Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra materiálu a strojírenské technologie

Bakalářská práce

Zařízení a technologie využívané při výrobě hlavní loveckých zbraní

Tomáš Bureš

© 2022 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Tomáš Bureš

Obchod a podnikání s technikou

Název práce

Zařízení a technologie využívané při výrobě hlavní loveckých zbraní

Název anglicky

Equipment and technology used in the production of hunting weapons barrel

---

Cíle práce

Shromáždit literární poznatky o technologiích používaných při výrobě hlavní, zejména loveckých zbraní. Na základě závěrů z literárního rozboru předmětné problematiky stanoví bakalář přínos práce.

Metodika

Současný stav řešeného problému (literární rešerše).

Cíle práce a metody jejího vypracování.

Přínos a závěry práce.

Doporučený rozsah práce

cca 30 stran

Klíčová slova

Technologie, vývrt, zbraň, obrábění

Doporučené zdroje informací

DOLÍNEK, V.: Čeští puškaři. Praha, 2005, 141 s.
FIŠER, M.: Konstrukce loveckých, sportovních a obranných zbraní. Ostrava, 2006, 144 s.
FIŠER, M., PROCHÁZKA, S.: Projektování loveckých, sportovních a obranných zbraní. Ostrava, 2007, 140 s.
KINSELLA, M., H.: The Image before the Weapon : A Critical History of the Distinction between Combatant and Civilian. NY, 2011, 273 s.
MACKO, M.: Teorie a výpočty loveckých, sportovních a obranných zbraní. Ostrava, 2006, 100 s.
Vědecká literatura: Journal of Materials Processing Technology, Journal of Industrial and Engineering Chemistry, Strojírenská technologie, Journal of materials science, Journal of material processing technology, Manufacturing technology.

Předběžný termín obhajoby

2021/2022 LS – TF

Vedoucí práce

Bc. Ing. Petr Hrabě, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra materiálu a strojírenské technologie

Elektronicky schváleno dne 27. 1. 2021

prof. Ing. Miroslav Müller, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 10. 2. 2021

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 18. 03. 2022

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci " Zařízení a technologie využívané při výrobě hlavní loveckých zbraní " jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 31. 3. 2022 _____

Tomáš Bureš

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval panu Bc. Ing. Petru Hraběti, Ph.D. za poskytnutí cenných rad a připomínek při zpracování bakalářské práce. Rovněž bych chtěl poděkovat rodině, přátelům a známým za podporu, kterou mi během studia poskytli.

Zařízení a technologie využívané při výrobě hlavní loveckých zbraní

Abstrakt

Cílem bakalářské práce je shromáždit literární poznatky z oblasti technologií, materiálů a zařízení vyžívaných při výrobě hlavní, zejména loveckých zbraní. Kapitola „Rozdělení hlavní loveckých zbraní“ rozděluje lovecké zbraně na brokovnice, s hladkým vývrtem a kulovnice s drážkovaným vývrtem. Následují nejčastěji používané materiály pro výrobu hlavní. Kapitola „Výroba hlavní“ se zabývá technologiemi používanými při výrobě hlavní. V kapitole „Technologie drážkování hlavní“ jsou rozebrány jednotlivé druhy drážkování. Následují kapitoly s dokončovacími technologiemi a povrchovými úpravami. Práce je zakončena ekonomickým zhodnocením, které je rozděleno na závodní střelbu a loveckou střelbu.

Klíčová slova: technologie, vývrt, drážkování, hlaveň, zbraň

Equipment and technology used in the production of hunting weapons barrel

Abstract

The aim of this theses is to collect in the field of equipment and technology used in the production of hunting weapons barrel. The chapter “Classification of hunting weapons barrel” divides hunting weapons to shotguns with smooth bore and rifles with grooves. The chapter “Materials used for barrels” describes types of materials, commonly used in firearms industry. In the chapter “Technologies used for rifling barrels” are shown the methods used in rifling manufacturing. Next two chapters talk about finishing operations on the barrel. Finally, the economic sector of the theses is divided to competitive shooting and hunting sector.

Keywords: technology, groove, rifling, barrel, rifle

Obsah

1 Úvod **1**

2 Cíl práce a metodika **2**
2.1 Cíl práce 2
2.2 Metodika 2

3 Historie hlavní **3**

4 Rozdělení hlavní loveckých zbraní **5**
4.1 Brokovnice 7
4.2 Kulovnice 9

5 Materiály hlavní **10**
5.1 Oceli 10
5.2 Slitiny lehkých kovů 12
5.3 Kompozity 12

6 Výroba hlavní **13**
6.1 Techniky vrtání 14
6.2 Vystružování 16

7 Technologie drážkování hlavní **18**
7.1 Jednobodové řezání 18
7.2 Protahování 20
7.3 Kování za studena 21
7.4 Flow forming 22
7.5 Protlačování 24

8 Dokončovací technologie **26**
8.1 Profilování 26
8.2 Lapování 27
8.3 Honování 28

9 Povrchové úpravy **30**
9.1 Chromování 30
9.2 Černění 31
9.3 Lakování 31
9.4 Povlakování 32

10 Ekonomické zhodnocení **33**
10.1 Závodní střelba 33
10.2 Lovecká střelba 35

11 Závěr **39**

12 Bibliografie **40**

13 Seznam obrázků **43**

14 Seznam tabulek **43**

1 Úvod

Zbraně jsou nedílnou součástí historie, neboť již od prvopočátků lidského bytí rozhodovaly o přežití lidské rasy. Člověk si pomocí zbraní obstarával obživu a chránil sebe a své soukmenovce před hrozícím nebezpečím. S postupem času docházelo k stále častějšímu zdokonalování, díky kterému se z obyčejného pazourku na tyči dostala lidská civilizace až k plně automatickým puškám. V současné době patří zbrojní průmysl mezi pilíře ekonomiky mnoha světových velmocí.

„Bez hlavně není palné zbraně“ doc. Ing. Vlastimil Hart, Ph.D. Kvalita hlavně určuje jak výkon a přesnost zbraně, tak bezpečnost uživatele. Hlaveň ovlivňuje konstrukci a vlastnosti celé zbraně. U samotné zbraně patří mezi základní charakteristiky účinná délka, přesnost střelby, hmotnost a rozměry zbraně. Tyto parametry úzce souvisí s funkčními vlastnostmi a rozměry hlavně. Vzhledem k těmto okolnostem je důležité věnovat patřičnou pozornost a preciznost při výrobě hlavně, aby nebyla příčinou omezující správné užívání zbraně či dokonce důvodem selhání zbraně.

Bakalářská práce se zabývá technologiemi používanými při výrobě zbraní, zejména loveckých hlavní. V Práci jsou popsány běžně používané materiály, proces výroby, metody drážkování hlavní či následné dokončovací operace a povrchové úpravy zbraní. V poslední části bakalářské práce je ekonomické zhodnocení rozdělené na dvě části. V první z nich je popsán pohled nejlepších závodních střelců Ameriky na dostupné hlavně a výběr jejich preferencí. V druhé části jsou porovnány čtyři lovecké pušky, které se v roce 2021 umístily v deseti nejpřesnějších loveckých zbraních. Na základě dotazníku a porovnaných vlastností zbraní byly zvoleny nejlepší pušky.

Zbrojní průmysl patří k jednomu z nejstarších odvětví, avšak stále setrvává mezi populárními vzhledem k častým válečným konfliktům. Tato skutečnost přináší nekončící zdokonalování výrobních procesů při výrobě zbraní a stálý přísun nových inovací. Některé z těchto vylepšení jsou popsány v této práci.

2 Cíl práce a metodika

2.1 Cíl práce

Cílem bakalářské práce je shromáždit literární poznatky z oblasti technologií, materiálů a zařízení vyžívaných při výrobě hlavní, zejména loveckých zbraní. Ekonomicky zhodnotit dostupné varianty hlavní na trhu a na základě literárního rozboru stanovit možný budoucí vývoj v této oblasti.

2.2 Metodika

Prvním krokem bylo prostudování odborné literatury a článků uvedených v bibliografii. Na základě získaných poznatků a informací byl vypracován literární rozbor na téma Zařízení a technologie využívané při výrobě hlavní loveckých zbraní, který byl východiskem pro ekonomické zhodnocení. První část práce se zabývá historií hlavní v období od počátku 14. století a končí 19. stoletím potažmo současností. Následuje rozdělení loveckých zbraní a popis nejčastěji využívaných materiálů. Následná kapitola se věnuje výrobě hlavní, po které následují kapitoly drážkování hlavní a dokončovací operace. Předposlední kapitolou jsou povrchové úpravy hlavní. Bakalářská práce je zakončena ekonomickým zhodnocením, které je rozděleno na závodní a loveckou střelbu. V závodní střelbě je kladen důraz především na přesnost střelby. U loveckých hlavní byl brán v potaz i finanční aspekt hlavní.

3 Historie hlavní

Nejstarší známé hlavně zbraní byly vyrobeny z bronzu na počátku 14. století. Měly velké lité vývrty, které byly někdy provedeny kuželovitě. Od poloviny téhož století jsou známy železné hlavně kované z tyčí, detail takové hlavně je k dispozici na obrázku 1 níže. Některé z nich již měly válcový vývrt. Předpokládá se, že na počátku 15. století byla kvalita vývrtu zlepšena vystružením. Zpočátku byly zadní části vývrtů hlavní ručních zbraní uzavřené kovanou zátkou. Již na počátku 15. století se objevily závitové vývrty, které používaly zátky závěru. Později přidávali hlavňoví kováři horní řemínek na připevnění hlavně k pažbě [1].

Obrázek 1 Železná hlaveň, Čechy, 15. století [35]

V polovině 15. století nahradily hlavně vyrobené ze železných pásů, které byly šroubovitě ovinuty kolem trnu, hlavně vyrobené ze železných tyčí. Tyto hlavně, nazývané také hlavně ze skelpů, byly přímými předchůdci evropských damaškových hlavní [1].

Koncem 16. století se objevily první tromblonové hlavně, které usnadňovaly nabíjení. Také se věřilo, že mají širší rozptyl při použití více střel. S jistotou tehdy, stejně jako nyní, dlouhé hlavně působily zastrašujícím dojmem oproti hlavním krátkým. Až do 19. století, se tromblony používaly na lodích proti pirátům a na souši proti lupičům [1].

Na Blízkém východě se v 16. století kovaly damašské hlavně ze železa různých druhů. Na počátku 17. století začali evropští puškaři příležitostně vyrábět umělecké damaškové hlavně pro honosné zbraně. Velmi oblíbené byly damaškové hlavně pro lovecké pušky, zejména v 19. století. Jejich zvýšená pevnost umožňovala výrobu tenkostěnných hlavní, které byly mnohem lehčí, což z nich učinilo oblíbenou volbu [1].

Zpočátku měly všechny hlavně hladký vývrt. V první polovině 16. století se rozmohla výroba hlavní drážkovaných, tedy s vyříznutými podélnými drážkami, tzv. rifling. Je zajímavé, že nejstarší dosud dochované hlavně mají drážkování se zákrutem. Pozdější hlavně mají ojediněle rovné drážkování. V 17. a 18. století se mnoho puškařů snažilo zlepšit přesnost střelných zbraní zkoušením různých průměrů vývrtu [2].

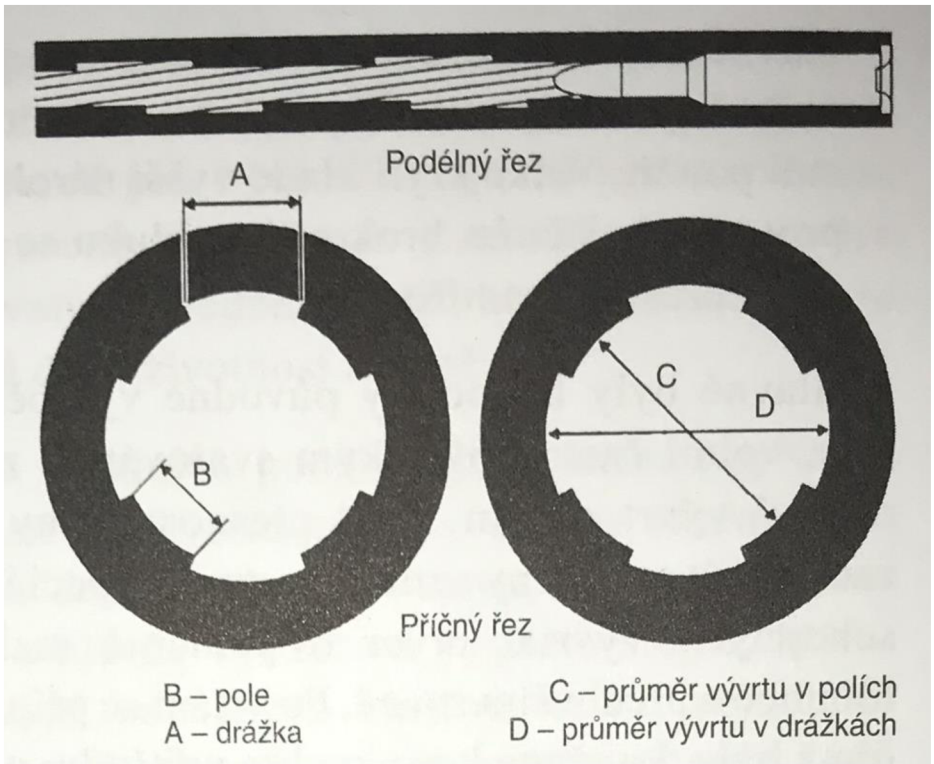
Již v 19. století se používaly dvouhlavňové pušky s perkusními zámky, které se vyráběly ve velkém množství (detail zámku na obrázku 2). Po roce 1850 byly částečně nahrazeny kulovnicemi, tedy Lefaucheuxovy průbojnými puškami s kolíčkovými náboji. V poslední čtvrtině 19. století byl zápalný systém Lefaucheux rovněž nahrazen ráfkovými náboji a náboji se středovým zápalným systémem [2].

