

# Karakterizacija materijala sačme

---

Heđi, Domagoj

Master's thesis / Diplomski rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:235:612381>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-04**

Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# DIPLOMSKI RAD

**Domagoj Heđi**

Zagreb, 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# DIPLOMSKI RAD

Mentori:

Prof. dr. sc. Zdravko Schauperl, dipl. ing.

Student:

Domagoj Heđi

Zagreb, 2024.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se prvenstveno svom mentoru prof.dr.sc. Zdravku Schauperlu na ukazanom povjerenju da ću izvršiti ovaj zadatak i rješavanju usputnih problema.

Također, želio bih se zahvaliti asistentima dr.sc. Daliboru Viderščaku mag. ing mech. i Danielu Pustičkom, mag. ing mech. na pruženoj pomoći, znanju i savjetima tijekom pisanja i izrade ovog diplomskog rada, te laborantima Romanu Divjaku i Ivanu Vovku oko pomoći izvedbe eksperimentalnog dijela završnog rada.

Na kraju, najviše se zahvaljujem svojoj obitelji i svim prijateljima koji su mi pružili podršku tijekom izrade rada i tijekom cijelog studija.

Domagoj Heđi



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
**FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**

Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:

Proizvodno inženjerstvo, inženjerstvo materijala, industrijsko inženjerstvo i menadžment,  
mehatronika i robotika, autonomni sustavi i računalna inteligencija



Sveučilište u Zagrebu	
Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa: 602 - 04 / 24 - 06 / 1	
Ur.broj: 15 - 24 -	

## DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Domagoj Hedi** JMBAG: 0035215858

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Karakterizacija materijala sačme**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Characterization of shot material**

Opis zadatka:

Od davnina se u lovu koristi olovna sačma. Razlog izbora tog materijala leži u njegovim mehaničkim, tehnološkim i balističkim svojstvima koja su superiornija od svojstava ostalih materijala. Međutim veliki nedostatak olovne sačme je toksičnost tog materijala i opasnost za eko-sustav. Stoga je u EU od 2023. godine zabranjeno korištenje olovne sačme u močvarnim lovištima i u tijeku su mnoga istraživanja na području alternativnih materijala za sačme.

U teoretskom dijelu rada potrebno je definirati i objasniti zahtjeve koji se postavljaju na materijale za izradu sačme te dati prikaz alternativnih materijala koji se danas koriste u tu svrhu s njihovim prednostima i nedostacima. U eksperimentalnom dijelu potrebno je karakterizirati strukturu različitih materijala sačme te izmjeriti tvrdoću. Također je potrebno osmisliti i napraviti napravu za mjerenje sile potrebne za potiskivanje sačme kroz cijev lovačke puške te izmjeriti te sile za olovnu i čeličnu sačmu.

Na temelju dobivenih rezultata potrebno je donijeti zaključke o primjeni alternativnih materijala u izradi sačme za lovačku municiju te navesti njihove prednosti i mane.

U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

9. svibnja 2024.

Zadatak zadao:

Prof.dr.sc. Zdravko Schauerl

Datum predaje rada:

11. srpnja 2024.

Predviđeni datumi obrane:

15. – 19. srpnja 2024.

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Ivica Garašić

## SADRŽAJ

<b>SADRŽAJ</b> .....	<b>1</b>
<b>POPIS TABLICA</b> .....	<b>4</b>
<b>POPIS KRATICA</b> .....	<b>5</b>
<b>POPIS OZNAKA</b> .....	<b>6</b>
<b>SAŽETAK</b> .....	<b>7</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>8</b>
<b>1. UVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>2. POVIJEST LOVA</b> .....	<b>10</b>
<b>3. RAZVOJ SUVREMENOG ORUŽJA</b> .....	<b>13</b>
<b>4. PODJELA LOVAČKOG ORUŽJA</b> .....	<b>15</b>
<b>4.1. Puške s glatkim cijevima – sačmarice</b> .....	<b>15</b>
4.1.1. Proizvodnja cijevi sačmarica.....	19
4.1.2. Dijelovi pušaka sačmarica .....	19
4.1.3. Kalibri cijevi .....	29
<b>4.2. Puške s užlijebljenim cijevima – kuglare</b> .....	<b>30</b>
4.2.1. Proizvodnje užlijebljenih cijevi .....	32
<b>5. MUNICIJA ZA PUŠKE S GLATKIM CIJEVIMA - SAČMARICE</b> .....	<b>34</b>
5.1. Dijelovi metka/patrone .....	34
5.2. Zahtjevi za izradu sačme .....	37
5.3. Materijali od kojih se proizvodi sačma .....	38
<b>6. ZAKONSKE REGULATIVE</b> .....	<b>42</b>
<b>7. EKSPERIMENTALNI DIO</b> .....	<b>44</b>
7.1. Osmišljavanje naprave .....	44
7.2. Provođenje testiranja - mjerenje sile.....	45
7.3. Karakterizacije strukture olova i čelika .....	49
7.4. Ispitivanje tvrdoće Vickersovom metodom .....	53
<b>8. ANALIZA REZULTATA ISPITIVANJA</b> .....	<b>56</b>
8.1. Rezultati i analiza mjerenja sile.....	56
8.2. Analiza mikrostrukture .....	62
<b>9. ZAKLJUČAK</b> .....	<b>67</b>
<b>LITERATURA</b> .....	<b>68</b>

## POPIS SLIKA

Slika 1.	Oružje lovaca u kamenom dobu [1] .....	10
Slika 2.	Oružje metalnoga doba[2] .....	11
Slika 3.	Moderna lovačka puška [6] .....	12
Slika 4.	Mehanizam puške kremenjače [7].....	13
Slika 5.	Puška ostraguša [8].....	14
Slika 6.	Lovačka puška sačmarica [10] .....	15
Slika 7.	Položara – horizontalno postavljene cijevi [11] .....	16
Slika 8.	Bokerica – vertikalno postavljene cijevi [12].....	17
Slika 9.	Sačmarica repetirka (lijevo) i prelamača (desno) [13] .....	17
Slika 10.	Mehanizam kokotare [14] .....	18
Slika 11.	Mehanizam čekićare i njezini dijelovi – 1. glava puške, 2. udarna igra, 3. čekić, 4. napinjač, 5. donja šina, 6. obarač, 7. opruga, 8. zapinjač [15] .....	18
Slika 12.	Postupak vrućeg valjanja – 1. Valjak, 2. Uložak, 3. Trn [16] .....	19
Slika 13.	Prikaz osnovnih dijelova sačmarice [17].....	20
Slika 14.	Presjek klasične glatke cijevi – 1. ležište (komora), 2. stožasti prijelaz, 3. vodište sačme, 4. stožasti prijelaz čoka, 5. čok [15] .....	20
Slika 15.	Usporedni prikaz kada su duljine metka/ložišta odgovarajuće i kada nisu (lijevo)[5], posljedica korištenja metka čija je čahura duža od ležišta (desno)[18] .....	21
Slika 16.	Prikaz kraja cijevi gdje se nalazi čok [19].....	22
Slika 17.	Oblici fiksnih čokova koji se nalaze unutar cijevi (lijevo)[5], primjeri promjenjivih čokova (desno)[5] .....	23
Slika 18.	Prikaz ispitivanja učinkovitosti čoka [20] .....	24
Slika 19.	Prikaz dijagrama rasipanja i dometa pušaka sačmarica s obzirom na vrstu čoka [17] .....	25
Slika 20.	Prikaz dijelova kundaka[15].....	26
Slika 21.	Usporedni prikaz egleskog (slika lijevo) i njemačkog (slika desno) kundaka [21] .....	27
Slika 22.	Prikaz mehanizma za opaljenje [22] .....	28
Slika 23.	Ejaktori izbacuju obje opaljene čahure [23].....	29
Slika 24.	Prikaz užlijebljene cijevi [24].....	31
Slika 25.	Prikaz osnovnih dijelova karabina/kuglara[17].....	32
Slika 26.	Prikaz dijelova metka za puške s glatkim cijevima [14] .....	34
Slika 27.	Usporedni prikaz Gevelot i Winchester 209 kapisli [26] .....	35
Slika 28.	Prikaz različitih vrsta čepova [27].....	36
Slika 29.	Prikaz čelične sačme i plastične košarice .....	40
Slika 30.	Olovna sačma pronađena u želudcu ptica močvarica [40] .....	42
Slika 31.	Prikaz kako olovna sačma nakon lova ostaje u prirodi [41].....	43
Slika 32.	Prikaz korištene cijevi i konačne naprave .....	44
Slika 33.	Kidalici WPM Leipzig EU 40 mod .....	45
Slika 34.	Prikaz olovne i čelične sačme korištene u eksperimentu .....	46
Slika 35.	Prikaz ispitnog uzorka prije utiskivanja u cijev(lijevo) i nakon utiskivanja u cijev(desno) .....	47
Slika 36.	Prikaz ispitnog uzorka na kidalici prije početka ispitivanja.....	48
Slika 37.	Prikaz ispitnog uzorka na kidalici nakon završetka ispitivanja.....	49
Slika 38.	Postupak brušenja.....	50
Slika 39.	Dijamantna pasta .....	51

Slika 40.	Tkanina od filca za poliranje .....	51
Slika 41.	Svjetlosni mikroskop Olympus GX 51 .....	52
Slika 42.	Shematski prikaz mjerenja tvrdoće Vickers metodom[43] .....	53
Slika 43.	Uređaj za mjerenje tvrdoće.....	55
Slika 44.	Usporedni prikaz olovne (lijevo) i čelične (desno) sačme nakon ispitivanja.....	56
Slika 45.	Prikaz cijevi puške prije i poslije ispitivanja.....	57
Slika 46.	Grafički prikaz mjerenja sile protiskivanja olovne sačme kroz cijev puške .....	59
Slika 47.	Grafički prikaz mjerenja sile protiskivanja čelične sačme kroz cijev puške.....	61
Slika 48.	Mikrostruktura olovne sačme pri povećanju od 50x .....	62
Slika 49.	Mikrostruktura olovne sačme pri povećanju od 100x .....	63
Slika 50.	Mikrostruktura olovne sačme pri povećanju od 200x .....	63
Slika 51.	Mikrostruktura olovne sačme pri povećanju od 500x .....	63
Slika 52.	Mikrostruktura olovne sačme pri povećanju od 1000x .....	64
Slika 53.	Mikrostruktura čelične sačme pri povećanju od 50x.....	65
Slika 54.	Mikrostruktura čelične sačme pri povećanju od 100x.....	65
Slika 55.	Mikrostruktura čelične sačme pri povećanju od 200x.....	65
Slika 56.	Mikrostruktura čelične sačme pri povećanju od 500x.....	66
Slika 57.	Mikrostruktura čelične sačme pri povećanju od 1000x.....	66



