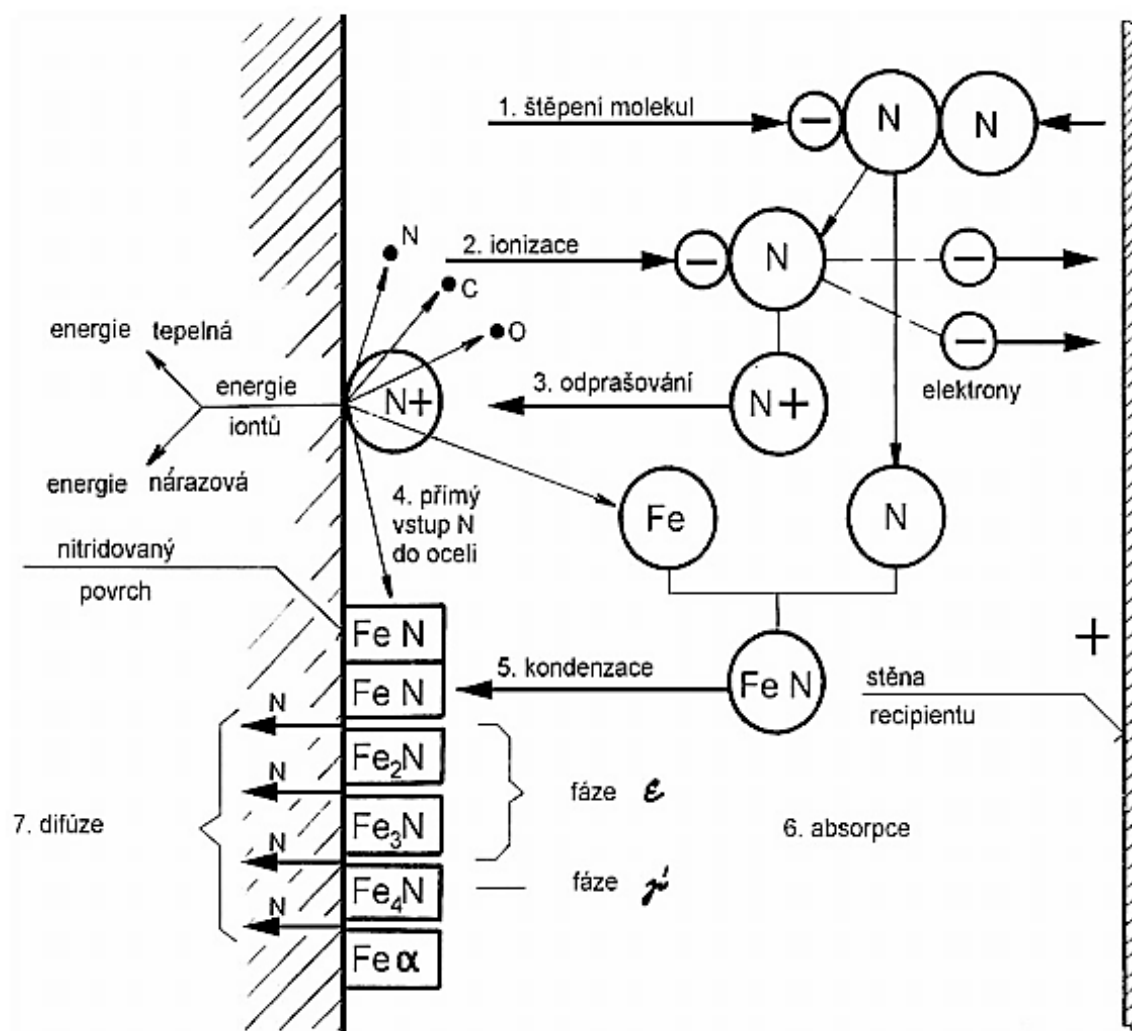
Nitridaci podle prostředí, kde se provádí můžeme rozdělit na:

- nitridaci v lázni,
- nitridaci v plynu,
- nitridaci v prášku,
- nitridaci v plazmě.

Při nitridaci v lázni se používá jako nitridační prostředí roztavené kyanidové soli v otevřené, vytápěné, titanové nebo železné nádobě. Pro nitridaci v proudu plynného čpavku a nitridaci v prášku jsou vhodné elektricky nebo plynem vytápěné pece. Tyto metody se již v dnešní době moc nevyužívají. V současné době se nejvíce využívá metody nitridace v plazmě.