Obrázek 2 Perkusní zámek [36]

Ve stejném století se začaly používat dvouhlavňové pušky s hlavněmi vedle sebe. Lovecké pušky s hlavněmi s uspořádáním "over under" se osvědčily pro lovecké účely až do dnešních dnů. Často se používaly tzv. vývrty s hladkým vývrtem pro broky, vývrty s tzv. drážkovanými hlavněmi pro střely a kombinace hladkých a drážkovaných hlavní [2].

4 Rozdělení hlavní loveckých zbraní

Lovecké zbraně se dělí podle vývrtu na brokovnice a flobertky, které mají hladký vývrt hlavně, a na kulovnice a malorážky, které mají drážkovaný vývrt hlavně. U drážkovaných hlavní se rozlišují pole a drážky, které jsou k vidění na obrázku 3. Zbraně jednohlavňové bývají buď jednoranové, nebo s více náboji v zásobníku a ty jsou buď opakovací, nebo samonabíjecí. Zbraně mají hlavně pevné, sklopné nebo zlamovací. Mohou být jedno nebo vícehlavňové. Mezi nejznámější výrobce loveckých palných zbraní patří ruský Bajkal, italská Beretta, americký Browning či Česká zbrojovka z České republiky [3].



Obrázek 3 Řez hlavní [4]

Každá palná zbraň se skládá z několika základních konstrukčních celků, které se v různé podobě opakují. Jsou to:

Hlaveň směřuje tlak plynů na střelu, zajišťuje vedení střely a funguje jako vysokotlaký válec, v němž běží střela jako píst.

Závěr, který uzavírá zadní část hlavně. Závěr je možno otevřít, což umožňuje nabíjení hlavně náboji. Samotný náboj či nábojnice poté slouží jako těsnění bránící spalným plynům unikat pomocí výrobních a provozních vůlí ze závěru pryč.

Tělo zbraně spolu s pouzdry závěru drží závěr s hlavní pohromadě a většinou na sobě nesou i bicí a spoušťový mechanismus. U opakovacích a samonabíjecích zbraní také zároveň se spoušťovým mechanismem obsahuje systém zásobování zbraně náboji.

Spoušťový mechanismus, jehož hlavní úlohou je držet energii uloženou v bicím mechanismu v pohotovém stavu a s pokynem střelce umožnit její vypuštění a iniciaci náboje v komoře

Pojistné mechanismy, které chrání náboj v komoře před samovolnou iniciací v důsledku otřesů nebo jiných mimořádných událostí.

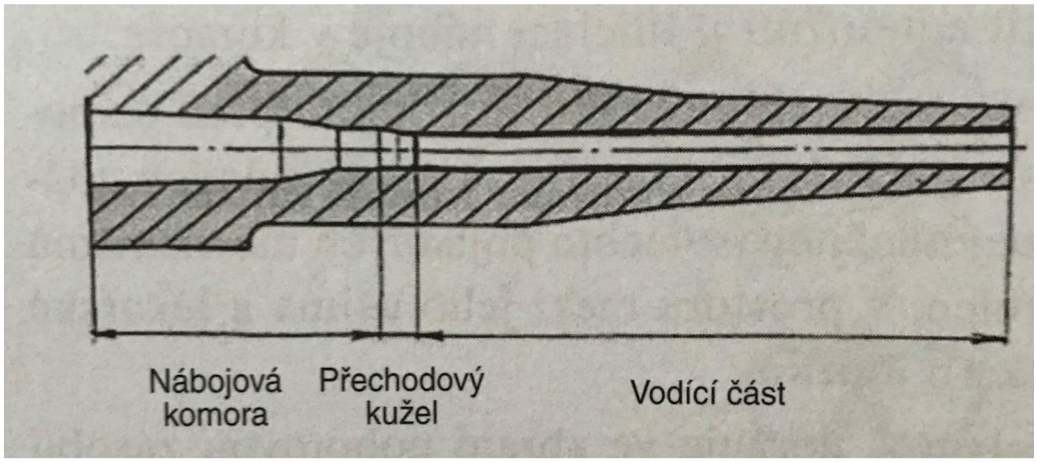
Zásobovací mechanismus udržuje ve zbrani pohotovou zásobu nábojů a podává je při přebíjení do hlavně.

Pažbení, které umožňuje nošení zbraně, její zapření do ramene a přenesení sil vzniklých při výstřelu na střelce při minimálním odchýlení hlavně od střelcem určeného směru.

Mířidla, která umožňují nasměrování hlavně a střely tam, kde se v okamžiku dopadu střely bude nacházet cíl [4].

Každá palná zbraň se musí skládat z hlavně. Bez hlavně není palné zbraně. Každá hlaveň se skládá z nábojové komory, která přechází v přechodový kužel, po němž následuje vývrt zakončený ústím hlavně. Jednotlivé části hlavně jsou vyobrazeny na obrázku 4. Pro přesnost střelby je důležitá kvalita a nepoškozenost ústí hlavně. V případě, že je ústí potlučené či vypadané důlkovou korozí případně nekončí hranou kolmou na osu vývrtu,

přesnost hlavně je značně snížena. Pro bezpečnost je významný i rozměr nábojové komory. Pokud je komora větší než daná ráže nábojnice, hrozí její roztržení a s tím související únik spalných plynů. Další následkem roztržení nábojnice je znemožnění přebíjení zbraně [4].



Obrázek 4 Části hlavně [4]

4.1 Brokovnice

Brokovnice mají hladký vývrt hlavně a jsou většinou vyráběné jako zlamovací, nejčastěji dvojky a kozlice. Mezi hlavní součásti zlamovacích pušek patří hlaveň, závěr, baskule, pažba, předpažbí a příslušenství v podobě kování či úchytů řemenů, k dispozici na obrázku 5 [3].

Obrázek 5 Popis brokovnice [4]

Hlaveň brokové zbraně má hladký vývrt, tedy bez drážek. Brokové hlavně jsou určeny pro střelbu hromadnými střelami a jednotnými střelami pro brokovnice. Aby se dosáhlo vyšší hustoty brokového shluku a lepšího krytí zbraně, je ústí hlavně zúženo, tzv. zahrdleno. Zahrdlení bývá u moderních brokovnic vytvořeno v podobě samostatné trubice, která se do ústí hlavně zašroubuje. Střelec si tak může zvolit dle své vlastní potřeby, jak velké krytí použije. Velké krytí klade vyšší nároky na střeleckou zdatnost, protože zhuštěním brokového shluku se zmenší jeho průměr a je třeba přesněji mířit [5].

Pro uživatele nejdůležitější charakteristikou hlavně je kromě její ráže kvalita. Kvalita hlavně je úzce spjata s konkrétním střelivem. Kvalitu brokových hlavní určuje zahrdlení, krytí a jeho rovnoměrnost. Zahrdlením se nazývá zúžení hlavně, tedy rozdíl průměrů vodící části vývrtu a ústí hlavně, s kuželovým náběhem zpravidla 5 až 10 cm před ústím hlavně. Zahrdlení způsobuje urychlení broků a také jejich zhuštění směrem ke středu. Dostředný účinek zahrdlení způsobuje větší zhuštění broků ke středu brokového shluku a zvyšuje krytí. V praxi se vyšším krytím prodlužuje účinný dostřel. Zahrdlení rovněž slouží ke zpomalení zátky, která tak po opuštění hlavně již nemůže negativně ovlivnit brokový shluk jeho rozhozením. Podle velikosti zúžení vývrtu hlavně se zahrdlení dělí na plné, tříčtvrtinové, poloviční, čtvrtinové a zlepšený válec. U modernějších zbraní si může střelec navolit velikost tzv. čoků, a tím pádem rozhodnout, na jakou vzdálenost bude střílet a jaký bude mít přibližný rozptyl [4].

České	Anglické	Čárky na choke	Krytí v %*
Plné	Full	I	75-85
Tříčtvrtinové	Improved Modified	II	65-70
Poloviční	Half (*modified*)	III	60
Čtvrtinové	Quarter (*improved cylinder*)	IIII	55
Válec	Cylinder	IIIII	40

Tabulka 1 Krytí brokovnic [4]

4.2 Kulovnice

Kulovnice mají drážkovaný vývrt, v němž se rozeznávají pole a drážky. Některé kulovnice mají zlamovací mechanismus, v tom případě jsou obdobných systémů jako brokovnice. Avšak většina kulovnic je vyráběna jako opakovací. Hlavní částí kulovnice je hlaveň, vložná hlaveň, vložná nábojová komora, rám, pouzdro závěru a závěr (viz obrázek 6). Dále se kulovnice skládá z mířidel, lůžka závěru, nábojové schránky nebo zásobníku, kování a příslušenství v podobě botky a upínače řemenu [3].

Obrázek 6 Popis kulovnice [4]

Hlavně kulových zbraní mají vývrt s drážkováním, jehož úkolem je udělit při pohybu střely hlavní střele rotaci, která ji bude stabilizovat za letu mimo hlaveň. Vývrt má typicky podobu šroubovicových drážek, do kterých se střela v hlavni pod tlakem spalných plynů zařízne a šroubovice jí udělí rotaci. Je nutné, aby rotace byla dostatečná k stabilizování střely, avšak nesmí být tak velká, aby nedošlo ke zničení střely vzniklými odstředivými silami. Nejčastější je pravoúhlý profil drážkování, ale existují také vývrty lichoběžníkové či polygonální. Lichý či sudý počet drážek je z hlediska lovecké střelby rovnocenný. V teorii je lichý počet drážek výhodnější z hlediska přetvářených dějů při zařezávání střely do vývrtu, proti poli je drážka, do které se může materiál střely namáčknout [6].

U kulovnic je kvalita hlavně definována rozptylem, který bývá uváděn ve vzdálenosti 100 metrů. Pro lovecké účely je zapotřebí rozptyl o pěti ránách 5 až 6 cm na 100 metrech. U moderních, nových kulovnic by měly být dosahované hodnoty v rozptylu 3-4 cm. Takový rozptyl umožňuje střelbu evropské zvěře až na vzdálenosti 300 metrů i dále. Rozptyl hlavně

je úzce spjat s fyzickým stavem vývrtu. V případě vyrezlého či vypadaného vývrtu nelze spoléhat na nízké hodnoty rozptylu [4].

5 Materiály hlavní

Hlaveň každé střelné zbraně je tlaková nádoba, jejíž zadní část se uzavírá akcí. Maximální hodnoty napětí při výstřelu jsou obrovské, 50 000 liber na čtvereční palec a více, a aby bezpečně odolaly tomuto namáhání, jsou zapotřebí speciální oceli. V současné době se pro hlavně pušek používají dvě třídy ocelí. Většina hlavní pro použití na loveckých puškách a ve vojenských palných zbraních je vyrobena z vysoce legované chrom-molybdenové oceli, která se používá při vysokém namáhání jako jsou nápravy nákladních automobilů, ojnice a podobně. Ve Spojených státech se tyto oceli označují jako 4140, 4150 a 4340. U nás se nejčastěji užívají oceli 42 CrMo 4, 50 CrMo 4 a 34 CrNiMo 6 [7].

5.1 Oceli

Protože nerezová ocel je dražší než chrom-molybdenová ocel a je obtížnější ji černit, výrobci loveckých a vojenských pušek, kteří se zabývají velkovýrobou, dávají přednost použití materiálu chrom-molybdenové oceli. Naopak střelci na terč, kteří chtějí od svých hlavní co nejlepší přesnost, si téměř bez výjimky volí v dnešní době "nerezové" hlavně. Tepelné zpracování a další výrobní procesy spojené s výrobou ocelové tyče zanechávají zbytkové stopy napětí, která mohou vést k ohýbání tyče při odstraňování oceli při výrobě hlavně. Napětí může být odstraněno vložením oceli do pece na teplotu 600 °C a jejím velmi pomalým ochlazováním po dobu přibližně dvanácti hodin. Ocel na hlavně se obvykle dvakrát odlehčuje, aby bylo naprosto jisté, že zůstane rovná při různých procesech obrábění [8].