**POPIS TABLICA**

Tablica 1. Rezultati ispitivanja mjerenja gustoće posipa s obzirom na vrstu čoka [5] .....	25
Tablica 2. Kalibri i promjeri cijevi sačmarica [5] .....	30
Tablica 3. Prikaz gustoća ekološki prihvatljivih materijala za izradu sačme [5] .....	38
Tablica 4. Razlika u težini punjena olovne i čelične sačme [5] .....	40
Tablica 5. Prikaz izmjerenih koordinata desnog i lijevog vrha baze utisnute piramide i prikaz dobivene tvrdoće za olovnu sačmu .....	54
Tablica 6. Prikaz izmjerenih koordinata desnog i lijevog vrha baze utisnute piramide i prikaz dobivene tvrdoće za čeličnu sačmu .....	54
Tablica 7. Usporedni prikaz izmjerenih sila za olovnu i čeličnu sačmu .....	57

**POPIS KRATICA**

---

<b>Kratika</b>	<b>Opis</b>
C.I.P.	međunarodna organizacija koja postavlja standarde za ispitivanje sigurnosti vatrenog oružja (eng. Permanent International Commission for the Proof of Small Arms)
PE-HD	Polietilen visoke gustoće (eng. Polyethylene High Density.)
PHA	Polihidroksialkanoata (eng. Polyhydroxyalkanoat)
SAAMI	Institut proizvođača sportskog oružja i streljiva (eng. Sporting Arms and Ammunition Manufacturers' Institute)
WHO	Svjetska zdravstvena organizacija (eng. World Health Organization)

---

**POPIS OZNAKA****Latinske oznake**

<b>Oznaka</b>	<b>Jedinica</b>	<b>Opis</b>
$d^2$	mm	Aritmetička sredina dijagonala indentacije
D	$\mu\text{m}$	Koordinate desnog vrha baze piramide otisnute u materijalu
F	N	Sila potiskivanja
L	$\mu\text{m}$	Koordinate lijevog vrha baze piramide otisnute u materijalu

**Grčke oznake**

<b>Oznaka</b>	<b>Jedinica</b>	<b>Opis</b>
$\rho$	$\text{g/cm}^3$	Gustoća

**SAŽETAK**

Karakterizacija materijala sačme za lov predstavlja složen multidisciplinarni proces koji obuhvaća detaljno proučavanje svojstava materijala kao što su olovo, čelik i metali s visokom gustoćom. Svaki od ovih materijala ima karakteristična svojstva koje direktno utječu na performanse sačme tijekom lova. Olovo se tradicionalno koristi zbog svoje visoke gustoće, što omogućava sačmi da održi visoku kinetičku energiju i duboku penetraciju, čineći ga idealnim za lov. Međutim, usprkos svojim balističkim prednostima, olovo postaje neprihvatljivo zbog svoje toksičnosti i negativnog utjecaja na prirodu, životinje i ljude. Zbog toga su mnoge zemlje uvele zabrane ili ograničenja u upotrebi olovne sačme, čime se otvara prostor za alternativne materijale poput čelika, bizmuta i volframa.

Zakonske regulative igraju ključnu ulogu u reguliranju upotrebe materijala sačme za lov, sa ciljem očuvanja prirodnih resursa i zaštite životne sredine. Razumijevanje ovih regulativa je od velikog značaja za lovce kako bi se osiguralo poštovanje zakona i unapredilo održivo upravljanje lovnim resursima. Karakterizacija materijala sačme za lov zahtjeva holistički pristup koji uključuje optimiranje između balističkih performansi, ekoloških faktora i zakonskih regulativa. Daljnji razvoj tehnologija i istraživanja novih materijala može doprinijeti unapređenju efikasnosti i održivosti lova, čuvajući istovremeno prirodne ekosustave i divljač, samim time i čovjeka.

Ključne riječi: sačma, olovo, čelik, karakterizacija, gustoća, toksičnost, zakonske regulative

---

**SUMMARY**

Characterizing hunting shot materials is a complex multidisciplinary process that involves a detailed study of the properties of materials such as lead, steel, and high-density metals. Each of these materials has its unique characteristics that directly affect the performance of the shot during hunting. Lead has traditionally been used due to its high density, which allows the shot to maintain high kinetic energy and deep penetration, making it ideal for hunting. However, despite its ballistic advantages, lead has become controversial due to its toxicity and negative impact on nature, animals, and humans. Consequently, many countries have implemented bans or restrictions on the use of lead shot, opening the door for alternative materials such as steel, bismuth, and tungsten.

Legislation plays a key role in regulating the use of shot materials for hunting, with the aim of conserving natural resources and protecting the environment. Understanding these regulations is crucial for hunters to ensure compliance with the law and to promote sustainable management of hunting resources. Characterizing hunting shot materials requires a holistic approach that involves balancing ballistic performance, ecological factors, and legal regulations. Further development of technologies and research into new materials can contribute to improving the efficiency and sustainability of hunting, while simultaneously preserving natural ecosystems and wildlife, and ultimately benefiting humans.

Key words: shot, lead, steel, characterization, density, toxicity, legislation.

## **1. UVOD**

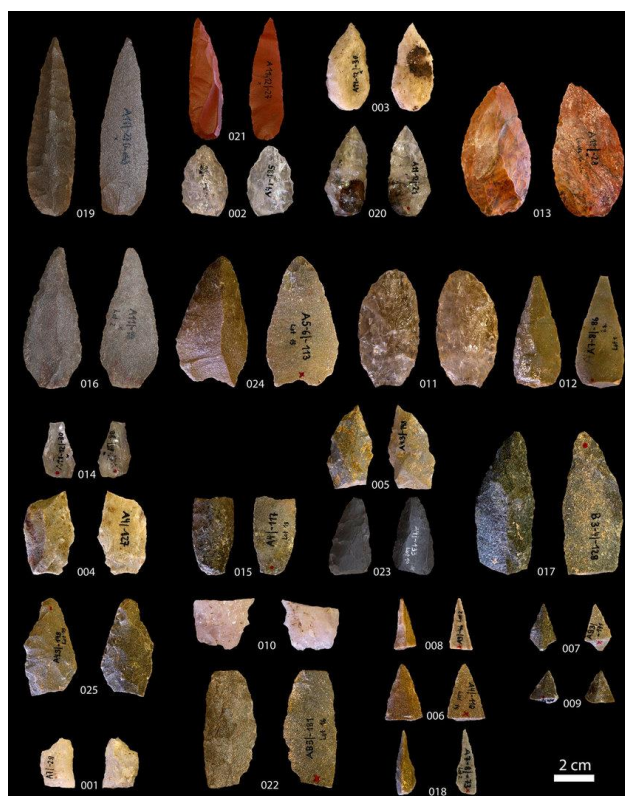
Karakterizacija materijala sačme korištene za lov predstavlja ključan segment u razvoju i optimizaciji municije koja balansira između balističkih performansi, ekološke prihvatljivosti i zakonskih regulativa. U teorijskom dijelu ovoga rada biti će prikazana povijest lova i razvoj suvremenog oružja kojeg slijedi podjela lovačkog oružja i njihov detaljan opis. Ova tema obuhvaća detaljno proučavanje različitih materijala koji se koriste za izradu sačme, kao što su olovo, čelik, bizmut i volfram, svaki sa svojim specifičnim svojstvima i prednostima. Tradicionalno, olovo se koristi zbog svoje visoke gustoće i sposobnosti da zadrži kinetičku energiju, ali njegova toksičnost postavlja ozbiljne ekološke i zdravstvene izazove. Zbog toga su mnoge zemlje usmjerile pažnju prema ekološki prihvatljivijim alternativama, poput čelične, bizmutne i volframove sačme.

U eksperimentalnom dijelu biti će prikazano mjerenje sile potrebne za potiskivanje olovne i čelične sačme kroz cijev lovačke puške. Mjerenje je izvedeno pomoću samostalno osmišljene naprave koja simulira prolazak sačme kroz cijev prilikom pucanja. Također će biti prikazan uvid u karakterizaciju strukture korištenih materijala zajedno sa njihovom izmjerenom tvrdoćom.

Razumijevanje karakteristika ovih materijala, njihovih performansi u lovu i utjecaja na životnu sredinu, kao i poštovanje zakonskih regulativa, od neophodnog je značaja za održivo i odgovorno bavljenje lovom.

## 2. POVIJEST LOVA

Lov je vjerojatno jedna od najranijih aktivnosti ljudi i kao takva, njezina povijest je među najraznovrsnijima jer seže daleko u prošlost. Još od prapovijesnih vremena, lov na divlje životinje, ptice i ribe bio je jedan od dva osnovna načina na koji je primitivni čovjek mogao osigurati hranu, dok je drugi način bilo skupljanje plodova koje je pronašao. Tijekom povijesti, ljudi su razvijali razne alate i tehnike za lov. Lovačke tehnike i oružja evoluirale su tijekom vremena, od korištenja primitivnih alatki u prapovijesti do suvremenih pušaka koje se koriste i danas. U kamenom dobu, lovci su se oslanjali na svoju snagu, spretnost i oružje izrađeno od kamena, drveta ili kostiju. Kao glavno oružje u paleolitu koristili su koplje, napravljeno od drvenog štapa s kamenim vrhom, čime su se morali jako približiti plijenu kako bi ga ulovili, što ih je izlagalo velikoj opasnosti. Međutim, već tijekom srednjeg kamenog doba (mezolitika) dolazi do pojave naprednijeg oružja u vidu luka i strijele, što im je omogućavalo lov iz daljine. Ova promjena značajno je smanjila rizik za lovce i povećala njihovu učinkovitost, čime je lov postao sigurniji i uspješniji. Na slici 1. su prikazana oružja koja su se koristila za lov u kamenom dobu.