### 3.5.2.1 Plazmová nitridace

Plazmová nitridace, která se někdy vyskytuje pod pojmem iontová nitridace, je proces, při kterém dochází k syčení povrchu součástí z oceli, litiny, železa a dalších neželezných kovů dusíkem. Tento děj probíhá v plazmatu anomálního doutnavého výboje. Díky této technologii chemicko-tepelného zpracování má v dnešní době plazmová nitridace velké využití.



Obr. 22 Schéma dějů probíhajících na povrchu součásti při iontové nitridaci [21]

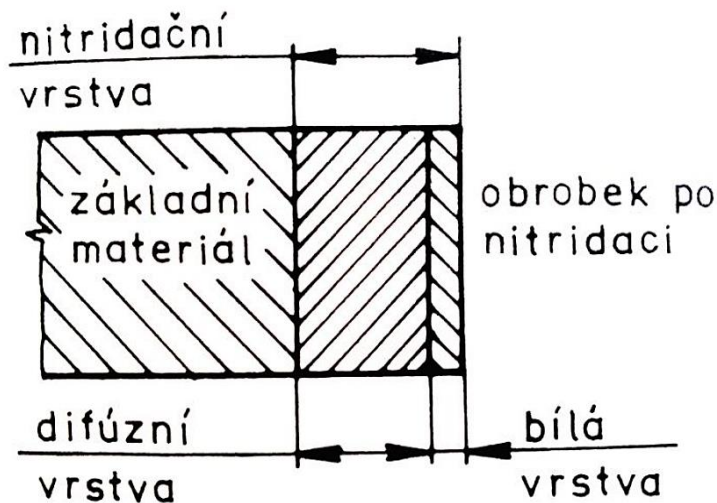
Během procesu ionizace jsou součásti uloženy ve vakuové uzemněné nádobě, tzv. recipientu. Stěny nádoby jsou zapojeny jako anoda, kdežto nitridované součásti jsou zapojeny jako katoda. V recipientu je po dobu procesu udržován snížený tlak dané směsi plynů. Směs plynů je nejčastěji tvořena z dusíku ( $N_2$ ) a vodíku ( $H_2$ ). Mezi součástí a stěnou recipientu, tedy katodou a anodou, vzniká po připojení stejnosměrného proudu elektrické pole o napětí 400 V až 1000 V. Hodnoty proudu, napětí, tlaku nebo teploty musí být nastaveny tak, aby odpovídaly oblasti anomálního výboje. V takovémto elektrickém poli začnou molekuly zředěného plynu migrovat a dochází ke srážkám, které mají za následek jejich štěpení a ionizaci. Kladné ionty jsou urychlovány ve směru k vsázce, na níž dopadají s vysokou kinetickou energií. Největší rychlosti nabývají ionty až v bezprostřední blízkosti povrchu součásti.

Nárůst rychlostí a kinetická energie nejsou lineární a z toho vyplývá, že největší intenzita dějů probíhá u povrchu součásti. K největšímu štěpení a ionizaci tedy dochází v této oblasti a nezáleží na tvaru součásti ani na vzdálenosti od recipientu. [13]

Na obr. 22 můžeme pozorovat děje, které probíhají právě při ionizaci. Do povrchu součásti narážejí kladné ionty, které část své energie nárazem přemění na teplo a tím součást ohřívají. Zároveň jsou z povrchu součásti vyráženy atomy železa a další prvky. Ty vytvářejí s atomárním dusíkem nitridy, které nazpět kondenzují do míst povrchu vsázky. Tam se rozpadají na nitridy železa. Katodové odprašování, jak se tomuto jevu říká, je nejvýznamnějším dějem celé iontové nitridace. Kromě železa se odprašují i další prvky jako uhlík, kyslík a dusík.

Plazmově nitridovat je možné v prostředí s jedním plynem ( $\text{NH}_3$ ) nebo až třemi plyny, které musí být smíchány ve stanoveném poměru. Po nitridaci je na povrchu součásti vytvořena vrstva, která má dvě části. Tzv. světlejší, bílá vrstva a difúzní, tmavší vrstva. Bílá vrstva se nachází nejbližší u povrchu a je tvořena jemně rozptýleným nitridem železa. Složení této vrstvy lze ovlivnit chemickým složením nitridačního plynu. Například použitím plynu, který neobsahuje uhlík, se vytvoří monofázová bílá vrstvička nitridu  $\gamma'$  o tloušťce maximálně 8  $\mu\text{m}$  [12]. Tato vrstvička je sloučenina nitridu železa  $\text{Fe}_4\text{N}$  s krychlovou mřížkou (BCC). Výhodou vrstvičky je vysoká tvrdost, výborná odolnost proti opotřebení a v neposlední řadě antikorozi vlastnosti. Difúzní vrstvy se také podílejí na vlastnostech materiálů opatřených nitridací. A to zejména nitridací za nízkých teplot (400  $^{\circ}\text{C}$  - 500  $^{\circ}\text{C}$ ) dosahuje tato vrstva největší tvrdosti. Při teplotě nad 550  $^{\circ}\text{C}$  dochází k poklesu tvrdosti, na druhou stranu se však zkracuje doba nitridace [12].