Dalšími prvky, které se používají při výrobě těchto ocelí jsou mangan, chrom, vanad a křemík. U méně namáhaných hlavní se využívá uhlíková konstrukční ocel 12061, jestliže je u ní zaručena prokalitelnost. Zahraniční výrobci oceli tuto situaci řeší dalším přísadovým prvkem, kterým je molybden. I některé lovecké zbraně jsou vyráběny z nerezové oceli, zejména hlavně brokové a vložné. Ty jsou však poměrně drahé a těžko se povrchově upravují [5].

Zlepšování vlastností materiálu je možno dosáhnout pomocí úprav struktury ocelí. 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 [5]. Následkem snížení vnitřních pnutí a strukturální změny získává hlaveň pozitivní vlastnosti jako například delší životnost, a dokonce i menší rozptyl, jehož hodnoty se mohou snížit až o polovinu [8].

Je důležité přesně stanovit, co by neměla ocel obsahovat, např. nitrid titanu. Mělo by se také dbát na to, aby ocel neobsahovala velké množství nežádoucích prvků, síry a fosforu, kombinaci hliníku, cínu, mědi a podobně. Mikrostruktura by měla být jemnozrnná, nikoliv hrubozrnná, tvořená homogenním sorbitem bez feritu. Hodnota tvrdosti by neměla fluktuovat o více jak 10 %. 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 [9].

V terčové střelbě nerezové hlavně z velké části nahradily používání chrom-molybdenových hlavní. Nejde o pravou, plně austenitickou nerezovou ocel, jaká se používá například v nožířství. Nerezová ocel typu 416 používaná na hlavně patří do skupiny martenzitických ocelí, které lze kalit tepelným zpracováním jako běžné oceli. Nerezová ocel 416 je přesněji popsána jako "volně obrobitelná, korozivzdorná" ocel, s vysokým obsahem chromu, přibližně 10 %, ale i s přídavkem síry, která jí dodává dobré obráběcí vlastnosti. Výhodou nerezových hlavní je delší životnost a jsou přesnější než chrom-molybdenové hlavně. Pokud se nerezové hlavně "nastřelují" předepsaným postupem, získávají hlavně leptavý nádech, které téměř eliminuje znečištění, takže se nerezové hlavně velmi snadno čistí [7].

5.2 Slitiny lehkých kovů

Hliníkové slitiny jako materiál na výrobu hlavní jsou využívány především u vojenské techniky, např. ruční tenkostěnné protitankové zbraně. Tyto zbraně fungují na principu raket, které mají malý tlak v hlavni a jsou bezzákluzové. Hliník jako samostatný materiál je však na výrobu hlavní, zejména jeho mechanickými vlastnosti, nepoužitelný. Na druhou stranu jeho slitiny s jinými prvky mají zcela odlišné vlastnosti. Jejich velkou předností je nízká měrná hmotnost (2,7 $g.cm^{-3}$), čímž je dosažena lepší manipulativnost. Dále snadná obrobitelnost a dobrá odolnost vůči korozi [10].

Slitiny titanu mají o něco větší měrnou hmotnost (4,5 $g.cm^{-3}$) 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 hlavní 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 [11].

5.3 Kompozity

Kompozity neboli vyztužené plasty jsou v poslední době vývojáři velmi probíraným a rozšířeným materiálem, používaným k výrobě hlavní. V porovnání s kovovými materiály jsou kompozity daleko více nehomogenní a anizotropní. Tyto materiály z hlediska mikrostruktury jsou tvořeny dvěma složkami, výztuží (armaturou) a pojivem (matrice). Jednotlivá vlákna orientovaná jedním směrem, obklopená pojivem, tvoří materiálovou makrostrukturu. 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. Navíc se tyto materiály dají používat i za vyšších provozních teplot [10].

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. Touto náhradou docílíme zvýšení jednak modulu pružnosti, tak i výrobní náklady spojené s cenou výše uvedených vláken. Dalšími pozorovanými nedostatky kompozitních materiálů je chybějící charakteristická mez kluzu a nepřizpůsobivost materiálu při neočekávaném přetížení [8].

Kompozitní materiály se používají převážně u loveckých kulových zbraní malých ráží. Ukázalo se, že nejvhodnější sestavou hlavně s kompozitními komponenty je vnitřní část hlavně vyrobená z nerezové oceli a opatřená drážkovaným vývrtem. Jedním z výrobců takových hlavní je americká společnost PROOF Research – obrázek 7, jejíž hlaveň 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. Dalším pozitivním faktem je větší přesnost střelby, a to díky tlumenému kmitání hlavně [12].

Obrázek 7 Karbonová hlaveň PROOF Research [12]

6 Výroba hlavní

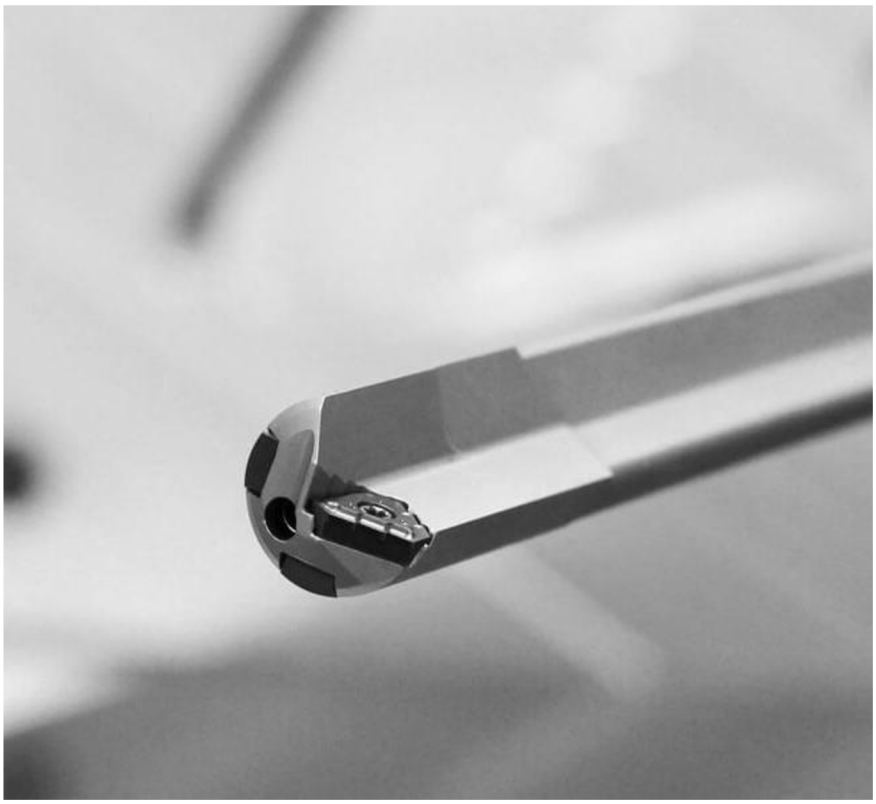
Ocel pro hlavně obvykle nevyrábějí sami výrobci sudů, ale dodávají ji externí dodavatelé v délkách 5-7,5 metru (16,5-24,5 stopy) a v průměru podle specifikací výrobce hlavní. Například hlavně určené pro lovecké pušky mají průměr 3,25 cm. (1,4 palce) a hlavně pro menší pušky ráže .22 mohou mít průměr 2,5 cm. (1 palec) v průměru. Externí prodejce obvykle před dodáním ocelové tyče odlehčuje od napětí. To se provádí tak, že se tyče zahřejí na 525 až 550 °C (977 až 1022 °C) a poté se nechají pomalu vychladnout. Pokud nejsou tyče předtím odlehčeny od napětí, mohou se během obrábění rozdělit [13].

Prvním krokem procesu je nařezání tyčí na požadovanou délku hlavně zbraně (např. 16 palců, 18 palců, 20 palců nebo u metrických reproduktorů 450 mm. nebo 500 mm. nebo jakkoli jinak) a jejich konce se zarovnají. Poté se do hlavně musí vyvrtat otvor [13].

6.1 Techniky vrtání

Jak vyvrtat otvor do dřevěného prkna nebo stěny pomocí malé ruční nebo elektrické vrtačky je všeobecně známé. Každý člověk viděl nebo držel v ruce vrtačku ve strojírenské dílně a použil ji k vrtání do měkkého ocelového plechu. Vrtání otvoru do zbraně zejména pak do hlavně pušky je zcela jiná záležitost než vrtání otvoru do dřevěného prkna nebo do plechu z měkké oceli. Zaprvé, hlaveň pušky je mnohem delší a vrták musí proniknout hluboko do hlavně. Druhým problémem je přesnost. U puškové hlavně je rozhodující, aby se vrták příliš neodchyloval od středu hlavně, a to po celé délce hlavně, která může být dlouhá 40 až 50 cm i více. To znamená, že poměr průměru k délce otvoru je u hlavně zbraně neobvykle vysoký. Například hlaveň pušky M-16 má průměr 5,56 mm a délku 508 mm. (20 palců), což znamená, že poměr délky k průměru této hlavně je přibližně 91:1 [7]

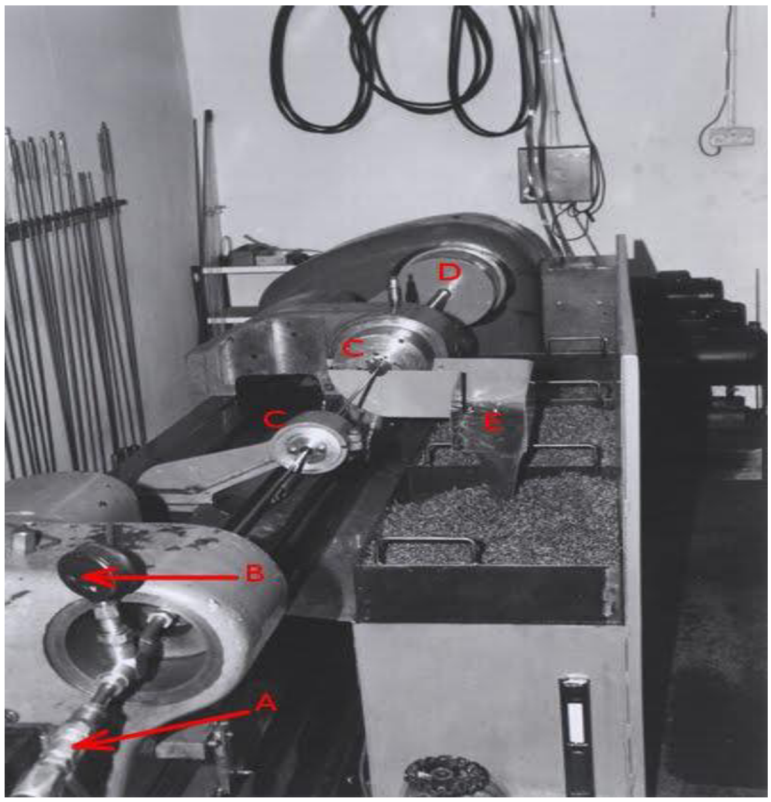
Způsob vrtání do hlavně spočívá v použití speciálního vrtáku pro hluboké díry nazývaného také pistolový vrták. Vrták se vyrábí z nástrojové oceli nebo z karbidu wolframu (v dnešní době je běžnější karbid wolframu). Průměr vrtáku je o něco menší než požadovaný průměr hlavně. Například pokud je vývrt hlavně 5,56 mm, je vrták určen k vyvrtání otvoru o něco menšího (řekněme 5,35 - 5,40 mm) [14]. Z obrázku 8 je patrné, že vrták je asymetrický (ve tvaru V) a má břit pouze na jedné straně. Vrták je také vybroušen tak, aby síly působící na břit udržovaly vrták automaticky ve středu obrobku. Vrták je také dutý, jak je vidět ze dvou otvorů na konci vrtáku. Vrták je připevněn k ocelové trubce a poté je do otvorů vrtáku pod tlakem vháněn olej. Jak si vrták razí cestu skrz hlaveň, olej slouží k udržování vrtáku v chladu. Rovněž kovové třísky jsou odváděny olejem z hlavně přes V-kanál uprostřed vrtáku. Olej pak prochází řadou sít, která odfiltrují kovové špony a olej se vrací zpět do hlavní nádrže [15].