Slika 1. Oružje lovaca u kamenom dobu [1]

Otkrićem bakra, bronce i željeza u metalnom dobu, lov na životinje doživljava značajne promjene zahvaljujući razvoju novih tehnologija i oruđa kao se može vidjeti na slici 2. gdje je prikazano oružje koje je korišteno u metalnom dobu. Metalurgija, kao ključna inovacija tog vremena, omogućuje proizvodnju čvršćih, oštrijih i izdržljivijih oružja koja poboljšavaju učinkovitost lova. Paralelno s razvojem oružja, lovci postaju sve vješitiji u korištenju raznih strategija za lov koristeći zamke, mreže i pomoć pripitomljenih životinja poput pasa i konja, koji pomažu u praćenju i lovu na plijen. Ove tehnike ne samo da povećavaju uspjeh u lovu, već i omogućuju lovcima da love veće i opasnije životinje. Ove inovacije ne samo da poboljšavaju prehranu i sigurnost zajednica, već također imaju dubok utjecaj na društvene strukture. Lov postaje simbol prestiža i statusa, a lovačke vještine postaju sastavni dio kulturnih i religijskih praksi tog vremena. Lovci postaju cijenjeni članovi društva, a njihove vještine u lovu postaju predmet divljenja i poštovanja.



**Slika 2. Oružje metalnoga doba[2]**

U srednjem vijeku, luk i strijela postaju primarno oružje u lovu. Međutim, popularnost dobiva i novo oružje - samostrel, koje pruža veću snagu i brzinu gađanja u usporedbi s klasičnim lukom i strijelom. Samostrel se smatra pretečom moderne puške. Osim oružja, lovački psi su imali ključnu ulogu u tijekom lova. Njihova sposobnost praćenja, tjeranja i hvatanja divljači činila ih je neprocjenjivim pomagačima lovaca. Plemići su često imali posebno uzgojene pse za lov, a njihova prisutnost u lovu bila je simbol snage i moći. Međutim, lov u srednjem vijeku postaje više od samo načina nabave hrane. Postaje i društveni događaj, gdje plemići organiziraju lovačke izlete i turnire kako bi pokazali svoju vještinu i hrabrost te kako bi se družili



međusobno. Nakon srednjeg vijeka, lov zadržava svoju važnost, ali oživljava promjenu u svojoj društvenoj i gospodarskoj funkciji. S propašću feudalnog sustava, lov više nije privilegija samo plemstva i vlastele, već postaje dostupan široj populaciji. Urbanizacija i razvoj trgovine mijenjaju način života i praksu lova. Umjesto društvenih događaja s natjecanjima i izletima, lov postaje više individualna aktivnost, osobito među seljačkim slojem koje lovi za vlastite potrebe ili prodaju na tržnicama, zamjenjujući tradicionalne lukove, strijele i samostrele. Tehnološki razvoj doprinosi većoj efikasnosti i preciznosti u lovu. Daljnjim napretkom čovječanstva kojeg prati tehnološki razvoj, došlo je do razvoja prvog vatrenog oružja koje zamjenjuje tradicionalne lukove, strijele i samostrele čime puške postaju dominantno oružje u lovu na divljač. Na slici 3. je prikazana puška koja se koristi u modernom lovu.

Istovremeno, raste svjesnost o potrebi zaštite prirode i divljih vrsta, što rezultira regulacijom lova i uvođenjem zakona o zaštiti divljih životinja. Lov postaje kontroliraniji proces, s propisima koji ograničavaju lovne sezone, vrste divljači koja se smije loviti i na koji način. U današnje vrijeme lov je sve više pod povećalom javnosti zbog pitanja etike, održivosti i zaštite prirode [3, 4, 5].



**Slika 3. Moderna lovačka puška [6]**

### 3. RAZVOJ SUVREMENOG ORUŽJA

Evolucija lovačkog oružja kroz povijest bila je dugotrajan i postepen proces koji se odvijao tisućljećima. Primitivno vatreno oružje pojavilo se u Europi 1264. godine, označavajući početak nove ere u razvoju oružja. To oružje, koje se palilo bakljom, bilo je izuzetno nezgrapno i nepouzđano. Trebalo je stoljećima da se lovačko oružje usavrši do točke kada je postalo učinkovito za lov. Prvi modeli vatrenog oružja sastojali su se od brončane cijevi napunjene crnim barutom, a paljenje se vršilo ručno bakljom kroz rupu na dnu cijevi. Tako zapaljeni barut prilikom izgaranja u cijevi je razvijao visoki tlak koji je velikom brzinom ispaljivao zrno ili sačmu u smjeru ciljanja. Prve puške imale su osnovni drveni kundak koji je omogućavao oslanjanje na rame radi lakšeg ciljanja. Veliki iskorak postignut je izumom neovisnog sustava paljenja koji je bacao iskru preko kremenja i time omogućio automatsko paljenje baruta (kremenjače). Nešto kasnije dolazi do unaprjeđenja ovog sustava, međutim, princip ostaje isti, a to je da se iskra sada dobiva udarcem čekića o metalnu pločicu. Ovakav mehanizam uvelike je povećao efikasnost i pouzđanost, ali najveći problem su mu bili vlažni i mokri uvjeti za vrijeme kiše koja je ometala stvaranje iskre nužne za paljenje baruta, što je često dovodilo do otkazivanja pucnja. Na slici 4. prikazan je mehanizam paljenja kod puške kremenjače.



Slika 4. Mehanizam puške kremenjače [7]

Vrlo značajno otkriće postigli su francuski znanstvenici 1774. godine kada su pronašli način kako upotrijebiti živin fulminat kao zapaljivo sredstvo za paljenje baruta unutar cijevi puške.

Ovo otkriće predstavljalo je revolucionarni korak u razvoju vatrenog oružja. Živin fulminat, kemijski spoj izuzetno osjetljiv na udarce i trenje, omogućio je pouzdanije i brže paljenje baruta, čime je znatno povećana učinkovitost i pouzdanost vatrenog oružja. Ovo inovativno rješenje eliminiralo je mnoge probleme s kojima su se lovci i vojnici suočavali pri korištenju ranijih sustava paljenja, poput onih koji su se oslanjali na iskrnu proizvedenu udarcem kremenom o metal. Sustavi s živinim fulminatom mogli su raditi u različitim vremenskim uvjetima, uključujući visoku vlažnost i kišu, što je značilo da je vatreno oružje postalo znatno pouzdanije i korisnije na terenu. Kao rezultat toga, vatrena oružja se počinju koristiti ne samo za lov, već i za ratovanje, značajno mijenjajući taktike i strategije vođenja bitki.

Ovo otkriće također je potaknulo daljnja istraživanja i inovacije u razvoju vatrenog oružja. Ubrzo nakon toga, razvijeni su integralni meci koji su sadržavali sve potrebne komponente unutar jednog metka – kapislu, čahuru, barut, zrna i čep. Ovi integralni meci omogućili su brže punjenje i veću pouzdanost te su revolucionirali način na koji se vatreno oružje koristilo. Prije svega, omogućili su brže i jednostavnije punjenje oružja, eliminirajući potrebu za odvojenim rukovanjem različitim komponentama streljiva. To je značilo da su vojnici i lovci mogli brže pripremiti oružje za pucanje, što je bilo ključno u situacijama koje su zahtijevale brzu reakciju. Razvoj integralnih metaka dovodi i do poboljšanja u dizajnu i konstrukciji vatrenog oružja. Novi dizajni pušaka bili su lakši za rukovanje i održavanje te su se punile sa stražnje strane kroz zatvarač. Takve puške bile su poznate pod nazivom ostraguše, prikazane na slici 5 [3, 5].



**Slika 5. Puška ostraguša [8]**

## 4. PODJELA LOVAČKOG ORUŽJA

Lovačko oružje možemo podijeliti na temelju nekoliko ključnih kriterija koji uključuju namjenu oružja, oblik i karakteristike cijevi, položaj cijevi u odnosu jedne na drugu, vrstu streljiva koje koriste i još mnogo drugih specifičnih značajki. Međutim, glavna podjela lovačkog oružja je prema načinu upotrebe, te sukladno tome razlikujemo [9]:

- Oružje s glatkim cijevima (sačmarice) – namijenjene za lov sitne divljači
- Oružje s užlijebljenim cijevima (risanice, kuglare ili karabini) – namijenjene za lov krupne divljači
- Kombinirano oružje, oružje s glatkim i užlijebljenim cijevima – namijenjene za lov sitne i krupne divljači

### 4.1. Puške s glatkim cijevima – sačmarice

Lovačke puške s glatkim cijevima koje se koriste za lov sitne divljači, poznate su kao sačmarice, predstavljaju neizostavni alat svakog lovca. Ove puške su specijalno dizajnirane kako bi ispaljivale sačmu – više manjih kuglica koje se raspršuju prilikom ispaljenja, omogućujući lovcu da efikasno pokrije široko područje i poveća šanse za uspješan pogodak brze i pokretne mete. Upravo zato, sačmarice su idealne za lov sitne divljač poput ptica, zečeva, lisica i drugih manjih životinja koje zahtijevaju brzu reakciju i preciznost. Na slici 6. prikazana je puška sačmarica.