Mezi nejčastěji používané materiály v rámci České republiky, vhodné zejména pro použití plazmové nitridace jsou oceli 15 142 [12] (pro vyšší namáhání – krátké i delší hlavně), 15 330 [11] a 16 341 [12] (vysoce namáhané se zvýšenou odolností proti tepelné únavě).



Obr. 23 Schéma složení nitridační vrstvy [21]

### 3.5.3 Další povrchové úpravy

Tepelné odstínění je snížení přestupu tepla a tím i menší ohřev hlavně. K této vlastnosti se nejvíce přiblížil oxid zirkoničitý  $\text{ZrO}_2$ . Aplikuje se v tenké vrstvě na vnější povrch vložky. Ze zkoušek hlavně kulometu M 60 je patrné, že při výstřelu 400 ran za sebou byla teplota zhruba o 40  $^{\circ}\text{C}$  nižší než u hlavně, při které se tato vrstva neaplikovala [5].

Proti korozi lze hlavně ochránit i tzv. modřením (angl. bluing) [14] nebo také černěním, což je pasivační proces, kdy je povrch součásti vystaven chemickému nebo elektrochemickému procesu. Povlaky se zhotovují ponořením do horkých, alkalických roztoků s obsahem oxidačních látek. Oxidační chemickou reakcí se železem se na povrchu vytvoří tmavomodrá až černá vrstvička oxidu železnato-železitého  $Fe_3O_4$  (magnetit). Tato vrstvička je velmi tenká (řádově 1  $\mu m$  [15]), takže rozměr hlavně zůstává téměř neměnný. Povlaky vytvořené elektrochemickou oxidací jsou kvalitnější než povrchy upravené chemicky [16]. Modření se také používá k dekorativním účelům.

## 4 Životnost hlavní

Mezi základní vlastnosti palných zbraní, kromě střeleckého výkonu, manévrovatelných schopností a dalších funkčních vlastností, je také spolehlivost. Pod tímto pojmem je zahrnuta jednak životnost zbraně, spolehlivá funkčnost bez poruch, přesnost při střelbě a další. Zjednodušeně se dá říci, že životnost palné zbraně je určena počtem výstřelů, a to až do doby úplného vyřazení z provozu. Určování životnosti je však výrazně ovlivněno podmínkami, za kterých je zkouška prováděna. Vedle dalších neméně podstatných zkoušek má velký vliv režim střelby u automatických zbraní (udávaný počet výstřelů), kadence, v jakých dávkách a s jakými přestávkami mezi jednotlivými dávkami se vystřelí a doba ochlazení hlavně na původní teplotu. Pokud neznáme všechny tyto vlivy, není možné, na základě hodnot uváděných výrobcem, srovnávat životnost jednotlivých palných zbraní. Jediným zaručeným způsobem, jak srovnávat dvě střelné zbraně z hlediska životnosti, je střelecká zkouška prováděna za stejných podmínek.

Životnost jednotlivých dílů zbraní úzce souvisí s otěrem na povrchu, následným výskytem únavových trhlin a korozi. Všechny tyto zmíněné vlivy se začínají objevovat především na povrchu součástí. Proto je nezbytně nutné ovlivnit mechanické i další vlastnosti právě v této oblasti.

K největšímu namáhání hlavně dochází při výstřelu. Zejména radiální tlakové zatížení stěn je důležité nejen pro dimenzování stěn hlavně, ale i pro rychlost a průběh opotřebení celého vývrtnu. Jak velikost, tak i průběh kontaktního tlaku mezi stěnou hlavně a projektilem, je výsledkem působení tlaku plynů za střelou, setrvačné síly vzniklé při zákluzu hlavně (díky této síle dochází k zúžení hlavně) a vzájemných silových účinků mezi střelou a stěnou hlavně. Velikost radiálního tlaku plynů i vodící obroučky je po celé délce hlavně proměnná. [5]

V dnešní době se životnost hlavní palných zbraní s vyšší rychlosti palby řeší tepelným zpracováním materiálu, ze kterého se hlaveň vyrábí. Druhým řešením je vrstva tvrdochrómu na vývrtnu hlavně. Při volbě materiálu jsou důležité jeho mechanické vlastnosti, které vedou k optimální tuhosti hlavně při střelbě, a z toho také vyplývající odolnosti proti střídavým namáháním dynamickými tlaky. Výhodou malých průřezů materiálu hlavní je umožnění plné prokalitelnosti, což znamená rovnoměrné rozložení vhodných mechanických vlastností v celém průřezu po tepelném zpracování [12]. Z tohoto pohledu se nabízí jako dostatečné použití nízkolegovaných nebo nelegovaných ocelí. U těchto ocelí přitom nedochází k destrukci hlavně při střelbě.