Obrázek 8 Vrták ve tvaru V [14]

U některých jiných vrtáků je uprostřed jediný otvor. Olej se čerpá skrz část ve tvaru V a olej a kovové hobliny vycházejí otvorem ve vrtáku. U tohoto stroje je na spodním konci obrázku 9 vidět manometr B. Olej je čerpán trubkou A do vrtáku. Do sklíčidla D v horní části fotografie je připevněn polotovar hlavně, který se má vrtat. Vrták před vstupem do hlavně prochází dvojicí vodicích pouzder (C). Vodicí pouzdra jsou vidět uprostřed fotografie. Hlaveň se obvykle před upevněním na tento stroj předvrtá do hloubky několika mm, aby vrták získal počáteční výchozí otvor. Ve většině strojů pro hluboké vrtání je vrták držen v klidu a hlaveň se kolem něj otáčí rychlostí 3000 až 5000 otáček za minutu, při průměru vývrtu do 12,7 mm a 500 až 2000 otáček při průměru 19,05 mm [16]. U některých novějších strojů je hlaveň držena v klidu a vrták se otáčí. V některých případech se otáčejí oba. Technika držení vrtáku v klidu a otáčení hlavně je však upřednostňována, protože tato metoda udržuje vrták v ose hlavně. Olej se čerpá pod vysokým tlakem z konce A, který je vidět v dolní části obrázku 9. V pravé části obrázku uprostřed je vidět špinavý olej s kovovými třískami, který vytéká z kanálu E u jednoho z opěrných vodicích pouzder. Tento

olej prochází řadou filtrů, aby se z něj odstranily všechny kovové hobliny, a poté se olej vrací zpět do hlavní nádrže [7].



Obrázek 9 Stroj pro vrtání hlavní [7]

Vrták se do hlavně zavádí pomalou rychlostí přibližně 1 palec (2,54 cm) za minutu, takže kompletní vyvrtání 20palcové hlavně pušky M-16 trvá přibližně 20 minut. Vrták je zpočátku držen v přímé poloze vodicími pouzdry a je mu bráněno v pohybu do stran, ale jak proniká hlouběji do hlavně, boky samotného otvoru brání vrtáku v přílišném pohybu. Změny v konzistenci materiálu hlavně mohou také způsobit, že vrták bude trochu kmitat. Před nasazením na hloubkový vrták musí být hlaveň také narovnána (nebo vyrovnána), protože se při vrtání otáčí vysokou rychlostí a jakákoli nerovnováha tvaru hlavně se při otáčení tak vysokou rychlostí ještě zvětší. Další operace, kterou je třeba provést, se tedy nazývá vystružování a k tomuto procesu se používá vystružovací stroj [7] [14].

6.2 Vystružování

Vystružovací nástroj je vyroben buď z nástrojové oceli, nebo (v modernější době) z karbidu wolframu. Typickým vystružovacím nástrojem je válcový nástroj, který má sadu několika přímých nebo šikmých řezných hran, které jsou navzájem rovnoběžné po obvodu

válce. Příklady vystružovacích nástrojů jsou vyobrazeny na obrázku 10 níže. Vystružovací nástroj odebírá pouze malé množství materiálu (obvykle nejvýše 0,1 až 0,2 mm) a používá se k přesnému dimenzování průměru vývrtu a také k vytvoření hladkého povrchu na vnitřní straně hlavně. Bílá část na obrázku níže je pouze měkká páska a je přítomna proto, aby se zabránilo vibracím výstružníku, když je uvnitř hlavně [14].

Obrázek 10 Druhy výstružníků [20]

Výstružník se vloží skrz hlaveň a poté se do ní napumpuje olej, ale pod nižším tlakem než při vrtání, které jsme viděli v předchozí kapitole. Na rozdíl od vrtání se při vystružování vystružovací nástroj otáčí a hlaveň zůstává v klidu. Vystružovací nástroj se otáčí rychlostí přibližně 200 až 500 otáček za minutu a hlaveň je vystružovacím nástrojem protahována rychlostí přibližně 2 až 5 cm za minutu. Olej udržuje vystružovací nástroj chladný a odplavuje z něj kovové piliny. Na obrázku výše je vidět, jak vystružovací nástroj vystupuje z hlavně a jak z hlavně vytéká špinavý olej. Olej se filtruje pomocí řady sít, aby se odstranily kovové částice, následně se olej recykluje [17].

Vystružováním se dosáhne mnohem hladšího povrchu než vrtáním a odstraní se pouze malá část materiálu. Někteří výrobci hlavní nízké kvality operaci vystružování zcela vynechávají a pouze vyvrtají otvor na požadovaný vývrt, což sice ušetří trochu peněz, ale nezajistí rozměrově přesný otvor. Všichni výrobci kvalitních hlavní vždy vyvrtají otvor o něco menší, než je požadovaný vývrt, a poté jej pomocí výstružníku upraví na přesný průměr a vnitřek dokončí hladkým povrchem. Dalším procesem po vystružení hlavně je přidání drážkování [14].

7 Technologie drážkování hlavní

Jak již bylo zmíněno, hlavně kulových zbraní jsou opatřeny drážkovanými vývrty. Cílem drážkování je zajistit rotaci střely při jejím výstupu z hlavně. Existuje hned několik metod, kterými lze drážky ve vývrtu vytvořit.

7.1 Jednobodové řezání

Jedná se o proces řezání kovu, při kterém se k vyřezání jediné drážky v hlavni používá karbidový hák. K vyříznutí drážky do konečné hloubky je zapotřebí několik průchodů. Nástroj vyřízne jednu drážku, indexuje, pak vyřízne další drážku a opět indexuje, dokud není vyříznut požadovaný počet drážek. Háček se vysunuje ven nebo hlouběji pomocí klínového systému a proces se opakuje. Celý cyklus může zahrnovat mnoho průchodů, aby se dosáhlo konečné hloubky drážky v hlavni [18].

Výhodou jednobodového řezání je proces řezání kovu, který nevnáší do kovu další napětí ve srovnání s procesy tváření za studena, takže hlaveň nevyžaduje dodatečné uvolňování napětí. Výrobci mají velkou kontrolu nad hloubkou drážky díky minimální hloubce řezu na jeden průchod a počtu průchodů na cyklus. Jednoduchým provedením dalšího průchodu lze drážku vyříznout o něco hlouběji, aby se dosáhlo požadovaného průměru drážky [18].

Protože nástroje nejsou specifické pro rychlost zkrutu, mohou výrobci používat jeden nástroj pro různé konfigurace drážkování. Pokroky v moderní konstrukci strojů a použití servotechnologie umožňují obsluze snadno naprogramovat zisk zkrutu pomocí stejného nástroje, zatímco moderní CNC technologie umožňuje jednodušší a opakovatelnější operace [17].

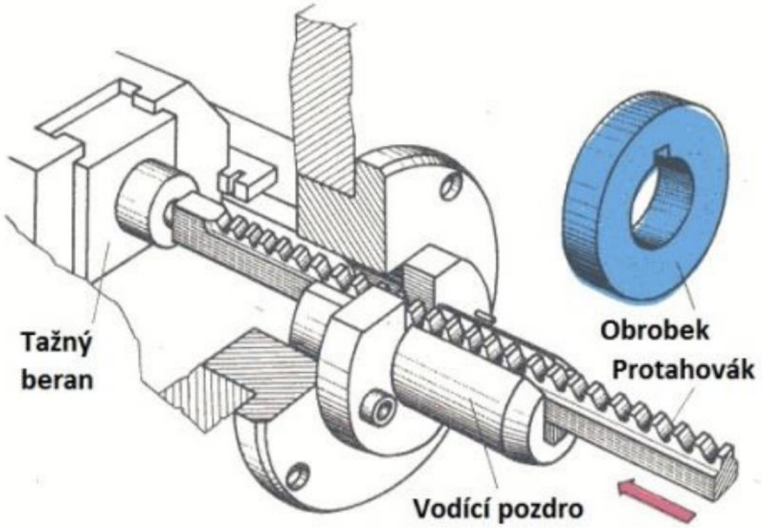
Řezané drážkování je časově velmi náročný proces vzhledem k počtu řezů a minimálnímu množství odebraného materiálu na jeden řez. Ve srovnání s jinými metodami drážkování, kde jsou proměnné veličiny do značné míry řízeny strojem, vyžaduje tato metoda kvalifikovaného řemeslníka pro obsluhu stroje. Opakovatelnost je u řezaného drážkování nejobtížnější udržet. Velmi důležitá je rovnoměrnost průměru vývrtu před procesem řezaného drážkování, protože těleso nástroje pro řezané drážkování se při řezání drážky nachází na vývrtu [14].

Pro výrobu hlavně metodou jednobodového řezání je zapotřebí speciálně konstruovaný stroj s vlastními nástroji, který je často vyráběn na zakázku výrobcem hlavní. U řezaného drážkování je opakovatelnost a tuhost otáčení vzhledem k lineárnímu pohybu kritická a obtížně dosažitelná jak při konstrukci stroje, tak při výrobním procesu. Typickou aplikací použití metody řezaného drážkování využívají výrobci při výrobě špičkově přesných pušek, zejména na zakázku. Na obrázku 11 je znázorněna přesnost střelby z hlavně vyrobené metodou jednobodového řezání [18].

Obrázek 11 Rozptyl střelby z hlavně vyrobené metodou jednobodového řezání [18]

7.2 Protahování

Protahování je proces řezání kovů, při kterém se používá dlouhý nástroj s několika zuby, který z každé drážky odebírá malé množství materiálu. Protahovač je veden po hlavni s otáčkami, které odpovídají vybroušenému krouticímu momentu v nástroji, přičemž každý postupný zub zvyšuje hloubku řezu. Jedná se o podobný proces jako u jednobodového drážkování, ale vyžaduje pouze jeden průchod. Lze jej provádět na podobném stroji jako u drážkování pomocí protlačování. Schéma stroje je znázorněno na obrázku 12 [14].



Obrázek 12 Princip protahování [20]

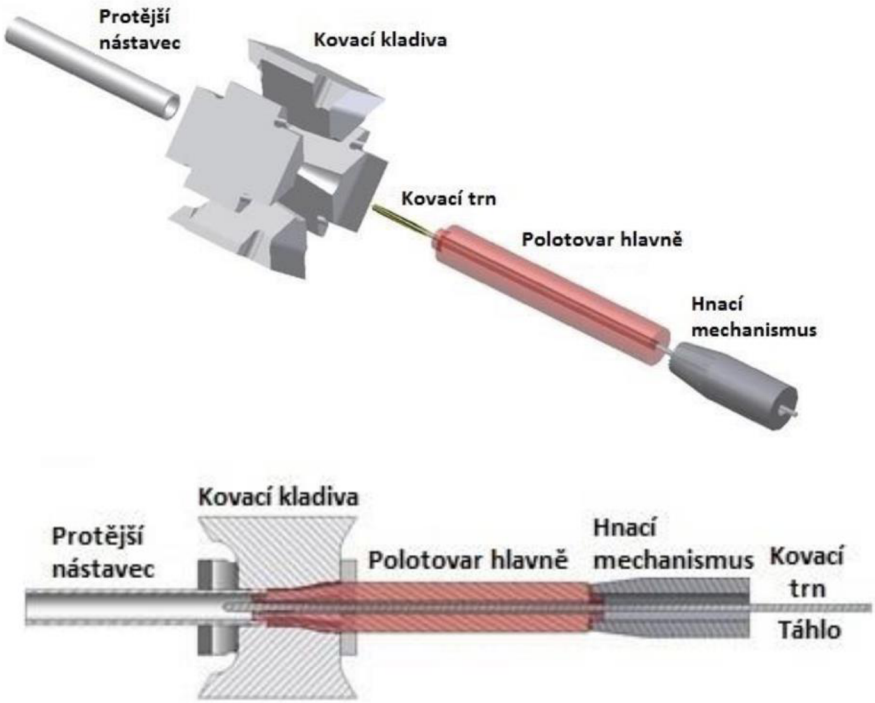
Podobně jako u řezaného drážkování se do materiálu nevnáší dodatečné napětí. Protahovací drážkování však nabízí zřetelnou výhodu v době cyklu, která je srovnatelná s dobou cyklu drážkování metodou protlačování, a to díky použití jednoho průchodu. Při protahovacím drážkování je potřeba nástroj pro každou rychlost otáčení a konstrukce nástroje zakazuje postupné otáčení. Kontrola třísek je pro výrobce důležitým faktorem. Konečně, povrchová úprava není tak hladká jako u jiných postupů drážkování. Náklady na nástroje mohou být velmi vysoké a nástroje jsou relativně křehké, což může zvýšit náklady nebo přerušit výrobu [17]

Pro protahovací drážkování je nutný speciální stroj a zásoba nástrojů. Konstrukce nástrojů je složitá, což může zvýšit investice. Protahované drážkování pro pistolové hlavně využívá předsériovou výrobu, což výrobcům umožňuje obrábět vnější prvky a poté protahovat pušku, čímž se eliminuje vícenásobné seřizování. Vzhledem k efektivitě výroby

před výrobním procesem je protahovací drážkování oblíbeným procesem pro pistolové hlavně a některé puškové hlavně [14].