Slika 6. Lovačka puška sačmarica [10]

Sačmarice možemo podijeliti u nekoliko osnovnih skupina. Prema broju cijevi razlikujemo: jednocijevke – sačmarice s jednom cijevi, dvocijevke, trocijevke. U tehničkom smislu najjednostavnija je jednocijevka, dok se kod ostalih pušaka cijevi moraju međusobno spajati što nije jednostavan posao iz nekoliko razloga:

- Cijevi međusobno moraju biti čvrsto spojene jer se u njima razvijaju visoki tlakovi
- Cijevi moraju biti tako spojene da im se na udaljenosti od 35 m osi presijecaju kako bi pogađale u isto mjesto
- Spojene cijevi bi trebale estetski lijepo izgledati

Druga podjela se odnosi na položaj cijevi tj. način spajanja. Postoje položare, kod kojih su cijevi postavljene horizontalno jedna pored druge, te bokerice, kod kojih su cijevi postavljene vertikalno, jedna iznad druge. Spajanje ovakvih cijevi mora biti prije svega čvrsto. Zagrijane cijevi tijekom brzog pucanja ne smiju pokazivati promjene u pogodcima. Spajanje dvocijevnih pušaka izvodi se umetanjem dviju čeličnih letvica (gornje i donje) između cijevi, koje se zatim leme. Kod bokerica se postavljaju i leme dvije bočne letvice te gornja letvica za ciljanje. Donji krajevi cijevi, gdje su naprezanja najveća, spajaju se tvrdim lemljenjem sa srebrom ili mjedi. Pri lemljenju srebrom temperatura iznosi  $620\text{ }^{\circ}\text{C}$  –  $650\text{ }^{\circ}\text{C}$ , dok je kod lemljenja s mjedi temperatura  $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Ovaj proces treba pažljivo izvoditi kako ne bi došlo do toplinskog oštećenja cijevi. Ostatak cijevi prema vrhu lemi se kositrom na temperaturi od  $250\text{ }^{\circ}\text{C}$  (meko lemljenje) [5].



**Slika 7. Položara – horizontalno postavljene cijevi [11]**

Prednost između položara i bokerica teško je jednoznačno odrediti i često ovisi o osobnim preferencama lovca iako bokerice zbog svojih vertikalno postavljenih cijevi pružaju bolje vidno polje lovcu, kao i bolji način bravljenja, što može biti korisno prilikom brzog praćenja i gađanja pokretne divljači. Na slikama 7. i 8. mogu se vidjeti položare i bokrice.



**Slika 8. Bokerica – vertikalno postavljene cijevi [12]**

Iduća podjela lovačkih puški je prema načinu bravljenja:

- Repetirke – puške u koje se metak unosi u ležište repetiranjem zatvarača (Slika 9.)
- Prelamače – ove puške se pune i prazne prelamanjem cijevi u glavi puške. Nakon ispaljivanja metka, lovac povlači ručicu prema sebi (prema dolje ili prema gore, ovisno o modelu) kako bi otvorio cijev, izbacio praznu čahuru i stavio novi metak (Slika 9.)

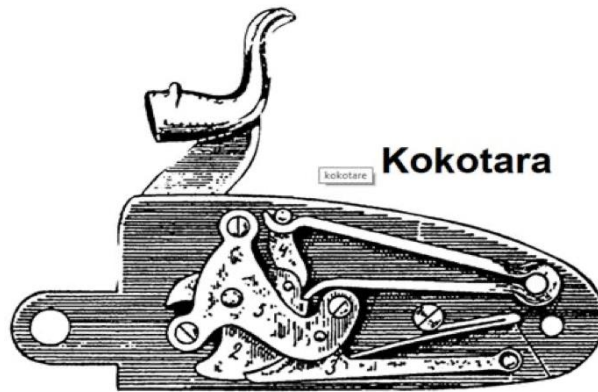


**Slika 9. Sačmarica repetirka (lijevo) i prelamača (desno) [13]**

Slijedeća je podjela puške na kokotare i čekićare koje predstavljaju dvije tradicionalne vrste lovačkih pušaka koje se razlikuju po načinu na koji se mehanizam opaljivanja aktivira.

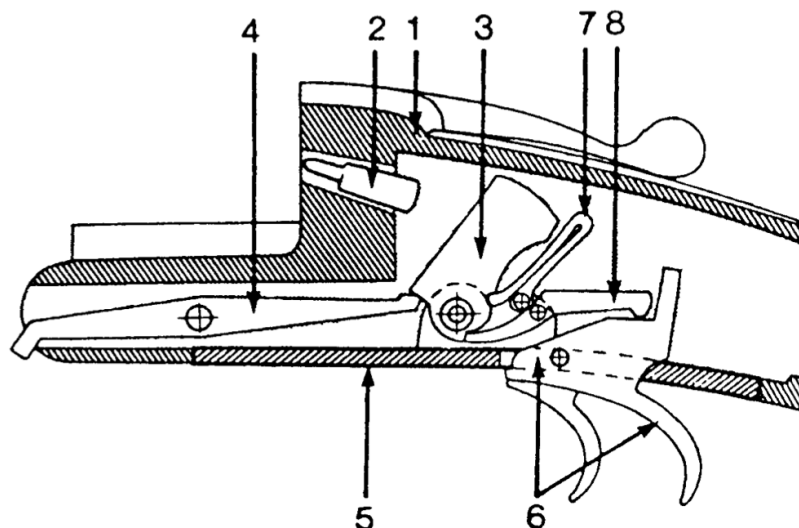
Puške kokotare karakteriziraju vanjski udarni čekići, poznatiji kao kokoti. Ove puške imaju udarni mehanizam koji se nalazi s vanjske strane puške. Prije svakog pucnja lovac mora ručno

povući kokot unazad kako bi ga napeo. Kad se okidač povuče, kokot se oslobađa i udara u udarnu iglu, koja potom aktivira kapislu metka. Na slici 10. prikazan je mehanizam kokotare.



Slika 10. Mehanizam kokotare [14]

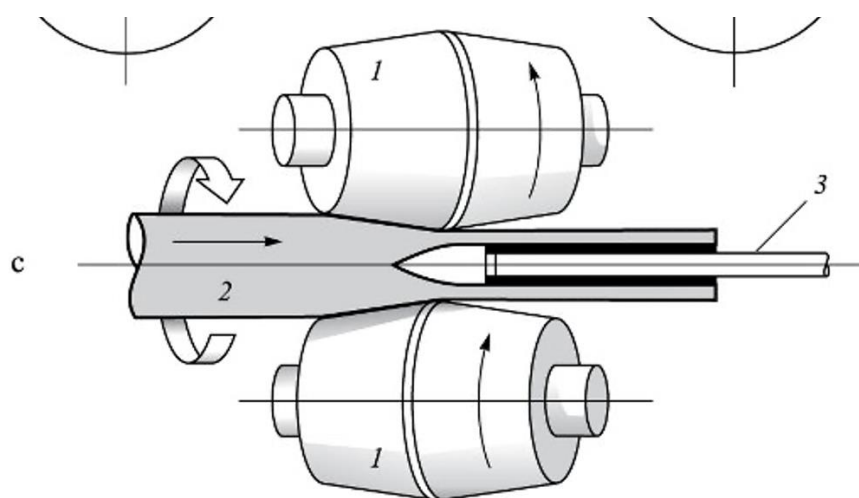
S druge strane, puške čekićare imaju unutrašnji udarni mehanizam koji se nalazi u glavi oružja bez vidljivih vanjskih dijelova. Ove puške koriste unutrašnje opruge, dok se udarna igla automatski napinje prilikom prelamanja oružja. Kada se povuče okidač, unutarnji čekić se oslobađa i udara u udarnu iglu koja aktivira kapislu metka. Na Slika 11. detaljno je prikazan mehanizam čekićare s njezinim pripadajućim dijelovima [3, 5, 15].



Slika 11. Mehanizam čekićare i njezini dijelovi – 1. glava puške, 2. udarna igra, 3. čekić, 4. napinjač, 5. donja šina, 6. obarač, 7. opruga, 8. zapinjač [15]

#### 4.1.1. *Proizvodnja cijevi sačmarica*

Za proizvodnju glatkih cijevi sačmarice koriste se dva postupka. Jedan postupak je vruće valjanje (prešanje), a drugi hladno kovanje. U postupku vrućeg valjanja koristi se cilindrični komad čelika promjera 34 mm i duljine 280 mm koji se postavlja u stroj s valjcima. Prvo se materijal buši svrdlom promjera 20,5 mm, a zatim se kroz provrt stavlja trn željenog kalibra. Materijal se elektro induktivno zagrijava na temperaturu kovanja od 850 °C do 1000 °C. Valjci rotiraju oko čelika s trnom u sredini i prešaju čelik, formirajući cijev duljine oko 800 mm. Cijeli proces traje oko 90 sekundi. Nakon toga, cijev prolazi daljnju obradu, uključujući izradu ležišta metka s prijelaznim konusom i čokovima. Na slici 12. prikazan je postupak vrućeg valjanja.



Slika 12. Postupak vrućeg valjanja – 1. Valjak, 2. Uložak, 3. Trn [16]

Hladno kovanje glatkih cijevi izvodi se slično kao i hladno kovanje žlijebljenih cijevi. Valjkasti komad čelika promjera 34 mm i duljine 380 mm buši se svrdlom promjera 21 mm, a zatim se u provrt postavlja trn željenog kalibra. U ovom postupku koriste se kraći komadi čelika jer su stijenke glatkih cijevi tanje i potrebna je manja sila za njihovo kovanje. Materijal se polagano kreće vodoravno između pneumatskih čekića koji ga sabijaju i izdužuju na duljinu oko 800 mm. Cijeli proces traje oko 190 sekundi [5, 16].

#### 4.1.2. *Dijelovi pušaka sačmarica*

Dva najvažnija dijela sačmarice su cijev i glava s kompletnim mehanizmom za napinjanje, kočenje i opaljenje puške te je jednim dijelom vezana za kundak, a drugim za cijev. Materijal od kojeg se izrađuju cijevi je čelik legiran s kromom, niklom, volframom ili vanadijem u



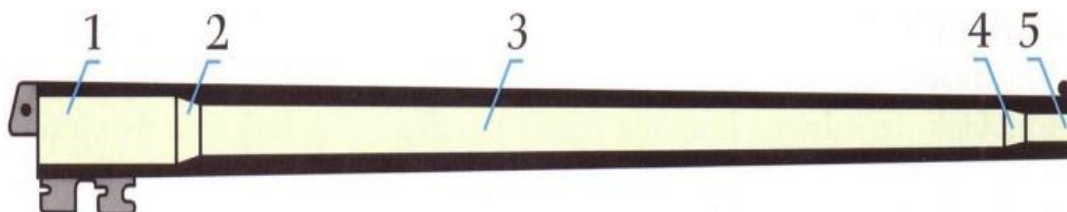
različitim udjelima, ovisno o specifikacijama proizvođača. Čvrstoća takvih cijevi kreće se od 11 N/mm<sup>2</sup> do 650 N/mm<sup>2</sup>. Standardna dužina cijevi je između 66 i 80 cm, iako mogu biti kraće ili duže, ovisno o namjeni puške. Na slici 13. vidljiv je prikaz osnovnih dijelova sačmarice.