Z mechanických namáhání, které negativně působí na životnost hlavní je rychlý ohřev a ochlazení. Během těchto změn dochází v povrchové vrstvě ke strukturálním přeměnám. Díky objemovým změnám odlišných struktur vzniká na vrchní vrstvě vývrtnu vnitřní pnutí. Opakující se teplotní změny vedou k únavě povrchu a následnému vzniku mikrotrhlin. [12]

Tzv. zaměděním vývrtnu [5], který vzniká otěrem mědi z vodící obroučky střely, dochází k nárůstu hodnoty radiálního tlaku. K zamědění dochází u střelby s projektilem s měděnou vodící obroučkou. To se děje především v místě největšího kontaktního tlaku mezi vodící obroučkou střely a stěnou hlavně, čímž dochází k usazování otěru na stěnách hlavně. Nejčastěji dochází k otěru a zamědění při střelbě, především z nové hlavně, v místě, kde je zúžení hlavně při zákluzu největší. V oblasti usazování otěru se průměr vývrtnu zmenšuje, čímž dochází k ještě většímu kontaktnímu tlaku a tím zadržování střely v hlavni. V krajních případech může dojít k trvalým deformacím materiálu (vydutí) v místech největšího zamědění.

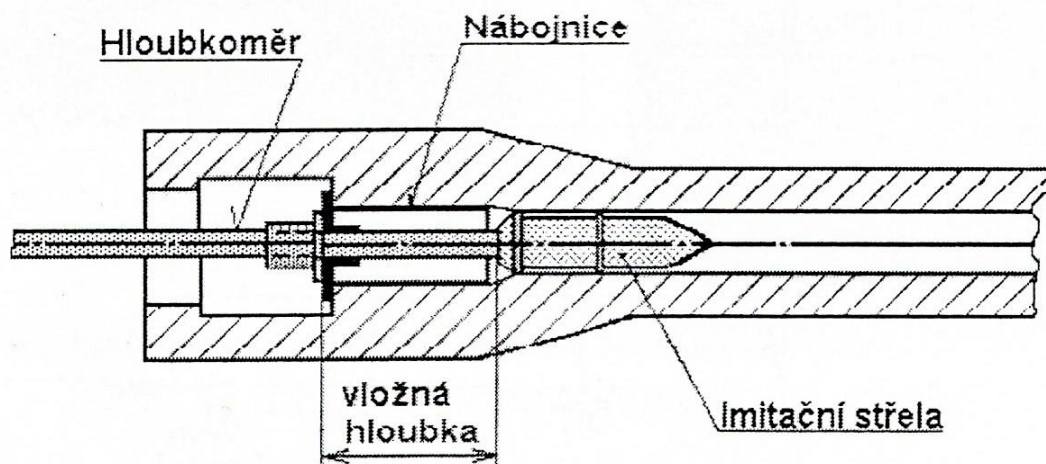
Zamědění vývrtnu se odstraňuje velmi obtížně, a proto se do prachové náplně přidává odměďovač, který je na bázi olova a cínu. Během výstřelu dochází k reakci s mědí a následné tvorbě sloučeniny, kterou další střela (při dalším výstřelu) rozdrťí a vynáší z hlavně. [5]

V praxi dochází ke kontrole stupně zamědění a dalších nerovností mezním průtahovým kalibrem. Během kontroly musí kalibr projít zcela volně celým vývrtem.

Přímé ukazatele pro vyřazení hlavně z provozu:

- prodloužení nábojové komory, přesněji řečeno vložné hloubky,
- zvětšení průměru vodící části hlavně ve stanovené vzdálenosti od zadního čela hlavně,
- počet vystřelených střel.

Nejdůležitější ukazatel balistické hodnoty zbraně v provozu je kontrola opotřebení přechodového kužele měřením vložné hloubky. Ta se měří hloubkoměrem.



Obr. 24 Měření vložné hloubky hloubkoměrem [5]

Měřením se zjišťuje rozdíl mezi konstrukční vložnou hloubkou a skutečnou (naměřenou). Na základě zjištěné hodnoty vložné hloubky, řadíme hlavně do kvalitativních kategorií a po překročení mezního stavu, dochází k vyřazení hlavně z provozu. Jelikož při měření vložné hloubky neuvažujeme nad úbytkem počáteční rychlosti, jediným korektním způsobem stanovení úbytku je měření počáteční rychlosti střely.