7.3 Kování za studena

Při kování za studena se nadměrná kovová trubka přetlačí přes kalený trn, který má na vnějším profilu vybroušené negativní drážky, jak je patrné z obrázku 13. U některých moderních trnů je součástí i komora. Během procesu je trubka podávána a kována po malých úsecích a výsledkem je hotový polotovar hlavně, který je vytvarován nejen na požadovaný zkrut a ráži, ale také na délku a někdy i na vnější obrys. Proces kování kovů vede ke zvýšení odolnosti hlavně. Kování kladivem také snižuje počet dokončovacích kroků, čímž se zkracuje doba cyklu a snižují výrobní náklady. Proces kladivového kování je po nastavení a ověření pro výrobce výrobních hlavní velmi dobře opakovatelný. Kování kladivem vyžaduje vysoké počáteční investice do specializovaného strojního zařízení. Podobně jako u jiných metod kování je pro každý zákrut nutný specifický trn a progresivní zákrut není možný [9].



Obrázek 13 Schéma kování za studena [20]

Tato metoda vyžaduje vyhrazené zařízení a nástroje, které jsou specifické pro tento proces, ale může nabídnout výhody díky snížení celkového počtu kroků zpracování a celkové doby od suroviny k hotovému výrobku. Pokroky v oblasti strojů a nástrojů, jako je možnost komorování během procesu kování, učinily kování kladivem opodstatněnějším [18].

Vzhledem k vysokým počátečním investicím je kladivové kování méně oblíbené než jiné procesy drážkování. Pokud se používá, pak obvykle pro puškové hlavně ve vysokých výrobních úrovních. Typickou aplikací této technologie jsou vojenské pušky a civilní pušky platformy MSR vyobrazené na obrázku 14 níže [18].

Obrázek 14 Samonabíjecí puška Savage MSR-15 Patrol, ráže .223 Rem [37]

7.4 Flow forming

Jedná se o relativně novou metodu výroby vývrtu a vnějšího tvaru hlavně vynalezenou v 80. letech ve Švédsku. Flow forming má technologicky nejblíže k válcování za studena. Je procesem tváření za studena a byl vytvořen pro výrobu válcových bezešvých dutých dílců přesných rozměrů. Jelikož hlavně splňují tyto předpoklady, začala se na jejich výrobu aplikovat i tato metoda. Obecně existují dva typy flow formingu, které vznikly potřebou upevnění polotovarů různých tvarů [17].

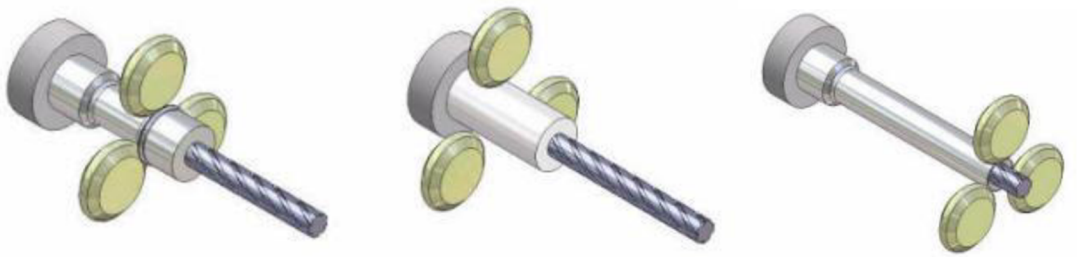
- **Dopředný flow forming**

Používá se pro přetváření polotovarů, které mají tvar s jednou stranou částečně nebo plně uzavřenou. Je charakteristický sousledným tokem tvářeného materiálu s relativním axiálním posuvem tvářecích válců. Pro ukotvení polotovaru k formovacímu trnu se využívá speciální koník [19].

- **Zpětný flow forming**

Využívá se u polotovarů s průběžnou vnitřní dírou po celé délce. Je naopak charakteristický nesousledným tokem přetvářeného materiálu s relativním axiálním posuvem tvářecích válců. Pro ukotvení polotovaru k tvářecímu trnu se využívá příruba se zuby. Ta se využívá i pro výměnu hotové hlavně za nový polotovar [19].

Dutý válcový polotovar z příslušného materiálu je převlečen přes formovací trn, který je vyroben z vysoko pevnostního materiálu (nejčastěji ze slinutého karbidu). Polotovar je o něco kratší a jeho stěny jsou tlustější, ze stejného důvodu jako u kování. Přetvořením je vytvarován do konečné delší podoby s tenčími stěnami. Formovací trnmá negativní tvar vývrtu hlavně podobně jako u metod kování (viz výše). Pro tváření hlavní, které jsou relativně dlouhé, a je u nich požadavek na vysokou přesnost, se zpravidla používají tři tvářecí válce pootočené o 120°. Pro vytvoření vhodných tvářecích podmínek jsou jednotlivé válce radiálně a axiálně přesazeny [17].



Obrázek 15 Princip flow formingu [20]

Obrobek s trnem konají rotační pohyb a tři (zelené na obr.15) válce vytváří tlak na materiál obrobku. Přítlak je vyvozován pomocí hydrauliky nebo kuličkových šroubů. Válce jsou potom pomalu posouvány v ose obrobku s trnem. Aby bylo dosaženo požadovaných přesností, je na celý proces aplikováno CNC řízení. Výsledkem posuvu válců, přítlačných

sil a rotace obrobku je jeho prodloužení, ztenčení a vytvoření vnitřního vývrtu s drážkami podle tvaru trnu. Ztenčení stěn původního polotovaru může (dle materiálu) dosahovat až 90 % z původní tloušťky a prodloužen může být až několikanásobné. Celý postup přetvoření obrobku se může provádět na několikrát, až je dosaženo požadovaného tvaru hlavně [21].

U flow formingu jsou dosahovány dobré výsledky geometrických přesností a kvality povrchů. Kvalita povrchu vyrobeného vývrtu v podstatě odpovídá kvalitě povrchu formovacího trnu. Časová náročnost výroby hlavně (malorážové) se pohybuje v řádu desítek sekund. Vlivem velikého přetvoření materiálu a tření mezi obrobkem a válci je vnášeno do materiálu velké teplo. Proto je nutné intenzivní chlazení. Největší výhodou je vysoká produktivita, velmi dobré výsledky přesnosti a kvality, zpevnění materiálu podobně jako u kování a menší pořizovací náklady technologie oproti radiálnímu kování. Vlivem velkého přetvoření se i zjemní zrna materiálu a je dosaženo výsledné stejnorodé mikrostruktury v axiálním směru. Pokud je to nutné, výsledná struktura může být ještě dodatečně upravena rekrystalizačními tepelnými úpravami. Vysokou výrobní kvalitou se i eliminují náklady na pracné dokončovací procesy. Nevýhodou je velké teplotní zatížení materiálu a možnost použití pouze na kratší malorážové hlavně [19].

7.5 Protlačování

Anglicky button rifling, je proces tváření za studena, při kterém se drážkování v hlavni vyfrézuje pomocí karbidového nástroje, který má drážky určitého rozměru a rychlosti stočení a je znázorněn na obrázku 16. Protlačování je jednoprůchodová operace, při níž se karbidový nástroj řízenou rychlostí tlačí nebo táhne vývrtem polotovaru hlavně, čímž vzniknou požadované drážky a pole [18].

Obrázek 16 Konec karbidového nástroje [38]

Tento proces tváření za studena přináší výhody pro hotovou hlaveň. Zpevňuje povrchovou vrstvu hlavně, čímž zvyšuje odolnost a životnost hlavně. Jeho výsledkem je také lepší povrchová úprava, přičemž Ra je výrazně nižší než u původního vývrtu nebo u jiných metod drážkování. Protože nedochází k řezání kovu, nemusí výrobci a provozovatelé zvládat kontrolu třísek. Jedná se také o vysoce kontrolovaný proces, který je opakovatelný v celé výrobní sérii. Při knoflíkovém drážkování je možné progresivní kroucení [18].

Při protlačování je zapotřebí dalšího kroku snižování napětí, který zvyšuje náklady a čas dokončení drážek. Operace snižování napětí se používá k odstranění napětí, které vzniká ve vývrtu hlavně v důsledku procesu tváření za studena. Rovněž není možné předem opracovat prvky pistolové hlavně, protože při protlačování je nutné dosáhnout rovnoměrného vnějšího průměru. Pro každý vývrt je zapotřebí jedinečný nástroj, protože šroubovice je vybroušena do karbidového protahováku. Technologie protlačování lze snadno provádět na moderním zařízení. Servopohon pro řízení rychlosti stočení ve srovnání se staršími technologiemi se šroubovicí nebo vačkou výrazně zlepšil rovnoměrnost stočení v celé hlavni a umožnil opakovatelnost v celé výrobní sérii. Dostupnost a relativně nižší investice do zařízení rovněž činí z protlačování výhodnou metodu [16].

Vzhledem k jednoduchosti, konzistenci a krátké době cyklu, které knoflíkové drážkování nabízí, se jedná o objemově zdaleka nejpoužívanější postup při výrobě puškových hlavní, zejména při výrobě hlavní loveckých zbraní. Tato technologie drážkování se dále užívá u pušek typu MSR, dalších přesných pušek a pistolí [18].

8 Dokončovací technologie

Cílem je dosažení požadované drsnosti povrchu. Dokončovací operace se dělí na operace nástroji s definovanou geometrií břitu a s nedefinovanou geometrií břitu. Častěji užívané jsou operace s nedefinovanou geometrií břitu. Zde je důležitým faktorem volba správného brusiva, jeho velikosti a materiálu. U těchto metod může být materiál součásti odebírán volným brusivem přiváděným mezi polotovar a nástroj, nebo se materiál odebírá nástrojem, na kterém jsou jednotlivá zrna spojena pomocí pojiva (např. broušení). Typickým znakem těchto technologií je minimální úběr materiálu [21].

8.1 Profilování

Technologie profilování hlavně lze provést na běžném soustruhu, ale protože je hlaveň vzhledem ke své délce relativně velmi tenká, je nutné ji profilovat na soustruhu. Není příliš tuhá, je obtížné obrábět střední část hlavně bez vzniku velkého chvění, což může zničit povrchovou úpravu a v nejhorších případech i ohnout hlaveň. Navíc je člověk opravdu omezen na rovnost kuželových profilů, kterých se dosáhne odsazením koníku. Aby bylo možné reprodukovat zakřivené linie většiny sportovních hlavní a velkorážních pušek v rozumném čase vyžaduje tato technologie použití vhodného profilovacího soustruhu, který má hydraulický kopírovací nástavec a samostatně středicí stabilní soustruh [7]. Hydraulický kopírovací přístroj má citlivý hrot, který sleduje tvar vzoru, který je obvykle upevněn na kolejnici za soustružnickým ložem. Automatický posuv posouvá sedlo po loži soustruhu zásluhou rysek, které sledují obrysy vzoru. Řezný nástroj je namontován na hydraulicky ovládané konstrukci a kopíruje pohyby hrotu, takže kopíruje tvar vzoru. Aby se hlaveň udržela v klidu a nevibrovala, následuje hydraulicky nebo pneumaticky ovládaný stabilizátor několik centimetrů za frézou. Ten se skládá ze tří válečků, které se upínají na hlaveň a které jsou propojeny tak, že pokud se jeden z nich pohybuje radiálně dovnitř nebo ven, ostatní ho

následují. To umožňuje, aby se stabilizátor přizpůsobil měnícímu se průměru hlavně, když se nástroj a stabilizátor pohybují od tenkého ústí k silnému zesílení [14].

Při profilování hlavně se odstraňuje velké množství kovu a pokud je v kovu nějaké napětí, pak se odstraňováním materiálu uvolňuje. To může vést k tomu, že hlaveň, která začala jako rovná, skončí jako ohnutá. To obvykle nepředstavuje problém při drážkování hlavně, protože při něm nevzniká žádné pnutí, ale při drážkování pomocí metody „button rifling“. Při drážkování vzniká poměrně velké radiální napětí, které se zmírní otočením hlavně dolů. Co se stane je, že s odstraňováním kovu z vnější strany se zvětšují rozměry uvnitř. Pokud se otočí sportovní hlaveň s hubeným ústím z protlačovaného polotovaru, pak dojde k zjištění, že hlaveň je zvonovitá a průměr vývrtu je na ústí hlavně o dost větší než v komoře, což rozhodně není dobré! Protlačované polotovary hlavní musí být před profilováním odlehčeny, aby se zabránilo této expanzi na ústí hlavně [21].

8.2 Lapování

„Není to potřeba, jen to opotřebovává hlaveň!“ P.O. Ackley.