Slika 13. Prikaz osnovnih dijelova sačmarice [17]

Cijev je dio oružja iz koje se ispaljuje naboj i koja daje smjer kretanja projektilu. Kako je cijev izložena velikim pritiscima nastalim izgaranjem baruta mora imati velik stupanj sigurnosti. Izuzetno je važan unutarnji oblik cijevi koji se sastoji od:

- 1) Ležišta metka (komora)
- 2) Prelaznog konusa ležišta
- 3) Vodišta sačme
- 4) Stožasti prijelaz čoka
- 5) Čok



Slika 14. Presjek klasične glatke cijevi – 1. ležište (komora), 2. stožasti prijelaz, 3. vodište sačme, 4. stožasti prijelaz čoka, 5. čok [15]

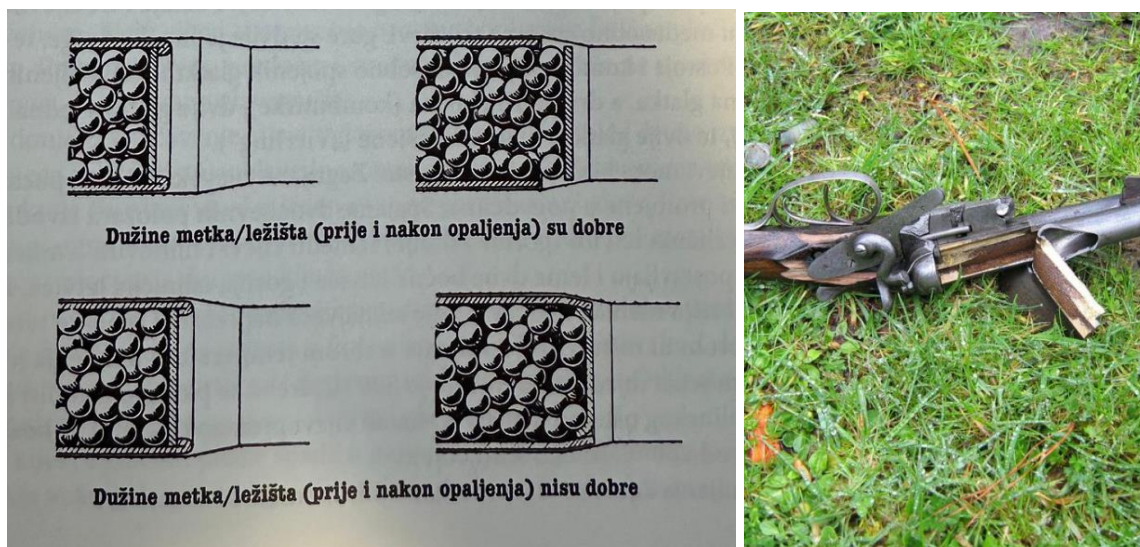
Na slici 14. prikazan je presjek glatke cijevi s njezinim unutarnjim dijelovima.

**Ležište** (komora) se nalazi na zadnjem dijelu cijevi i to je prostor u koji se umeće metak, a mora imati točno propisane dimenzije od međunarodne organizacije koja postavlja standarde za ispitivanje sigurnosti vatrenog oružja (C.I.P). Obično postoje 3 tipa ležišta:

- dužine 65 mm za kratke patrone
- dužine 70 mm za normalne patrone
- dužine 76 mm za patrone pojačanog punjenja (magnum)

Obzirom da u ležištu dolazi do paljenja metka i razvijanja visokih tlakova ležište je znatno ojačano u odnosu na ostatak cijevi. Po izvedbi, ležište metka sastoji se od tri dijela: prvi dio je tokareni utor za rub dna čahure, drugi je valjkasti dio, a treći je prijelazni stožac, odnosno konus. Ležište je blago stožasto (u omjeru 1:200) kako bi se omogućilo lako vađenje čahure nakon paljenja. Stožasti prijelaz spaja ležište s vodilicom projektila. Praksa je pokazala da je kut od  $7,5^\circ$  za prijelazni konus idealan jer omogućuje lakše umetanje metka i izbacivanje čahure. Ovaj dizajn omogućuje glatko ubacivanje sačmenog punjenja iz čahure metka u cilindrični dio cijevi, osiguravajući optimalnu funkcionalnost tijekom pucanja. Također, precizno izrađeni konusni prijelaz pomaže u smanjenju trenja i trošenja unutar cijevi, produžujući vijek trajanja oružja i povećavajući njegovu pouzdanost.

Važno je još napomenuti da se nikako ne smije koristiti metak čija je čahura duža od ležišta. Ako se takav metak opali, vrh tijela čahure bi ušao u već suženi dio cijevi preko konusnog prijelaza izvan ležišta. To uzrokuje naprezanje materijala cijevi puške, što u većini slučajeva završava deformacijom ili rasprskavanjem cijevi, kao na slici 15 [3, 5, 15].



**Slika 15. Usporedni prikaz kada su duljine metka/ložišta odgovarajuće i kada nisu (lijevo)[5], posljedica korištenja metka čija je čahura duža od ležišta (desno)[18]**

**Čokovi** na cijevima sačmarica služe za regulaciju širine i gustoće posipa sačmenih kuglica na određenoj udaljenosti. Ova funkcija čokova može se jednostavno objasniti primjerom lova na sitnu divljač poput zečeva ili fazana. U lovu se često koristi puška s cilindričnom cijevi koja na određenoj udaljenosti pruža širinu i gustoću posipa dovoljnu za siguran odstrel te divljači. Međutim, ako dođe do promašaja, a divljač se u međuvremenu udalji zbog lovčeve reakcije i vremena potrebnog za opaljenje drugog hitca, posip sačme na većoj udaljenosti postaje širi i kuglice se razrjeđuju. To povećava mogućnost da i drugi hitac bude neuspješan, ne zbog lošeg ciljanja, već zbog „rupa“ u sačmenom snopu. Ako se drugi hitac ispaljuje iz cijevi s čokom, sačmeni snop će zadržati jednake ili bolje karakteristike na većoj udaljenosti, smanjujući mogućnost promašaja. Iz ovog primjera možemo zaključiti kako se smanjenjem promjera vrha cijevi, tj. upotrebom čoka, može regulirati širina i gustoća sačmenog snopa, čime se povećava efikasnost pucanja na većim udaljenostima. Na slici 16. prikazana je cijev na čijem kraju se nalazi čok.

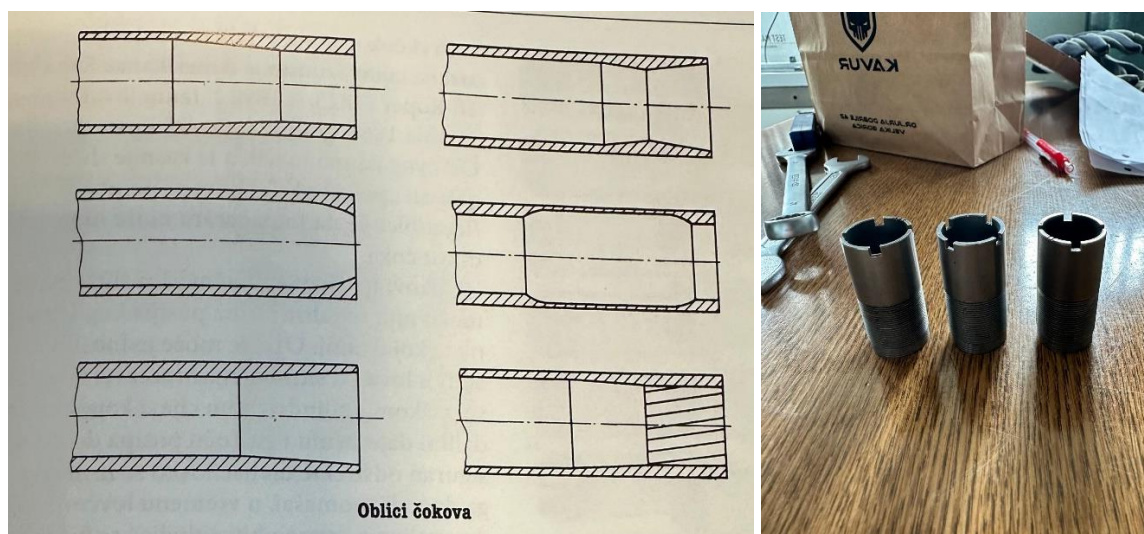


**Slika 16. Prikaz kraja cijevi gdje se nalazi čok [19]**

Kod dvocijevnih sačmarica, cijev koja prva puca (prednji okidač ili prvo „koljeno“ kod jednog okidača) obično je cilindrična ili manje čokirana, dok je cijev koja druga puca više čokirana. Ovaj raspored omogućava lovcu da prilagodi posip sačme ovisno o udaljenosti mete. Prva cijev je namijenjena za bliže mete, gdje je širi posip sačme prednost, dok je druga cijev s čokom optimizirana za dalje mete, gdje je už i gušći posip sačme učinkovitiji.