## 4.1 Opotřebení hlavní

Vzájemné silové působení mezi střelou a hlavní ovlivňuje rozsah opotřebení hlavně. K největším vlivům opotřebení z tohoto hlediska řadíme:

- u drážkovaných hlavní počet a stoupání drážek,
- přesnost výroby projektilu,
- přímost vývrtní (a celková výroba hlavní),
- stupeň opotřebení vývrtní hlavně,
- materiál a chemicko-tepelné zpracování hlavně,
- povrchová úprava vývrtní (nejčastěji chromování),
- materiál vodící obroučky,
- tvar vodící obroučky (dále také šířka a počet),
- úroveň ošetřování vývrtní hlavně a nábojů. [5]

Dalším negativním činitelem jsou horké prachové plyny při výstřelu. Velikost namáhání těchto plynů závisí na množství tepla, které vzniká při výstřelu a prostupuje do stěny hlavně. Vzniklé teplo je závislé především na:

- rozdílu teplot mezi plyny a vnitřním povrchem hlavně,
- teplotě hoření prachu,
- síle tření mezi střelou a stěnou,
- čase, za který působí prachové plyny v hlavní,
- tloušťce stěny hlavně,
- tepelné vodivosti materiálu hlavně.

Vysoké teploty vznikající při hoření prachové náplně mohou způsobit:

- náhlé změny teploty vnitřní vrstvy vývrtní, kvůli níž může dojít k nárůstu objemu materiálu, který následně způsobuje trhlinky a únavové opotřebení,
- zvýšení celkové teploty hlavně, čímž dojde ke snížení pevnosti materiálu hlavně,
- extrémní teploty přechodového kužele, kde dosahují plyny největších teplot a dále je kužel zahříván vodící obroučkou, která se zařezává při tření během průchodu hlavní. [5]

V oblasti přechodového kužele dochází tak k vysokým teplotám, které mohou vést k natavení materiálu. Proto se tato mezní situace považuje za jednu z hlavních příčin opotřebení této oblasti.

Vývrt hlavně se dále opotřebovává erozí, kde na vývrt v místě jeho počátku působí tlak hnacího plynu, který může dosáhnout až 600 MPa a intenzivním teplem 600 °C - 1200 °C během několika milisekund [17]. Částice hoření se pohybují velkou rychlostí, čímž způsobují vymílání materiálu z vnitřní strany vývrtní. Kinetická energie hořících prachových částí lokálně poškozují vývrt narážením na kov. Erozivní účinky jsou znásobeny stíráním materiálu vývrtní vodící obroučkou střely, a to v místech, kde plyny předbíhají střelu a tím natavují vývrt.

Eroze se rychle šíří v místech narušení vývrtní (vrypy, trhlinky, škrábance) a její míra opotřebení závisí na:

- materiálu hlavně,
- kvalitě zhotovení vývrtní,

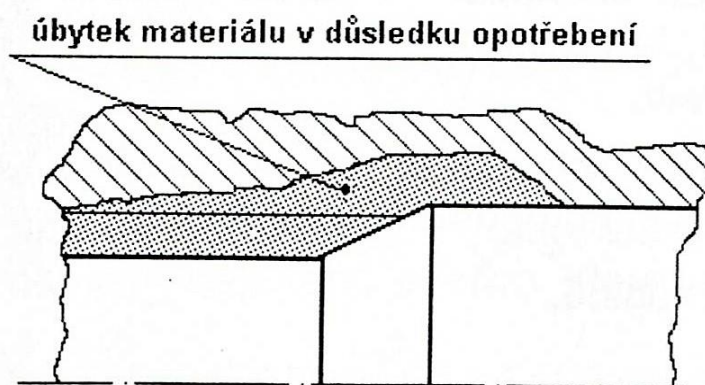
- množství a složení prachové náplně,
- teplotě prachových plynů,
- stupni opotřebení vývrtní,
- míře údržby vývrtní hlavně. [5]

Dochází k situacím, kdy vodící obroučka střely není zaříznuta do drážek přechodového kužele hlavně. Ve chvíli, kdy se projektil oddělí od nábojnice, plyny předběhnou střelu, a tím náhle zahřejí přechodový kužel, kvůli čemuž částice hoření abrazivně narušují strukturu vývrtní hlavně. Vodící obroučka střely po nárazu do takto nažhaveného přechodového kužele z něj vynáší malé částičky materiálu. K podobnému účinku může dojít i ve stavu, kdy sevření střely hlavní je nedostačující a vzniklými skulinami unikají horké prachové plyny před střelou.