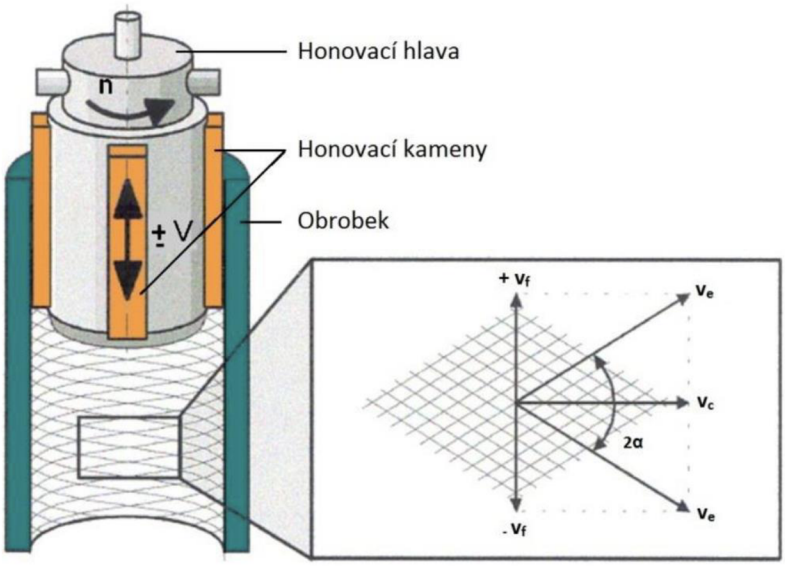
Lapování hlavně olovem se provádí za účelem vyleštění vývrtu a odstranění stop po obrábění a také za účelem odstranění případných těsných míst v hlavni a jejího rozměrového sjednocení od začátku ke konci. Na seznamu deseti nejlepších výrobců hlavní, ať už minulých nebo současných, není výrobce, který by své hlavně nelapoval. Tento proces se obvykle provádí ručně, i když ve větších dílnách je mechanizovaný. Pro výrobce hlavní je to také kontrolní proces, při kterém může zjistit, co se v hlavni děje [17]. Nejprve se lapovací tyč (stará čisticí tyč) přenese do hlavně do vzdálenosti asi čtyř palců od konce a poté se do hlavně při svislé poloze vlije roztavené olovo. Olovo ztuhne na konci hlavně a vytvoří odlitek, který přesně odpovídá vnitřnímu tvaru a rozměrům hlavně. Olověný lap se pak vytlačí a potře lapovací pastou, která se používá při broušení ventilů. Olověná lamela se pak vytahuje a posouvá nahoru a dolů po délce hlavně po dobu několika set tahů, takže se občas přidává další pasta nebo olej. Schéma lapovacího stoje na obrázku 17. Protože velké částice třísek jsou v olovu uloženy hlouběji než malé částice, dochází k rovnoměrnému tlaku všech částic třísek na ocel hlavně. Výsledný efekt je leštění hlavně, nikoli její poškrábání, které by zanechalo matný povrch [7].

Obrázek 17 Schéma lapovacího stroje [20]

Lapování hlavně přidává k průměru vývrtu a drážky hlavně jednu až tři desetiny tisíce a používá se u většiny malých zakázkových výrobců hlavní jako dokončovací proces na vnitřní straně hlavně. Lapování hlavně zlepší výkon téměř každé hlavně – v některých případech až překvapivě! Obecně platí, že lapované hlavně střílejí dobře od samého začátku, zatímco u stejné nelakované hlavně může trvat přibližně tisíc výstřelů, než začne podávat nejlepší výkon. Na rozdíl od Ackleyho výroku, lapování se projeví tím, že životnost hlavně se prodlouží, nikoliv sníží [7].

8.3 Honování

Honování je dokončovací metoda obrábění, při které se jakost obrobených povrchů zvyšuje řezným účinkem jemného brusiva. Nejčastěji se používá pro dokončování vnitřních válcových ploch (vnitřní honování), kde lze honovat díry průchozí i neprůchozí, s drážkami různých tvarů a velikostí a přídavným zařízením i kuželové díry. Méně často se honují vnější válcové plochy (vnější honování). Je to v podstatě broušení malou rychlostí jemným brusivem vázaným honovacích kamenech (lištách) upevněných v honovací hlavě při intenzivním použití řezných kapalin, pro představu je sestava znázorněna na obrázku 18. Při vnitřním honování vykonávají honovací kameny v díře složený šroubovitý pohyb. Ten je tvořen kombinací rotačního pohybu honovací hlavy a posuvného vratného pohybu ve směru osy honování [22].



v_f- posuvová rychlost, v_c-řezná rychlost, v_e-rychlost řezného pohybu.

Obrázek 18 Princip honování [20]

Předností honování je dosažení vysoké přesnosti geometrického tvaru. Lze jím v rozsahu přídavku odstranit kuželovitost, oválnost, soudkovitost, ne však změnit polohu osy díry. Řezné podmínky honování jsou ovlivňovány především honovaným materiálem, výchozí a požadovanou přesností tvaru a drsnosti povrchu, použitým brusivem, průměrem díry a přídavkem na honování. Pro zajištění vysoké produktivity a požadované jakosti povrchu se při honování vždy používá řezných kapalin [11].

Podle požadované přesnosti honovaného povrchu se rozlišuje honování jednostupňové (jeden nástroj pro hrubovací i dokončovací honování) a honování dvoustupňové (hrubozrnnější nástroj pro hrubování a jemnozrnný pro dokončování). Při elektrolytickém honování ve vhodném elektrolytu se až 90 % úběru materiálu realizuje jako elektrolytický proces. Vibrační honování probíhá za podmínek, kdy se na posuvový nebo rotační pohyb nástroje superponuje kmitavý pohyb o amplitudě 1 až 10 mm a frekvenci až 1500 Hz [22]. Proces honování se realizuje pomocí sady radiálně stavitelných honovacích kamenů, které jsou v rovnoměrných roztečích ustaveny po obvodě honovací hlavy. Honovací stroje se vyrábějí v širokém rozsahu provedení a rozměrů. Podle polohy vřeten se rozlišují honovací stroje svislé a vodorovné. Podle počtu vřeten jednovřetenové a vícevřetenové. Nejfrekventovanějším druhem jsou svislé jednovřetenové stroje [11].

U zbraní se honování vývrtu provádí zejména u malorážových zbraní drážkovaných i hladkých před kováním vývrtu (technologicky nutné pro úspěšné kování hlavně na kovacím trnu). Dále jako dokončovací operace pro dosažení požadovaných úchylek tvaru, polohy a drsnosti povrchu vývrtu hlavně. Hlavně středních a větších ráží se honují před výrobou drážek protahováním. Honování se zařazuje do technologického postupu obvykle také před povrchovou úpravou vývrtu (např. chromováním) [22].

9 Povrchové úpravy

Náročnost i samotnou potřebu údržby od počátků určuje, jak často jsou zbraně používány, v jakých podmínkách i z jakých materiálů a jakou technologií jsou vyrobeny. Především materiálové složení ve spojení s použitou technologií výroby má zásadní vliv na celkovou kvalitu a výdrž zbraně v kontextu s požadavkem na její údržbu.

9.1 Chromování

Chrom je nejtvrdším elementárním kovem s výbornou mechanickou odolností a korozivzdorností. Již jejím přídavkem do slitin legovaných ocelí dodává takto vyrobenému předmětu potřebnou tvrdost, ačkoliv většina uživatelů zbraní si přítomnost chromu vybaví ve spojení s vývrtem hlavní, kde se dlouhodobě používá pro zabránění vzniku koroze [21].

Tato velmi odolná, nejčastěji cca 1-4 μm tenká vrstva, upravovaný materiál uzavře a částečně vyplní případné materiálové póry. Ačkoliv se v dnešní době jedná o poměrně známou a přijatelně náročnou technologii, v sériové výrobě ji aplikuje pouze několik světových výrobců, příkladem je ruský výrobce Iževsk, který vyrábí pušky značky Bajkal. Chrom dodává povrchu odolnost, tvrdost, avšak postrádá jakoukoliv elasticitu, je velmi křehký. Stačí tedy sebemenší narušení takto ošetřeného povrchu a chrom se začne nezastavitelně odlupovat [23].

Nejčastější technologií používanou pro chromování povrchů je metoda galvanického pokovování. Galvanicky pokovený povrch získá zejména s ohledem na použitý chemický prvek vrstvu odolnou vůči korozi, otěru i teplotě, což jsou přesně ty vlastnosti, které jsou pro dlouhou životnost hlavně klíčové [23].

9.2 Černění

Proces černění patří mezi nejstarší, avšak dosud velmi hojně používanou metodu povrchové úpravy kovů. Důvodem je především relativní jednoduchost a efektivnost této technologie, včetně možnosti opakování procesu i následné opravy poškozeného černění. V praxi se také užívá název brunýrování, který byl převzat z německého slova „brünieren“. Na rozdíl od ostatních metod je černění specifické svou reakcí přímo na povrch černěného materiálu zásluhou černícího roztoku. Následnou reakcí vzniká souvislý, černý, hnědý, ale i modrý povrch ošetřovaného materiálu. Materiál rozměrově nenabývá, neboť nedochází k vrstvení dalších materiálů na povrchu. Lze tedy tuto metodu označovat jako moření [24].

Existuje několik způsobů, kterými lze technologii černění provádět. Nejsnadnějším způsobem je černění v horké lázni, při kterém lze načernit i malé otvory a vnitřní stěny trubek, což některé z dále popsaných technologií neumožňují. Ve většině případů se při vlastním černění ucpávají vývrty hlavní, aby nedocházelo k nežádoucímu působení kyselého prostředí. Opakem černění v horké lázni je tzv. černění za studena. Jedná se o proces, kdy není nutno ponořit výrobky do horké lázně. Na rozdíl od horké lázně je však proces černění za studena náročnější, především v nutnosti opakování vlastního procesu před finálním vyvařením a konzervací. Obvykle je za potřebí 6 až 8 opakování, pro dosažení dokonalého povrchu i 12 až 15 opakování. Poslední a jednou z nejstarších metod černění je kovářské černění neboli karbonování. Proces spočívá v ponoření výrobku do olejové lázně. V důsledku nedokonalého spalování oleje se na povrchu výrobku vytvoří vrstva karbonu [4].

9.3 Lakování

V posledních letech se do popředí zájmu výrobců dostává či navrací metoda lakování součástek. Již v dávných dobách byla využívána technologie lakování k ochraně před vlivy okolního prostředí i jako dekorační prvek. Největším problémem této metody byly technické problémy spojené s časovou náročností technologie, neboť bylo zapotřebí jednotlivé části vždy jednotlivě máčet, natírat či stříkat lakem a následně nalakované součásti sestavit v celek. Při těchto operacích vznikaly problémy s nerovnoměrností vrstvy laku, což následně zabraňovalo správnému usazení částí a s tím spojený správný chod jednotlivých součástí [4].

V současnosti se do popředí dostává tenkovrstvé lakování na bázi keramických kompozitních polymerů na úkor původních metod lakování, které stále mají své zastoupení v průmyslu. Tato technologie umožňuje všestranné použití na dřevo, kovy, plasty i polymery, což zejména ve zbrojním průmyslu pokrývá v podstatě celou škálu pro výrobu zbraní používaných materiálů [4]. Dalším pozitivem této technologie je široké spektrum barev, které je možno na dané součásti nanášet. Další výhodou tenkovrstvého nanášení je nárazová odolnost a odolnost vůči korozi, tvrdosti a trvanlivosti naneseného povrchu. V případě zvolení doporučeného způsobu aplikace také nabízí velmi dobrou přilnavost a chemickou odolnost [25]

9.4 Povlakování

Technologie povlakování vznikla v 70. letech minulého století s tím, že její masové nasazení do oblasti průmyslu přišlo o 20 let později, v 90. letech. Moderní povlakovací metody jsou v dnešní vyspělé průmyslové praxi naprosto běžné a pro řadu technologických procesů již neodmyslitelnou a nenahraditelnou operací. Jejich praktické využití v oblasti zbraní se teprve rozvíjí, nicméně možnosti moderních povlaků zajímají stále více výrobců a lze tedy očekávat jejich rychlý nástup do sériové produkce. Mezi hlavní důvody nasazení této technologie do sériové výroby patří dlouhá životnost, opakovatelnost i přesnost aplikace, snadná opravitelnost, vysoká tvrdost blížící se tvrdosti diamantu, pestrá škála barev nebo možnost výroby povlaku dle konkrétních požadavků [4].

Oproti předešlým metodám vyčnívá povlakování dlouhodobou životností, a to i při relativně vysokých teplotách nebo rychlostech způsobených kadencí střelby, četnosti pohybů a rychlosti pohybujícího se závěru například u samonabíjecích pistolí, kulovnic nebo nosičů závorníku i závorníků samotných u automatických zbraní, jako jsou samopaly, kulomety apod. V případě použití vhodného moderního povlaku dojde k několika pozitivním efektům najednou. Výrobce nemusí používat tolik kvalitní, většinou tvrdý, a tím pádem hůře obrobitelný materiál. Současně dojde ke snížení tření zásluhou povlaku, který zvýší kluznost součástky [26].