Postoje tri vrste čokova:

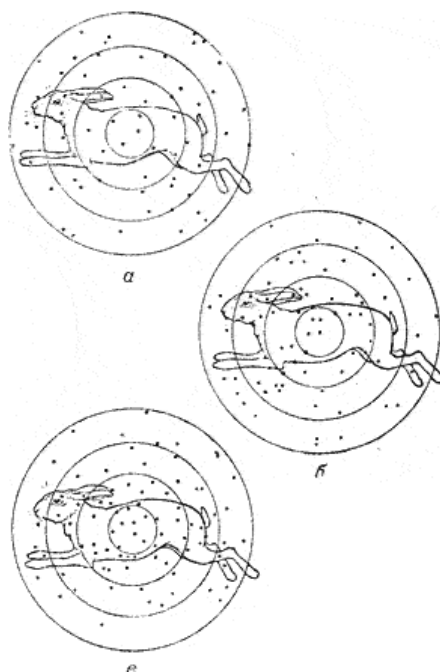
- fiksni ili stalni, tj. čokovi koji su tvornički izrađeni unutar cijevi (slika 17. - lijevo)
- promjenjivi – male cjevčice s finim navojem koje se pomoću specijalnog ključa uviju u vrh cilindrične cijevi (Slika 17. - desno)
- polychoke, nastavak koji se navija na vanjsku površinu vrha cijevi, a radi na principu blende



**Slika 17. Oblici fiksnih čokova koji se nalaze unutar cijevi (lijevo)[5], primjeri promjenjivih čokova (desno)[5]**

Moderne sačmarice često dolaze s izmjenjivim čokovima, što omogućava lovcima da prilagode svoje oružje različitim lovnim situacijama i vrstama divljači. Ovi izmjenjivi čokovi mogu se lako zamijeniti, pružajući fleksibilnost i prilagodljivost u lovu. Tako lovci mogu koristiti optimalan čok za svaku specifičnu situaciju, bilo da se radi o lovu na brzu sitnu divljač na kratkim udaljenostima ili na veću divljač na većim udaljenostima. Čokovi se nalaze (fiksni ili promjenjivi) na dužini od 5 do 6 cm od vrha cijevi. Vođenje sačme blagim konusom (dužine do 2 cm) prelazi prema čoku, tako da je ukupna dužina čoka 7 do 8 cm. Ne postoje propisi koji bi regulirali izgled čokova, pa je njihov dizajn prepušten proizvođačima oružja. Međutim, svi se proizvođači trude izrađivati čokove koji daju najbolje rezultate u smislu širine i gustoće sačmenog snopa. Naravno, karakteristike sačmenog snopa ne ovise samo o čokovima, već i o kvaliteti streljiva. Zbog visokih tlakova unutar cijevi, unutarnji promjer čokova ima svoja ograničenja. Najveće suženje koje se smije dozvoliti u odnosu na promjer vođenja cijevi je 1,25 mm i naziva se „super“ čok. Uobičajene vrijednosti za čokove su sljedeće: suženje cijevi za 0,15 mm označava se kao 1/8 čoka ili poboljšani cilindar, suženje od 0,25 mm kao 1/4 čoka, suženje od 0,5 mm kao 1/2 čoka, suženje od 0,75 mm kao 3/4 čoka, a suženje od 1,0 mm kao puni čok. Puni čok daje najgušći posip sačme, što ga čini idealnim za lov ptica močvarica i za pucanje na glinene golubove, s najefikasnijim dometom na oko 35 metara. Čok od 3/4 pruža vrlo dobar posip sačme na udaljenostima od oko 30 metara. Ovaj tip čoka često se koristi kod

dvocijevnih sačmarica: kod bokERICA u gornjoj cijevi, a kod položara u lijevoj cijevi, koja puca druga. Čok od 1/2 je optimalan za pucanje na udaljenostima od oko 25 metara. Osim što se koristi u klasičnim dvocijevnim sačmaricama, ovaj čok je također preporučljiv za poluautomatske sačmarice. Čok od 1/4 se preporučuje za pucanje na udaljenostima od oko 20 metara. Ovaj tip čoka se često kombinira s drugom cijevi koja ima čok od 1/2 ili 3/4. Cilindrična cijev, odnosno cijev bez čoka, koristi se za lov na udaljenostima od 15 do 20 metara. Učinkovitost ovakvih čokova utvrđena je prilikom pucanja u okomitu papirnatu metu na udaljenosti od 35 metara, na kojoj je nacrtana kružnica promjera 75 cm, te su se računali postotci pogodaka sačme unutar tog kruga u odnosu na njihov ukupan broj u metku/patroni. Na slici 18. može se vidjeti ispitivanje učinkovitosti čoka.



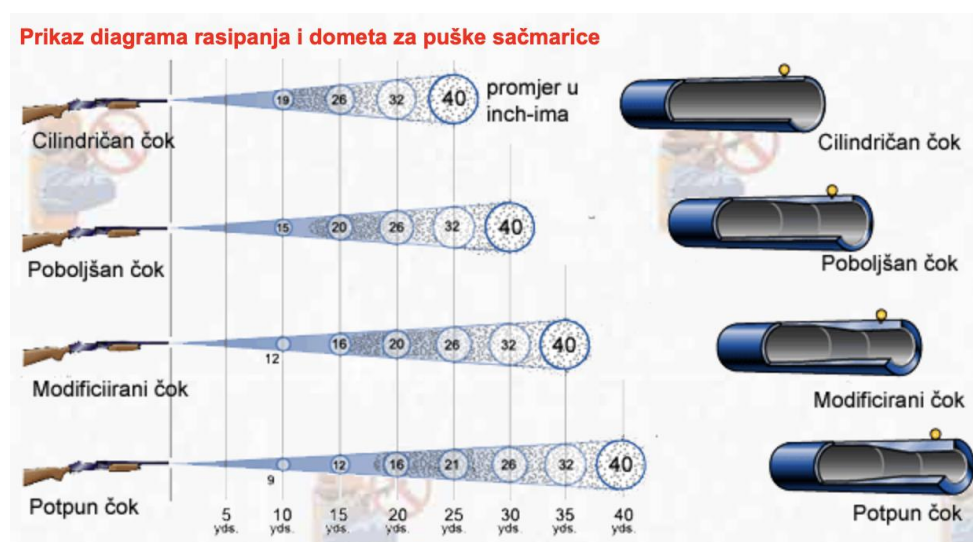
**Slika 18. Prikaz ispitivanja učinkovitosti čoka [20]**

Iz Tablica 1. jasno se može vidjeti i zaključiti kako porastom suženja čoka raste i postotak gustoće posipa. Ovi postotci pružaju uvid u efikasnost različitih čokova u kontroliranju širine i gustoće sačmenog posipa, što direktno utječe na uspješnost lova ili natjecanja.

Unatoč tome, pravilno dizajnirani čokovi mogu značajno poboljšati performanse puške, prilagođavajući posip sačme za različite lovne situacije. Razumijevanje i pravilna upotreba čokova ključna je za uspješan lov, omogućujući lovcima da povećaju učinkovitost i preciznost svojih hitaca u različitim lovnim uvjetima ne utječući na brzinu i domet [3, 5, 9].

Tablica 1. Rezultati ispitivanja mjerenja gustoće posipa s obzirom na vrstu čoka [5]

<u>Čok</u>	<u>Suženje (mm)</u>	<u>Gustoća posipa</u>
Cilindrična cijev	bez čoka	40%
1/8	0,25	50%
1/4	0,51	60%
1/2	0,635	65%
3/4	0,76	70%
1/1 – puni čok	1,015	75%



Slika 19. Prikaz dijagrama rasipanja i dometa puškara sačmarica s obzirom na vrstu čoka [17]

**Kundak** je ključni dio puške koji povezuje različite dijelove i omogućuje oslanjanje puške na rame lovca ili strijelca. Kundak može biti iz jednog ili iz dva dijela (kundak i potkundak) te se može protezati duž cijele cijevi puške ili samo do određene dužine cijevi. Potkundak se nalazi ispod cijevi oružja i služi ruci kao oslonac, sprječava klizanje ruke i štiti od zagrijavanja cijevi. Dijelovi kundaka su: nasadište, držak ili vrat, jabučica, nos, obraščić, obraz (lijevi i desni), leđa, peta, gornji rub pete i donji rub pete, kako je vidljivo na slici 20.



Slika 20. Prikaz dijelova kundaka[15]

Najčešći materijal za izradu kundaka je panj drva oraha jer ima najkvalitetniju strukturu i atraktivne šare. Kundaci izrađeni od takvog drveta su skuplji zbog visoke kvalitete materijala. S razvojem tehnologije, proizvođači su počeli koristiti laminirano drvo (slojevito slijepljeno drvo) i plastiku. Plastični kundaci su vrlo popularni zbog otpornosti na vlagu i udarce, te su dostupni u raznim bojama prema zahtjevima tržišta. Oni su otporniji na vremenske nepogode i idealni za tzv. radne puške koje se najviše koriste za lov. Izrada plastičnih kundaka je jeftinija od drvenih, što ih čini pristupačnijim.

Mjere kundaka su ključne za lovca jer, kako stara poslovice kaže, “puška gađa, kundak pogađa”. Dimenzije kundaka moraju biti usklađene s korisnikovom tjelesnom građom, uključujući visinu vrata, širinu ramena, visinu oka i dužinu podlaktice do savijenog kažiprsta.

Kundak mora biti zakrivljen prema dolje u vratu kako bi visina oka bila u liniji s gornjom ivicom nišana ili osi optičkog nišana. Zakrivljenost kundaka razlikuje se kod pušaka za mehaničke nišane u odnosu na one s optičkim nišanima. Kod kombiniranih pušaka koje imaju i cijev za kuglu i sačmu, standardna visina kundaka omogućuje gađanje s oba tipa nišana.

Osim zakrivljenosti prema dolje, kundak mora biti zakrivljen i nekoliko stupnjeva udesno za lovce koji gađaju desnim okom, odnosno ulijevo za one koji gađaju lijevim okom. Ovo omogućava udobniji položaj glave i oka pri gađanju, što je posebno važno kod sačmarica, jer se s njima brže gađa i šina služi kao zadnji nišan.

Postoje dva osnovna tipa kundaka:

1. **Engleski kundak:** Ima blago zakrivljen, gotovo ravan vrat (Slika 21. - lijevo)
2. **Njemački kundak:** Ima pištoljski rukohvat s većim ili manjim zakrivljenjem, često s obrazinom na koju se lovac oslanja prilikom pucanja. (Slika 21. - desno)

Oba tipa kundaka dizajnirana su da osiguraju udobnost i preciznost prilikom pucanja, ali se razlikuju u obliku i namjeni [3, 5, 15, 21].



**Slika 21. Usporedni prikaz egleskog (slika lijevo) i njemačkog (slika desno) kundaka [21]**

**Ciljnici** su dijelovi puške koji omogućavaju preciznije pogađanje. Postavljeni su na gornji dio cijevi puške i moraju biti strogo poravnati sa osi cijevi kako bi se osigurala preciznost. Postoje različite vrste nišana, od najprimitivnijih poput šine i mušice na sačmaricama do najnaprednijih varijabilnih optičkih nišana namijenjenih za gađanje na velike udaljenosti.