Bylo dokázáno, že i chemické účinky hoření mají vliv na povrchovou vrstvu vývrtní hlavně. Při explozi prachové náplně dochází k uvolnění uhlíku a dusíku. Povrch vývrtní se tak podrobuje cementaci a nitridaci v důsledku sycení povrchu uhlíkem a dusíkem při vnikání do povrchu vývrtní za vysokých teplot. Dojde ke vzniku tvrdé a křehké vrstvy na vnitřní straně hlavně, a to do hloubky až 1 mm. Tato vrstva praská jednak z důvodu působení tlaku plynů a dále kvůli neustálému ohřevu hlavně. Na povrchu vývrtní tak vznikají trhlinky, které se mohou dále šířit. [10]

Opotřebení hlavní nemá až tak velký vliv na její pevnost, jako na zhoršení balistických vlastností zbraně. Příčina opotřebení se projevuje jako úbytek materiálu zejména v oblasti přechodového kužele, ve kterém dochází k tomu, že se střela nezařeže do vodící části, ale přesouvá se směrem k ústí hlavně. Počáteční rychlost střely se snižuje z důvodu zvětšování se počátečního spalovacího prostoru (vložené hloubky nábojové komory). Z tohoto důvodu se zmenšuje celkový dostřel. Nárůst objemu spalovacího prostoru se v praxi prověřuje měřením vložené hloubky.

Mimo jiné dochází také v místě počátku vývrtní a v ústíové části k opotřebování polí a drážek, což má za následek ztrátu stability střely po dobu letu a větší rozptyl střelby, který je nežádoucí.



Obr. 25 Změna rozměrů přechodového kužele v důsledku opotřebení [5]

## 4.2 Zabezpečení proti opotřebení hlavní

V dnešní době existuje mnoho poznatků, jak docílit delší životnosti hlavní palných zbraní. Během vývoje zbraní a střeliva se věda a technika dopracovala do pozice, kdy lze omezit nebo značně zamezit opotřebení hlavní. Mezi základní kroky, které ovlivňují míru opotřebení hlavní, patří opatření:

- konstrukční,
- materiálové a technologické,
- vnitrobalistické,
- provozní.

#### 4.2.1 Konstrukční opatření

Konstrukční opatření se vztahuje zejména na konstrukci hlavně a střel.

Snížit míru opotřebení pomocí konstrukce hlavně lze použitím polygonálních vývrtů hlavně [5]. Dále zlepšení konstrukce ve smyslu zamezení kmitání hlavně, což znamená zvýšení jak ohybové, tak radiální a podélné tuhosti hlavně. Velký vliv na opotřebení z konstrukčního hlediska má i vhodná metoda chlazení hlavně. V neposlední řadě pak ideální tloušťka stěny hlavně nebo její kanelování, aby bylo zamezeno nadměrnému zahřívání.

Ze strany konstrukce střely má velký význam způsob vedení střely v hlavni, který jde korigovat vhodným počtem a tvarem vodicích prvků. Snaha docílit přesnější výroby má za následek zlepšení stability pohybu střely. V dnešní době mají výrobci střeliva velkou škálu materiálů, ze kterých lze vyrábět střelivo různé kvality. Jednou z výhod používání nových materiálů na výrobu vodicí obroučky je zmenšení tření mezi střelou a hlavni, čímž nedochází k tak velkému opotřebení a nadměrnému zahřívání hlavně.



*Obr. 26 Kanelovaná hlaveň kulovnice Sauer 202 ráže .308 Win*

#### 4.2.2 Materiálové a technologické faktory

K zaručení delší životnosti hlavní se podílí i volba materiálu a technologických postupů při výrobě.

Mezi nejzákladnější možnosti opatření je použití vysokopevnostních, žáruvzdorných a žárupevných ocelí. Úprava povrchu vývrtu hlavně chromováním nebo využitím iontové nitrace. Důležitá je také volba technologie na zpevňování vývrtu při výrobě, lepší kvalita a přímota vývrtu.

#### 4.2.3 Vnitrobalistické řešení

Tato opatření se vztahují primárně k vhodnému vnitrobalistickému řešení, ale také užití prachů pro náboje a použití prachových přísad do prachových náplní. Prachová náplň neovlivňuje pouze vlastnosti střely, ale má také vliv na teplotu při výstřelu. Vhodnou přísadou do prachové náplně dojde ke snížení teploty a ochraně povrchu vývrtu vytvořením povlaku. Ten na vnitřním povrchu tvoří vrstvu, která zmírňuje tření mezi projektilem a hlavni, ale mimo jiné také brání přestupu tepla do stěny hlavně.