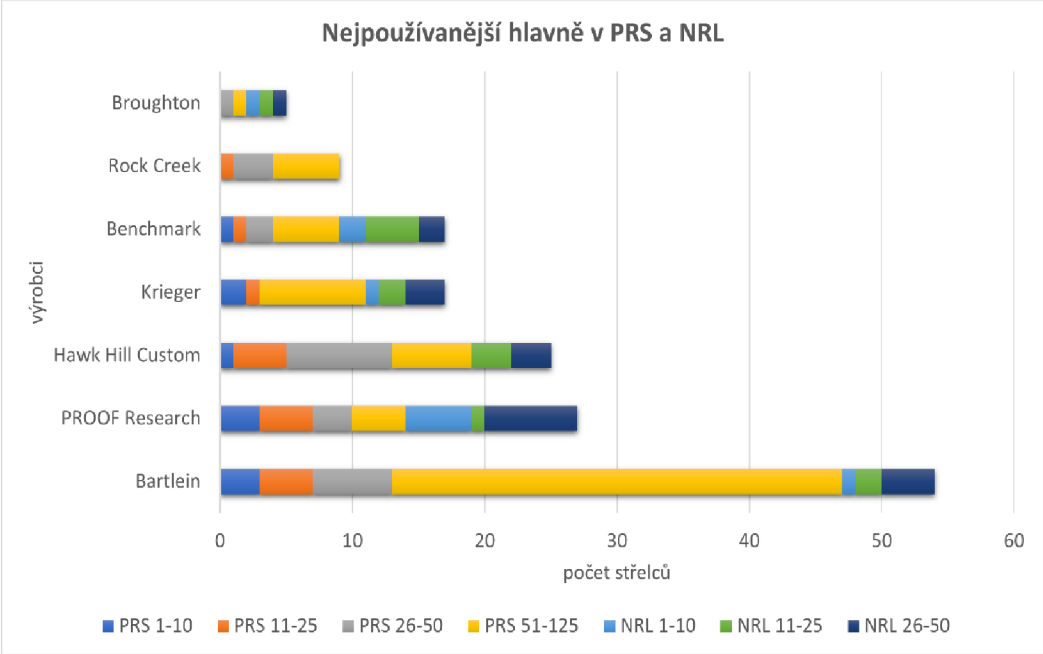
10 Ekonomické zhodnocení

Vybrat nejlepší hlaveň, která by uspokojila veškeré požadavky zákazníka je velmi obtížné, neboť s rostoucí přesností hlavně roste i její cena. Z tohoto důvodu jsou v této práci použity dva přístupy pohledu na danou problematiku.

10.1 Závodní střelba

Nejprve je vyhodnocena nejlepší hlaveň na základě preferencí top 150 střelců americké soutěže pro závodní střelce: Precision Rifle Series (PRS) a National Rifle League (NRL). Drtivá většina hlavní používaných pro závodní střelbu je vyrobena technologií jednobodového řezání, která je velmi nákladná. To se samozřejmě promítne i do ceny hlavní, které se pohybují okolo 16 000 Kč/ks.

Nejpopulárnější zbraně mezi střelci PRS a NRL jsou k vidění na obrázku 19. Legenda na grafu popisuje ligu a pořadí, které jednotlivé barvy představují. Postavení střelců je chronologicky zleva doprava. Nejoblíbenějšími hlavněmi disponuje americká firma **Bartlein**, která je na vrcholu tohoto seznamu již od roku 2012 a v některých letech představuje více než 60 % střelců! V roce 2019 roce představovala 31,4 % střelců, což je stále dvakrát více než jakákoli jiná značka [27].



Obrázek 19 Nejoblíbenější hlavně závodních střelců [28]

Druhou nejoblíbenější značkou hlavní mezi těmito nejlepšími střelci byla **PROOF Research** s 15,7 %. To je více než dvojnásobek počtu střelců, kteří byli zastoupeni při posledním zveřejnění statistik hlavní, což naznačuje rostoucí důvěru spotřebitelů v její výrobky. Ve skutečnosti více střelců z první desítky používalo hlavně PROOF než jakoukoli jinou značku! V NRL představovaly 50 % střelců z první desítky a v PRS 30 % [28].

Když si většina lidí představí společnost PROOF Research, pravděpodobně si vybaví její hlavně z uhlíkových vláken, ale PROOF vyrábí také tradiční ocelové hlavně – a právě ty používalo 100 % těchto střelců. Všichni tázaní používali na svých soutěžních puškách ocelové hlavně, i když několik z nich uvedlo, že na svých loveckých puškách používají hlavně z uhlíkových vláken. Daniel Bertocchini, který skončil celkově 23. v PRS, to vysvětlil slovy: *„Hlavním důvodem, proč střelci používají ocelové hlavně místo uhlíkových, je vyšší hmotnost pro většinu soutěží PRS, ale používání uhlíkových hlavní místo ocelových má své výhody, zejména pokud jde o snížení hmotnosti u loveckých pušek.“* V soutěžích v přesné střelbě je hmotnost často považována za dobrou věc [12].

I hlavně z uhlíkových vláken mají jako vložku ocelovou hlaveň, a i když je ocelová vložka poměrně tenká, stále by byly bezpečné pro střelbu bez obalu z uhlíkových vláken. Uhlíková vlákna jsou tam jednoduše proto, aby dodala větší tuhost, aniž by přidala velkou hmotnost. Na obrázku 20 níže je uveden příklad, který srovnává tradiční ocelovou hlaveň a příklad hlavně obalené uhlíkovými vlákny [12].

Obrázek 20 Porovnání ocelové hlavně s hlavní obalenou karbonovou vrstvou [28]

Hawk Hill Custom zůstala jednou z nejprodávanějších značek hlavní, která představuje 14,5 % hlavní používaných nejlepšími střelci. I v roce 2016 byly hlavně Hawk Hill velmi oblíbené, kdy je používalo 26 % nejlepších střelců. Hlavním důvodem důvěry v Hawk Hill podle mnohých expertů je, že se stále jedná o relativně malý obchod [29].

Ve velkých výrobních podnicích se může stát, že člověk, který lapoval hlavně nebo obsluhoval některý ze strojů, je v určité dny jiný (např. když má dovolenou, přijmou nového člověka nebo chtějí někoho přeškolit), a to může ovlivnit kvalitu hlavně, kterou zákazník obdrží. Větší podniky se také obvykle zaměřují na výkonnost výrobní haly a může existovat tlak na to, aby zaměstnanci splnili určité kvóty. Avšak Hawk Hill je stále butikovou, malou firmou, kde obvykle dělá určité operace stejný člověk, a stále mají možnost zpomalit a překontrolovat nástroje [28].

Krieger Barrels měli další silné zastoupení, 10 % těchto střelců používalo některou z jejich hlavní. To zahrnovalo dva z deseti nejlepších střelců v PRS a jednoho z deseti nejlepších střelců v NRL. Ve skutečnosti Matthew Brousseau vyhrál PRS podruhé za sebou a používal hlaveň Krieger. Jednohlavňové broušené hlavně Krieger jsou ve světě přesných pušek legendární a již více než deset let patří mezi hlavně, které si vybírají někteří špičkoví puškaři [30].

10.2 Lovecká střelba

V druhém pohledu jsou porovnány 4 různé opakovací lovecké zbraně, které se v roce 2021 umístily v rubrice loveckého časopisu Field & Stream v top 10 nejpřesnějších loveckých zbraní. Vybrány byly takové zbraně, které jsou i v současné době k dostání na internetových stránkách pro následné určení ceny zbraní. Mezi vybrané zbraně patří Browning X-Bolt, Mauser M-18 Bolt, Bergara B-14 HMR a Christensen Arms Bolt. Všechny ze zvolených pušek mají ráži 6,5 Creedmoor. Náboje ráže Creedmoor jsou konstruovány tak, aby střely měly co nejlepší start, a to tak, aby byla střela co nejpříměji orientována vůči vývrtu, což je zajištěno strmým úhlem ramene, minimálním kuželovým zúžením nábojnice a těsnými rozměry hrdla. Výsledkem toho všeho je lepší přesnost [31].

Browning X-Bolt (viz obrázek 21) je vybavena pažbou Max z kompozitních materiálů, drážkovanou nerezovou hlavní z oceli a odnímatelným rotačním zásobníkem. Tuto pušku je možno zakoupit v cenové hranici 27 000 Kč [32].

Obrázek 21 Browning X-Bolt [31]

Druhou zbraní je lovecká puška Mauser M-18 Bolt (viz obrázek 22). Mauser M18 v sobě spojuje všechny základní prvky pro lov. Výsledkem je skutečný nástroj pro skutečné lovce. Vyznačuje se důslednou pevnou ocelovou konstrukcí, za studena kovanou hlavní, ultrapevnou syntetickou pažbou s měkkými úchopovými vložkami na pistolové rukojeti a předpažbí, nastavitelnou spouští a třípolohovou pojistkou. V porovnání s ostatními puškami je dostupná za nejnižší cenu přibližně 16 000 Kč [33].

Obrázek 22 Mauser M-18 Bolt [31]

Třetí zvolenou puškou je Bergara B-14 HMR (viz obrázek 23 níže) má hlaveň Bergara z oceli 4140 CrMo s pětinásobným výbrusem a nejmodernější pažbu, které zajišťují spolehlivou přesnost na dlouhé vzdálenosti. Akce Bergara využívá systém 2 závorníků s vytahovačem ve stylu Sako a kuželové čelo závorníku a závěru, které zajišťuje hladké podávání a bezchybné vytahování. Zakřivená spoušť Bergara nastavená na 3 lbs poskytuje ostrý a čistý závěr pro zvýšení přesnosti. Pušky Bergara jsou na trhu k zakoupení v hodnotě necelých 22 000 Kč [34].

Obrázek 23 Bergara B-14 HMR [31]

Poslední zvolená puška Christensen Arms (viz obrázek 24) je vybavena volně plovoucí, ručně lakovanou hlavní z nerezové oceli 416R, vyrobenou metodou protlačování (button rifling) s aerografickým obalem z uhlíkových vláken a podestýlkou V-Block, která zajišťuje přesnost. Plochá spoušť pro soutěžní střelby zlepšuje ovládání a manipulaci pro lepší přesnost. Černě eloxované tělo zbraně z hliníkové sochory 7075 s tvrdou povrchovou úpravou poskytuje výjimečnou odolnost. Pažba z uhlíkových vláken poskytuje spolehlivost. Vzhledem k převážnému zastoupení kompozitních materiálů se jedná o nejdražší porovnávanou pušku v hodnotě 51 500 Kč [34].

Obrázek 24 Christensen Arms Bolt Action [31]

Následná tabulka zachycuje podstatné informace o jednotlivých zbraní, aby následně poskytla objektivní vyhodnocení porovnávaných vlastností. Za validní charakteristiky jsou považovány následující vlastnosti: materiál hlavně, metoda výroby hlavně, váha zbraně, přesnost střelby, nejlepší výstřel a posledním faktorem cena.

	Materiál hlavně	Metoda výroby	Váha zbraně	Přesnost výstřelů	Nejlepší výstřel	Cena zbraně
Browning	Nerezová ocel	Vnější drážkování (fluting)	3,7 kg	18,87 mm	8,38 mm	27 000 Kč
Mauser	Ocel	Kování za studena	3,2 kg	22,28 mm	17,09 mm	16 000 Kč
Bergara	Chrom-Molybden ocel	Protlačování (button)	4,2 kg	21, 16 mm	11,81 mm	22 000 Kč
Christensen Arms	Nerezová ocel + uhlíková vlákna	Protlačování (button)	3,1 kg	14,15 mm	10,19 mm	51 500 Kč

Tabulka 2 Porovnání zvolených pušek [31]

K tabulce 2 byl vytvořen dotazník, na který zodpovědělo 50 nezávislých respondentů, jakou z výše nabízených pušek by si vybrali. Polovina respondentů by zvolila pušku od výrobce Christensen Arms vzhledem k nízké hmotnosti a přesnosti střelby. Cenu komentovali se slovy: „*Loveckou pušku bych si kupoval pouze jednou za život, proto bych rozhodně nešetřil.*“ 30 % tázaných by zvolilo opakovací pušku značky Browning, neboť nabízí solidní přesnost střelby za přijatelnou cenu. Rozdíl váhy zbraně byl podle nich zanedbatelný. Pušky Mauser a Bergara získaly každá 10 % hlasů.