Na sačmaricama, ciljnik je najjednostavniji i kao takav sastoji se od šine postavljene na gornju vanjsku površinu cijevi. Kod bok pušaka jednocijevki, šina je smještena duž cijevi (Slika 8.), dok je kod dvocijevki s paralelnim cijevima šina smještena između cijevi, sa mušicom na kraju blizu usta cijevi (Slika 7.). Ova jednostavna linija ciljanja je pogodna jer se gađa sačmom čiji je snop znatno širi od pojedinačnog zrna iz kuglara.

Mehanizam za opaljenje je skup uređaja smještenih u glavi puške, koji služe za napinjanje, opaljenje i kočenje. Kompletnost mehanizma za opaljenje postiže se kada sadrži sljedeće komponente: udarnu oprugu, udarač, okidač ili obarač, elemente za kočenje, polužice za odapinjanje udarača, te udarnu iglu s povratnom oprugom kod prelamača.

**Okidači** su male poluge koje služe za aktiviranje mehanizma opaljivanja puške, omogućavajući zapinjaču da podigne udarac i opali metak. Jednocjevne puške obično imaju jedan okidač, dok dvocijevne puške mogu imati jedan ili dva okidača. Tradicionalne dvocijevke imaju dva neposredna okidača, omogućavajući brzo pucanje, dok moderni modeli koriste jedan okidač za obje cijevi, s mogućnošću ručnog ili automatskog podešavanja redosljeda opaljivanja. Prednji



okidač obično ispaljuje manje čokiranu cijev, dok stražnji okidač ispaljuje više čokiranu cijev. Kod položara, manje čokirana cijev je desna, dok je kod bokerica donja.

Postoje i inercijski prebacivači opaljivanja koji koriste trzaj nastao opaljivanjem prvog metka da bi prebacili mehanizam sa desne zapinjače na lijevu. Nakon pucanja i izbacivanja čahura, važno je spustiti udarače kako bi se smanjilo opterećenje opruga. Kod pušaka s mehaničkim prebacivanjem moguće je otpustiti oba udarača na prazno, dok kod pušaka s inercijskim prebacivanjem na prazno okida samo desni udarač. Kako bi podizač zahvatio lijevu zapinjaču potrebno je rukom snažno udariti po dnu kundaka, čime se simulira trzaj puške te tako podizač dolazi pod lijevu zapinjaču i pritiskom na okidač otpušta se lijevi udarač. Okidanje na prazno nije preporučljivo zbog mogućeg oštećenja mehanizma, stoga se savjetuje korištenje slijepih čahura (pufer čahura) pri čemu igle udaraju po elastičnim kapislama.

Sila potrebna za aktiviranje okidača, tzv. sila okidanja, obično je manja za prvi okidač oko 15 N i veća za drugi oko 20 N. Manje sile okidanja nisu preporučljive jer mogu dovesti do neželjenog opaljenja puške, što može biti opasno. Na slici 22. prikazan je mehanizam za opaljenje [5].



Slika 22. Prikaz mehanizma za opaljenje [22]

**Izvlakači/izbacivači ili ejektor** čahura kod sačmarica i kombiniranih pušaka su mehaničke naprave, dijelom smještene u glavi, a dijelom u potkundaku puške. Njihova funkcija je izvlačenje ili izbacivanje opaljenih čahura ili neopaljenih metaka iz cijevi. Prema načinu rada, dijele se na obične i automatske. Oba tipa se aktiviraju prelamanjem puške. Obični izvlakači, koji su najčešće jednodijelni, pomiču se naprijed-nazad, hvatajući čahure ili metke. Nakon

pucanja i prelamanja puške, izvlakači povuku čaure ili metke prema van za 7-8 mm, omogućujući da se ručno izvade. Automatski izvlakači, poznati kao izbacivači ili ejektori, mehanički su složeniji od običnih izvlakača. Nakon prelamanja puške, izbacivači automatski izbacuju opaljene čahure 2-4 metra unazad kako je prikazano na slici 23. Aktiviraju se prelamanjem puške i razdvojeni su, što znači da svaka cijev ima svoj izbacivač. Ispod izbacivača nalaze se male naprave koje, pod djelovanjem opruga, izbacuju opaljene čaure. U slučaju opaljenja iz obje cijevi, prelamanjem/otvaranjem puške izbacuju se obje čahure. Ako je opaljen samo jedan metak, aktivira se samo izbacivač te cijevi, izbacujući praznu čahuru, dok izbacivač druge cijevi ostaje napet, samo malo izvlačeći neopaljeni metak kako bi se mogao ručno izvaditi. Sustavi izvlakača/izbacivača čahura ili metaka dolaze u raznim izvedbama, ali ipak sve se svodi na ručno ili automatsko izvlačenje/izbacivanje [5].



**Slika 23. Ejektor izbacuje obje opaljene čahure [23]**

#### **4.1.3. Kalibri cijevi**

Kalibri glatkih cijevi označavaju se cijelim neimenovanim brojevima, primjerice 4, 8, 10, 12, 16, 20, 24, 28, 32 i 36. Određivanje kalibra glatkih cijevi, posebno kod pušaka sačmarica, potječe iz Engleske i nastalo je u drugoj polovini 19. stoljeća. Postupak određivanja kalibra bio je sljedeći: od jedne engleske funte (453,6 g) olova lijevane su olovne kugle jednakog promjera. Promjer cijevi puške koji je odgovarao toj kugli nazvan je po broju izlivenih kugli. Na primjer,

ako se od funte olova izlilo 16 jednakih kugli, cijev odnosno puška bila je označena kalibrom 16. Ako se od funte izlilo 20 jednakih kugli, cijev ili puška bila je označena kalibrom 20. Kada se mjeri u metričkom sustavu, promjer cijevi za kalibar 16 je 16,8 mm, za kalibar 20 je 15,7 mm, dok je za kalibar 12 promjer 18,2 mm. Kalibar, odnosno promjer cijevi, mjeri se na udaljenosti od 230 mm od zadnjeg kraja cijevi. Ovaj standard omogućava precizno određivanje veličine i promjera cijevi, što je ključno za sigurnost i učinkovitost lovačkih pušaka sačmarica. Tablica 2 prikazuje promjer cijevi za određeni kalibar.

**Tablica 2. Kalibri i promjeri cijevi sačmarica [5]**

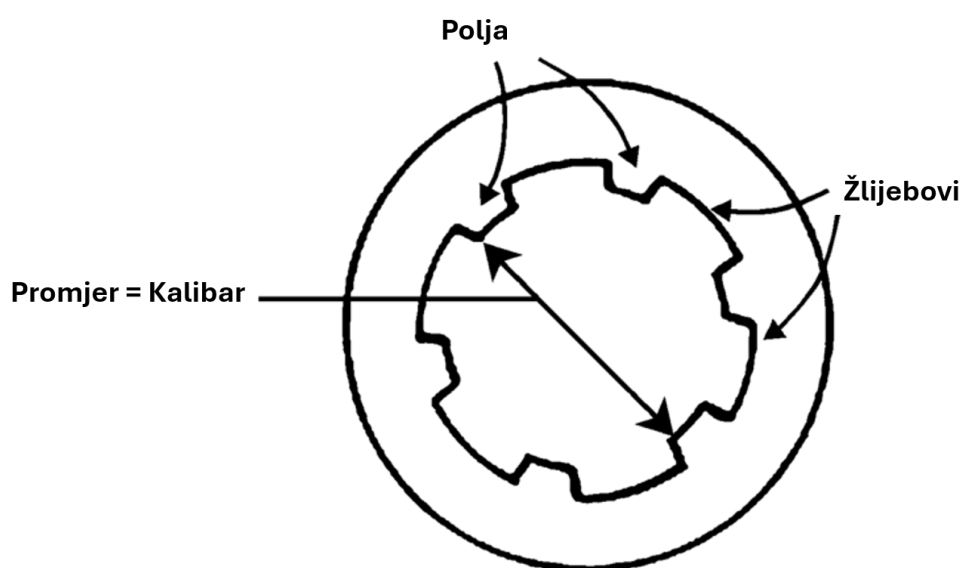
<b><u>Kalibar cijevi</u></b>	4	8	12	16	18	20	28	32	36/410
<b><u>Promjer cijevi u mm</u></b>	23,4	20,8	19,3	18,2	16,8	15,7	13,8	12,7	10,2

Osim praktične upotrebe u lovu, razumijevanje kalibra važno je i za balistiku, gdje promjer cijevi utječe na balističke karakteristike metka, uključujući brzinu, preciznost i razornu moć. Veći kalibri omogućuju korištenje težih i većih projektila, što može biti korisno za lov na krupniju divljač. S druge strane, manji kalibri mogu biti korisniji za lov na manju divljač i ptice, gdje je potrebna veća brzina i šire raspršivanje sačme [3, 5, 15].

#### **4.2. Puške s užljebljenim cijevima – kuglare**

Žljebljenje unutrašnjosti cijevi vatrenog oružja uključuje nanošenje spiralnih brazdi na njezinu površinu. Uloga tih brazdi je da projektil tijekom prolaska kroz cijev dobije rotacijsko gibanje, što mu daje stabilnost u letu i povećava točnost pogodaka. U početku se žljebljenje cijevi izvodilo ručno, a kasnije su se koristili strojevi koji su pomoću rezača oblikovali žljebove prema željenim specifikacijama. Rezač se mogao podesiti za dubinu i kut (spiralu) urezivanja. Urezi se nazivaju „žljebovi“, dok se nedirnute površine nazivaju „polja“. Prvi žljebovi su bili ravni i služili su samo za smanjenje trenja zrna u cijevi te su se morali rezati jedan po jedan, što je zahtijevalo veliku vještinu i mnogo ručnog rada kako bi se osigurala ravnomjernost i

jednolična dubina. Zrna su bila obložena komadom masne krpe, kako bi se olakšalo njegovo guranje u cijev. S vremenom su se alati za urezivanje žlijebova poboljšali, omogućujući urezivanje više žlijebova odjednom. Ova vještina i ručni rad bili su vrlo skupi, što je činilo žlijebljene puške relativno rijetkima sve do 19. stoljeća, kada su razvijeni moderni strojevi za obradu metala. Također, treba napomenuti da su užlijebljene puške nailazile na otpor vojnih zapovjednika jer su vojnici gubili mnogo vremena na čišćenje naslaga ostataka crnog baruta iz žlijebova. Unatoč tome, žlijebljene puške su bile preciznije, što je bilo od velike važnosti za lov.