Zásadní opatření proti opotřebení z vnitrobalistického hlediska je použití prachu s minimálním obsahem uhlíku a dusíku. Použití přísad tzv. flegmatizátorů, které snižují teplotu hoření prachové náplně, brání přestupu tepla do stěny hlavně a dále zmírňují tření mezi střelou a hlavní. V neposlední řadě se zde nabízí i vylepšení vnitrobalistického řešení, což zahrnuje množství střelného prachu, tlaky plynů, rozměry a tvary prachových zrn, ale také ztráty energie při výstřelu. [18]

#### **4.2.4 Provozní zabezpečení**

Provozním opatřením je myšleno zabezpečení během střelby, manipulace a skladování palné zbraně, což ve výsledku znamená, jak majitel s danou zbraní zachází.

Možností, jak opatření realizovat, je například optimální režim palby z hlediska zahřívání hlavní. To lze zamezit v případě užití střelby s menší náplní a chlazením vývrtu při střelbě, například otevřením závěru. Správná ochrana střeliva před nepříznivými vlivy jako vlhkost a přímé účinky slunečního svitu, mohou znatelně prodloužit životnost palné zbraně.

V neposlední řadě se nesmí zapomínat na ošetření hlavní jak před, tak i po střelbě vhodnými a účinnými čisticími a konzervačními prostředky.

## 5 Závěr

Cílem této práce bylo shromáždit informace zaměřené na hlavňovou část palné zbraně. Práce pojednává o problematice vhodné volby materiálů pro výrobu hlavní. Zvolit ideální hlavňový materiál je obtížné, neboť nestačí vybrat pouze materiál s nejlepšími vlastnostmi, jako jsou vysoká pevnost, houževnatost, tvrdost, chemická odolnost, žáruvzdornost a další. Je důležité najít vhodný kompromis mezi zmiňovanými materiálovými vlastnostmi, technologií výroby, přijatelnou cenou a dobou životnosti.

Z výsledků vývoje palných zbraní vyplynulo, že jako nejvhodnější materiály pro výrobu hlavní jsou v současné době legované oceli. V České republice patří mezi nejčastěji používané nízkolegované oceli 13 242 a 15 230, které vyhovují jak z hlediska požadavků na mechanické vlastnosti hlavní, tak i z hlediska ekonomiky jejich výroby.

Pro konstruktéry zbraní není vždy jednoduché zvolit potřebnou tloušťku stěny hlavně pro určité provozní namáhání. Technologie zvané fretáž a autofretáž jsou způsoby, kterými lze stěnu hlavně zpevnit a tím ekonomicky zvýhodnit výrobu hlavní.

Nové technologie úpravy vývrtní a povrchu hlavní významně prodlužují životnost zbraně a zlepšují její vlastnosti z hlediska výkonu a přesnosti střelby. Z prostudovaných materiálů, z nichž bylo čerpáno při vypracování této bakalářské práce vyplývá, že mezi významné technologie úpravy vývrtní hlavní patří chromování a nitridace.

Z pohledu životnosti hlavně palné zbraně je klíčové uchránit hlaveň před nežádoucími vlivy ať už mechanickými či chemickými. Životnost hlavně ovlivňují faktory, jakými jsou konstrukční, materiálové a technologické řešení zbraně, použití vhodné munice a provozní zabezpečení.