11 Závěr

Zbraně a lov provázejí lidskou rasu od prvopočátků její existence. Není divu, že s vývojem lidské rasy se vyvíjely i samotné zbraně, u kterých dochází k neustálým inovacím. Stále se objevují nové nápady pro zlepšení konečného výrobku, ať už jde o nový materiál či použití průlomové technologie. Mezi materiály se stále častěji dostávají do popředí kompozitní materiály vzhledem k jejich snadné dostupnosti a snížení hmotnosti zbraní.

Hlavní součástí zbraně je hlaveň, která určuje mimo jiné kvalitu palného nástroje. Při výrobě hlavně je nejdůležitější preciznost a přesnost výroby. Následné operace spjaté s výrobou mají nemalý vliv na konečnou kvalitu hlavně. U hlavní zůstávají upřednostňované oceli třídy 4140, 4150 a 4340, avšak použití ocelových hlavní s obalem z uhlíkových vláken ukázalo možný budoucí vývoj tímto směrem. Obal z uhlíkových vláken nabízí snížení hmotnosti, zvýšení odvodu tepla z hlavně při zachování přesnosti střelby. Nevýhodou těchto hlavní zůstává finanční aspekt, neboť se cena konečného výrobku může ztrojnásobit!

Z kapitoly „Ekonomické zhodnocení“ je patrné, že ocelové hlavně budou mít i v budoucnu své zastoupení, neboť nejlepší střelci Ameriky vyžadují těžkou zbraň pro přesnější střelbu. Naopak kompozitní materiály by mohly být klíčem k úspěchu v oblasti lovecké střelby, kdy snížení hmotnosti zbraně je příjemným pozitivem. Z dotazníku ze stejné kapitoly vyplynulo, že zvýšená cena zbraně opatřené kompozitními materiály není klíčovým faktorem pro volbu zbraně. Přes dvojnásobnou cenu zbraně Christensen Arms si ji zvolilo 50 % respondentů. Druhá, nejčastěji volená zbraň byla od výrobců Browning s 30 % hlasů.

Pokud by se podařilo snížit cenu kompozitních materiálů používaných při výrobě loveckých zbraní, mohly by do velké míry zastoupit či v některých případech nahradit dosud dominantní oceli.

12 Bibliografie

[1] DURDÍK, Jan a Miroslav MUDRA. *Alte Handfeuerwaffen*. 4. Aufl. Hanau/M: Dausien, 1989. ISBN 3768417395.

[2] HOFF, Arne. *Feuerwaffen*. II. Braunschweig: Klinkhart & Biermann, 1969. ISBN 0-686-14975-0.

[3] ACHARD, Olivier. *Svět zbraní: Pušky - Kulovnice - Brokovnice*. 1. Praha: REBO Productions, 1995. ISBN 80-85815-40-0.

[4] HART, Vlastimil. *Střelectví: Lovecké zbraně, střelivo, optika*. První. Praha: Druckvo, spol. s r. o., 2019. ISBN 978-80-213-3000-9.

[5] KOVÁRNÍK, Libor a Miroslav ROUČ. *Zbraně a střelivo*. První. Plzeň: Aleš Čeněk, 2007. ISBN 978-80-7380-030-7.

[6] The ABCs of a bolt action rifle. *I Am Hunter* [online]. USA: I Am Hunter by HuntShack, 2022 [cit. 2022-03-24]. Dostupné z: https://www.iamhunter.net/into-the-wild/the-abcs-of-bolt-action-rifles/

[7] KOLBE, Geoffrey. The making of a rifled barrel. *Leebell.net* [online]. USA: Precision Shooting Annual, 1995, , s. 18 [cit. 2022-03-24]. Dostupné z: http://www.leebell.net/pdf/makingarifledbarrel.pdf

[8] FIŠER, Miloslav, Stanislav PROCHÁZKA a Jozef ŠKVAREK. *Hlavně palných zbraní*. 1. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2015. ISBN 80-7231-157-3.

[9] HIGLEY, James a Vern BRIGGS. Notes On Hammer Forged Barrels. *SCRIBD* [online]. USA: scribd Inc., 2006 [cit. 2022-03-31]. Dostupné z: https://www.scribd.com/document/53432034/Notes-on-Hammer-Forged-Barrels

[10] Materiál hlavní. *Myslivost: Stráž myslivosti* [online]. Česká republika: myslivost.cz, 2022 [cit. 2022-03-24]. Dostupné z: https://www.myslivost.cz/Poradny/Strelecka-poradna/Material-hlavni

[11] LIDMILA, Z., J. LUKEŠ a E. SVOBODA. *Strojírenská technologie II: Technologie ve výrobě zbraní a munice*. První. Brno: Vojenská akademie v Brně, 1999. ISBN 978-80-7231-220- 7.

[12] PROOF carbon fibre barrel. *PROOF Research* [online]. USA: PROOF Research Ltd., 2022 [cit. 2022-03-27]. Dostupné z: https://proofresearch.com/barrels/ar-type/

[13] FIŠER, Miloslav. *Konstrukce loveckých, sportovních a obranných zbraní*. 2. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2015. ISBN 978-80-248-3769-7.

[14] *Firearms History, Technology & Development* [online]. USA: Confluent, 2010 [cit. 2022-03-24]. Dostupné z: http://firearmshistory.blogspot.com/

[15] WERNER, D, R BERTHOD, D RHUMORBARBE a A GALLUSSER. *Manufacturing of firearms parts: Relevant sources of information and contribution in a forensic context* [online]. USA: WIREs Forensic Sci., 2021 [cit. 2022-03-24]. Dostupné z: https://wires.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/wfs2.1401

[16] Gun Drilling Machines. *Nagel USA* [online]. USA: Nagel USA, 2022 [cit. 2022-03-24]. Dostupné z: http://www.nagelusa.com/gun-drilling-machines/

[17] KOCMAN, Karel. *Technologické procesy obrábění*. 1. vydání. Brno: Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 978-80-7204-722-2.

[18] Rifling types 101. *Vortakt Barrel Works* [online]. USA: Vortakt Barrel Works, 2021 [cit. 2022-03-24]. Dostupné z: https://vortakt.com/learn/barrel-rifling-methods/

[19] GÜN, BARIŞ a I. GÜVEL. RIFLING BY FLOW FORMING. *FireArmsID* [online]. Turkey: firearmsid.com, 2007 [cit. 2022-03-24]. Dostupné z: https://www.firearmsid.com/Feature%20Articles/FlowForming/Rifling_By_Flow_Forming.pdf

[20] MEDŮSEK, M. *Technologie při výrobě ručních palných zbraní*. Brno, 2013. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Karel Osička, Ph.D.

[21] LIDMILA, Zdeněk. *Teorie a technologie tváření*. II. Brno: Univerzita Obrany, 2008. ISBN 978-80-7231-580- 2.

[22] Honing Machines. *Nagel USA* [online]. USA: Nagel USA, 2022 [cit. 2022-03-24]. Dostupné z: http://www.nagelusa.com/high-volume-honing-machines/

[23] Chromování a nitridování hlavní. *Zbraně Kuna* [online]. Česká republika: Petr Kuna, 2022 [cit. 2022-03-31]. Dostupné z: http://www.zbrane-kuna.cz/hlavne

[24] Černění zbraní. *E-myslivost* [online]. Česká republika: e-myslivost.cz, 2022 [cit. 2022-03-31]. Dostupné z: https://www.e-myslivost.cz/zbrane/cerneni-zbrani/stranka-1-24.html

[25] Lakování zbraně černým matným PU lakem. *Gun Expert* [online]. ČR: Gunexpert s.r.o., 2022 [cit. 2022-03-31]. Dostupné z: https://www.gunexpert.cz/lakovani-zbrane-cernym-matnym-pu-lakem-sa-58

[26] Povlakování kovů fluorplastovými povlaky. *Technicoat* [online]. Česká republika: Technicoat s.r.o., 2022 [cit. 2022-03-31]. Dostupné z: https://www.technicoat.cz/cs/nase-sluzby/povlakovani/

[27] Precision Single-Point Cut Rifled Barrels. *Bartlein* [online]. USA: Bartlein LLC, 2022 [cit. 2022-03-31]. Dostupné z: https://www.bartleinbarrels.com/acknowledgement-and-mission-statement

[28] ZANT, Cal. Best Rifle Barrel – What The Pros Use. *Precision Rifle Blog* [online]. USA: PrecisionRifleBlog.com, 2021 [cit. 2022-03-24]. Dostupné z: https://precisionrifleblog.com/2019/01/05/best-rifle-barrel-2/

[29] Makers of Custom Cut Rifled Barrels. *Hawk Hill Custom* [online]. USA: Hawk Hill Custom LLC, 2019 [cit. 2022-03-30]. Dostupné z: https://www.hawkhillcustom.com/barrel-info.html

[30] Who we are. *Krieger Barrels Inc.* [online]. USA: Krieger Barrels Inc., 2022 [cit. 2022-03-24]. Dostupné z: https://kriegerbarrels.com/about

[31] SNOW, John B. Ever Tested (Plus, the Most Accurate Rifle Cartridges). *Field and Stream* [online]. USA: fieldandstream.com, 2021 [cit. 2022-03-24]. Dostupné z: https://www.fieldandstream.com/10-most-accurate-factory-hunting-rifles-weve-ever-tested/

[32] Browning X-Bolt Max Long Range Bolt-Action Rifle. *Cabela´s* [online]. USA: Cabela´s L.L.C., 2022 [cit. 2022-03-26]. Dostupné z: https://www.cabelas.com/shop/en/browning-x-bolt-max-long-range-bolt-action-rifle?irclickid=Q9TxVXWYUxyIUq1xPIW5y0zfUkGQlOXfeS-

MSk0&irpid=2536217&irmpname=Camden%20Media&sharedid=&irgwc=1&WT.mc_id=ir2536217&WT.tsrc=AFF&cm_soc=AFF

[33] MAUSER M18 BOLT. *Guns.com* [online]. USA: Guns.com, 2022 [cit. 2022-03-26]. Dostupné z: https://www.guns.com/firearms/rifles/bolt-action/mauser-m18-bolt-6-5-prc-bolt-action-4-1-rounds-22-0-barrel-new?p=431167

[34] *Cabela´s* [online]. USA: Cabela´s L.L.C., 2022 [cit. 2022-03-26]. Dostupné z: https://www.cabelas.com

[35] Železná hlaveň – píšťala, Čechy, 1. čtvrtina 15. století. *VHU Praha* [online]. Praha: Vojenský historický ústav Praha, 2020 [cit. 2022-03-24]. Dostupné z: http://www.vhu.cz/exhibit/zelezna-hlaven-pistala-cechy-1-ctvrtina-15-stoleti/

[36] S.325 Pistole Le Page Target – detail perkusního zámku. *KerberosTrade.cz* [online]. kerberostrade s.r.o., 2022 [cit. 2022-03-27]. Dostupné z: https://www.kerberostrade.cz/katalog/pistole-le-page-target-cal-44/

[37] Samonabíjecí puška Savage MSR-15 Patrol, ráže .223 Rem. *Alfashooting.cz* [online]. Plzeň: afatactical, 2022 [cit. 2022-03-27]. Dostupné z: https://www.alfatactical.cz/samonabijeci-puska-savage-msr-15-recon-raze-223-rem.html

[38] Rifling Button. *PFT* [online]. Dayton, USA: Precision Forensic Testing, LLC, 2022 [cit. 2022-03-27]. Dostupné z: https://www.precisionforensictesting.com/products/rifling-button

13 Seznam obrázků

Obrázek 1 Železná hlaveň, Čechy, 15. století 3
Obrázek 2 Perkusní zámek 4
Obrázek 3 Řez hlavní 5
Obrázek 4 Části hlavně 7
Obrázek 5 Popis brokovnice 7
Obrázek 6 Popis kulovnice 9
Obrázek 7 Karbonová hlaveň PROOF Research 13
Obrázek 8 Vrták ve tvaru V 15
Obrázek 9 Stroj pro vrtání hlavní 16
Obrázek 10 Druhy výstružníků 17
Obrázek 11 Rozptyl střelby z hlavně vyrobené metodou jednobodového řezání 19
Obrázek 12 Princip protahování 20
Obrázek 13 Schéma kování za studena 21
Obrázek 14 Samonabíjecí puška Savage MSR-15 Patrol, ráže .223 Rem 22
Obrázek 15 Princip flow formingu 23
Obrázek 16 Konec karbidového nástroje 25
Obrázek 17 Schéma lapovacího stroje 28
Obrázek 18 Princip honování 29
Obrázek 19 Nejoblíbenější hlavně závodních střelců 33
Obrázek 20 Porovnání ocelové hlavně s hlavní obalenou karbonovou vrstvou 34
Obrázek 21 Browning X-Bolt 36
Obrázek 22 Mauser M-18 Bolt 36
Obrázek 23 Bergara B-14 HMR 37
Obrázek 24 Christensen Arms Bolt Action 37

14 Seznam tabulek

Tabulka 1 Krytí brokovnic 8
Tabulka 2 Porovnání zvolených pušek 38