## 6 Bibliografie

- [1] Historie palných zbraní. *Inovace SEBS a ASEBS* [online]. Fakulta sportovních studií Masarykovy univerzity, 2013 [cit. 2019-03-11]. Dostupné z: <http://www.fsps.muni.cz/inovace-SEBS-ASEBS/elearning/strelba/historie>
- [2] WESTWOOD, David. *Rifles: An illustrated history of their impact* [online]. Santa Barbara, CA: ABC-CLIO, 2005 [cit. 2019-05-17]. ISBN 9781851094011.
- [3] BRYCH, Jan, Ladislav JANOUŠEK a František PARKAN. *Historie střelectví z ručních palných zbraní* [online]. 1. vyd. Univerzita Karlova: Karolinum, 2018 [cit. 2019-03-11]. ISBN 978-80-246-3906-2 (online : pdf). Dostupné z: [https://obalky.kosmas.cz/ArticleFiles/242927/auto\\_preview.pdf/FILE/Historie-strelectvi-z-rucnich-palnych-zbrani\\_Ukazka.pdf](https://obalky.kosmas.cz/ArticleFiles/242927/auto_preview.pdf/FILE/Historie-strelectvi-z-rucnich-palnych-zbrani_Ukazka.pdf)
- [4] FIŠER, Miloslav. *Konstrukce loveckých, sportovních a obranných zbraní*. 2. vydání. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2015. ISBN 978-80-248-3769-7.
- [5] FIŠER, Miloslav, Stanislav PROCHÁZKA a Jozef ŠKVAREK. *Hlavně palných zbraní*. Vyd. 1. Brno: Univerzita obrany, 2006. ISBN 80-7231-157-3.
- [6] ČSN 39 5020. *Náboje a vývrty hlavní - Rozměry, tlaky a energie*. Praha: ČNI, 2017.
- [7] JANKOVÝCH, Róbert. *Hlavně zbraně a střelivo* [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2012 [cit. 2019-05-17]. ISBN 978-80-260-2384-5. Skriptum. Vysoké učení technické v Brně.
- [8] Pevnost a tuhost – jaký je mezi nimi rozdíl?. *E-konstrukér* [online]. Praha, 2013 [cit. 2019-03-11]. Dostupné z: <https://e-konstrukter.cz/novinka/pevnost-a-tuhost-jaky-je-mezi-nimi-rozdil>
- [9] Laboratoř mechanického zkoušení kovových materiálů. *Ústav kovových materiálů a korozního inženýrství VŠCHT Praha* [online]. Praha, 2014 [cit. 2019-03-11]. Dostupné z: <http://ukmki.vscht.cz/files/uzel/0016736/Mechanick%C3%A9%20zkou%C5%A1en%C3%AD%20kovov%C3%BDch%20materi%C3%A1l%C5%AF.pdf?redirected>
- [10] VAŠÍČEK, M. *Hlavně palných zbraní*. VAAZ Brno, 1985.
- [11] FREMUNT, Přemysl a Tomáš PODRÁBSKÝ. *Konstrukční oceli*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., Purkyňova 95a, 612 00 Brno, 1996. ISBN 80-85867-95-8.

- [12] HRUBÝ, Vojtěch. *Ověřená technologie: nová technologie úpravy hlavních součástí pistolí : navržena v rámci řešení výzkumného záměru FVT 0000404 Výzkum a vývoj moderních materiálů a technologií pro aplikace u vojenské techniky*. Vyd. 1. Brno: Univerzita obrany, 2007. ISBN 978-80-7231-268-9.
- [13] HOLEMÁŘ, Alois a Vojtěch HRUBÝ. *Iontová nitridace v praxi*. 1. Praha: SNTL, 1989. ISBN 80-03-00001-7.
- [14] O'CONNOR, Jack. *Complete Book of Rifles And Shotguns: with a Seven-Lesson Rifle Shooting Course* [online]. Pickle Partners Publishing, 2016 [cit. 2019-05-16]. ISBN 9781786258007.
- [15] MOHYLA, Miroslav. *Technologie povrchových úprav kovových materiálů*. 3. Ostrava: VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2006.
- [16] MEDŮSEK, Milan. *Technologie při výrobě ručních palných zbraní*. Brno, 2013. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství.
- [17] *Wear: Thermo-chemical erosion in gun barrels* [online]. 2001, (251) [cit. 2019-05-17]. ISSN 0043-1648. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043164801007384>
- [18] KRČMÁŘ, Jan. Vnitřní balistika. *Balistika* [online]. 2007 [cit. 2019-04-23]. Dostupné z: <http://www.balistika.cz/vnitri.html>
- [19] FIŠER, M. *Malorážové zbraně, Základy konstrukce*. Brno: Univerzita obrany, 2004.
- [20] S.305 Pistole Charles Moore Target. In: *KerberosTrade, s.r.o.* [online]. Klimkovice, b.r. [cit. 2019-04-24]. Dostupné z: <https://www.kerberostrade.cz/katalog/pistole-charles-moore-target-cal-45-perk/>
- [21] HRUBÝ, Vojtěch a Alois HOLEMÁŘ. *Katalog technologických listů iontové nitridace*. Brno: STROJTECH, 1991.

## 7 Seznam použitých zkratek a symbolů

### Symbols

$R_e$	$(\sigma_K)$	mez kluzu	[MPa]
$R_{p0,2}$	$(\sigma_{0,2})$	smluvní mez kluzu	[MPa]
$R_m$	$(\sigma_P)$	mez pevnosti v tahu	[MPa]
$A$	$(\delta)$	tažnost	[%]
$Z$	$(\psi)$	kontrakce	[%]
$R_2$		vrubová houževnatost	[J.cm <sup>-2</sup> ]
$p_{hh}$		horní hranice porušení	[MPa]