Slika 24. Prikaz užlijebljene cijevi [24]

Upravo ovakve puške s užlijebljenim cijevima koriste se u lovu na krupnu divljač na većim udaljenostima, a poznate su kao risanice. U nekim literaturama, ove puške se također nazivaju kuglare ili karabini. Termin „kuglare“ potječe iz ranijih vremena kada su ispaljivana zrna imala oblik olovne kugle. Za razliku od pušaka s glatkim cijevima, koje su efikasne na udaljenostima od 30 do 50 metara za lov sitne divljači, puške s užlijebljenim cijevima omogućuju pucanje na znatno veće udaljenosti, ponekad i do 500 metara. Puške s glatkim cijevima ispaljuju sitne metalne kuglice (sačmu) koje se šire u obliku lijevka nakon izlaska iz cijevi, pokrivajući široko područje i pogađajući sitnu divljač. Nasuprot tome, užlijebljene cijevi koriste jedan metalni projektil koji pruža visoku preciznost i dovoljno udarne energije da usmrti veliku divljač na većim udaljenostima. Na slici 24. nalazi se prikaz poprečnog presjeka užlijebljene cijevi.

Osnovni dijelovi ovakvih pušaka uključuju cijev, kućište s okidačem i pripadajućim dijelovima, te kundak (Slika 25). Prema načinu izvedbe dijele se na: karabine i prelamače. Karabini su čvrsta cjelina koja uključuje sva tri navedena dijela, dok prelamači imaju cijevi koje se preklapaju za punjenje i pucanje, slično puškama s glatkim cijevima. Karabini obično imaju jednu cijev, dok prelamači mogu imati jednu, dvije ili više cijevi. Također postoje kombinirane puške s mješovitim cijevima, i glatkim i užlijebljenim [3, 5, 25].



Slika 25. Prikaz osnovnih dijelova karabina/kuglara[17]

#### 4.2.1. *Proizvodnje užlijebljenih cijevi*

Cijevi užlijebljenog oružja proizvode se metodom hladnog kovanja. Za izradu cijevi koriste se specijalni čelici kao što su NiCrMo2, NiCrMo3, NiCrMo6, 40NiCrMo2, 32CrMo4, 39NiCrMo3, AISI4340 i drugi. Tvrdoća čelika za izradu cijevi iznosi oko 60 HRC, dok tombak, legura bakra i cinka od koje se izrađuju košuljice zrna, ima upola manju tvrdoću, oko 34 HRC. Također, još se koriste čelici s visokim udjelom kroma, poznati kao antikorozivni ili nehrđajući čelici. Ovakav postupak započinje čeličnom šipkom koja je naponski stabilizirana tj. dovoljno je dugo odležala. Takva šipka se podvrgava dubinskom bušenju unutrašnjosti. Zatim se druga

šipka od materijala mekšeg od čelika premazuje posebnim uljem i abrazivnom smjesom u prahu. Šipka se rotira i vlaži, čime abraziv fino obrađuje unutrašnjost cijevi. Cijev koja je prethodno pripremljena prolazi kroz specijalizirani stroj koji sadrži četiri pneumatska čekića. Ti čekići su raspoređeni u parovima. Svaki par postavljen je nasuprot drugom pod kutom od 180°. Svaki čekić udara s impresivnom silom od 1,25 milijuna N, što je ekvivalentno težini od 125 tona, i to četiri puta zaredom. Proces obuhvaća cijev koja se kreće oko matrice, odnosno trna, koji ima oblik suprotan od željenog kalibra cijevi. Trn se pomiče duž cijevi u sinkronizaciji s njezinim kretanjem. Tijekom procesa kovanja, serija preciznih udaraca koji se izvode u trajanju od sedam do osam minuta oblikuje unutrašnjost cijevi prema zadanim specifikacijama kalibra. Ovi udarci stvaraju željene karakteristike unutarnjeg profila, uključujući broj i smjer žljebova koji su ključni za preciznost i performanse oružja. Nakon faze kovanja, cijev se podvrgava procesu ispravljanja kako bi se osigurala njena savršena ravnoteža i simetrija. Slijedi detaljna kontrola kvalitete koja uključuje provjeru svih dimenzija i tolerancija. Tokarenjem se zatim oblikuje ležište metka, prijelazni konus koji vodi do cijevi, te vanjski profil cijevi, dajući joj konačan oblik i funkcionalnost. Završna kontrola kvalitete obuhvaća sveobuhvatnu inspekciju gotove cijevi prema svim zadanim tehničkim parametrima. Ova faza uključuje i primjenu naprednih metoda kontrole poput tormenta diska i fero-fluks inspekcije, koje koriste elektromagnetski fluorescentni prah za otkrivanje bilo kakvih mikroskopskih nepravilnosti ili nedostataka u materijalu. Cijevi proizvedene ovim postupkom karakterizira prisutnost četiri ili šest žljebova s desnim smjerom vrtnje, što je standard za mnoge vrste lovačkog oružja. Žljebovi su ključni za stabilizaciju putanje metka i povećanje preciznosti. Standardne dužine cijevi za lovačko oružje variraju između 50 cm i 60 cm, omogućujući optimalnu ravnotežu između preciznosti i prenosivosti. Posebnim proučavanjem unutrašnjosti cijevi, odnosno spirale, polja i žljebova bavi se unutarnja balistika [5].

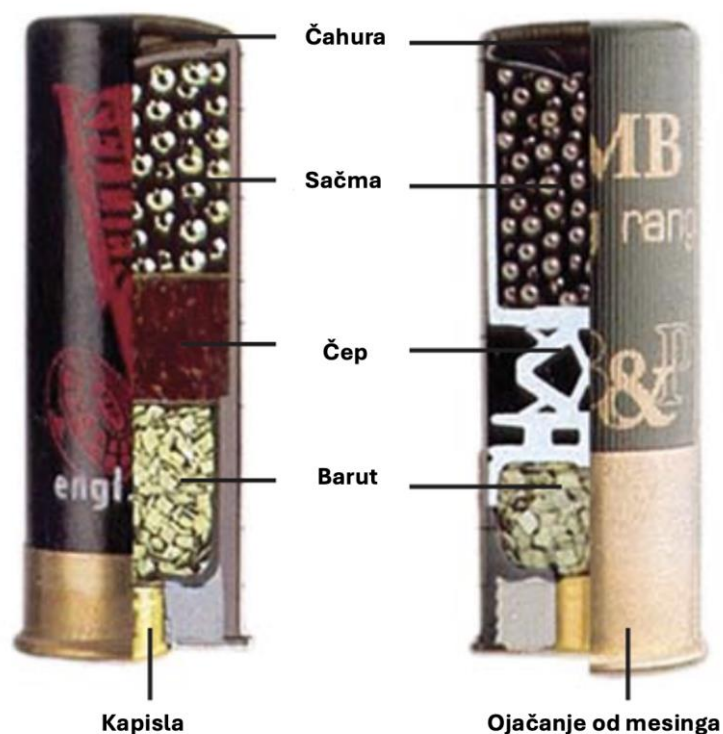
## 5. MUNICIJA ZA PUŠKE S GLATKIM CIJEVIMA - SAČMARICE

Municija je ključna komponenta svakog vatrenog oružja i, zajedno s puškama, čini osnovni dio lovačkog pribora. Moderna municija se sastoji od nekoliko osnovnih elemenata: čahure, kapisle, barutnog punjenja i projektila. Važno je napomenuti da postoji značajna razlika između municije za puške s glatkim cijevima, poznate kao sačmarice, i municije za puške s užlijebljenim cijevima, poznate kao kuglare.

### 5.1. Dijelovi metka/patrone

Moderni lovački metak za pušku glatkih cijevi tj. sačmaricu sastoji se od nekoliko glavnih dijelova koji su vidljivi na slici 26 [9]:

- 1) čahure (plastična ili kartonska)
- 2) kapisle
- 3) barutnog punjenja
- 4) čepa
- 5) projektila – sačma



Slika 26. Prikaz dijelova metka za puške s glatkim cijevima [14]

**Čahure** su ključni elementi sačmenog streljiva jer povezuju ostale komponente metka, kao što su kapisla, barut, čep i sačma u jednu cjelinu. Ovisno o materijalu od kojeg su izrađene, čahure se dijele na kartonske, metalne i plastične. Zahtjevi za čahure uključuju čvrstoću, elastičnost i otpornost na visoke temperature i vlagu. Čahure moraju izdržati visoki tlak barutnih plinova, ali i biti dovoljno elastične da se pri opaljenju prošire i zabrtve ležište metka kako bi se spriječio povratak barutnih plinova. Nakon opaljenja, čahure se moraju vratiti na početnu dimenziju kako bi se lako izvadile iz cijevi. Osim toga, čahure moraju izdržati visoku temperaturu koja se stvara pri gorenju baruta. Ako su izrađene od kartona, također moraju biti otporne na vlagu.

U 1970-im godinama plastične čahure zamijenile su kartonske zbog niže cijene i veće otpornosti na vlagu. Međutim, s razvojem svijesti o zaštiti i očuvanju okoliša, to je dovelo do ponovne upotrebe kartona koji je ekološki prihvatljiviji za izradu čahura od plastike [3, 5, 9].

**Kapisle** su male, od lima izrađene posudice koje služe za inicijalno paljenje baruta. U njoj se nalazi smjesa više kemijskih supstanci koje su jako osjetljive na udar te se nazivaju inicijalnim eksplozivima. Glavni inicijalni eksploziv 70-ih godina 18.st. pa skoro sve do danas bio je živin fulminat koji je osiguravao jaku iskrnu koja je bez problema palila barutno punjenje. Međutim, veliki nedostatak ovog sredstva bila je izuzetno burna kemijska reakcija prilikom sagorijevanja koja izaziva koroziju samoga oružja.

Postoje dvije osnovne grupe kapisli prema konstrukciji: tip "Gevelot" i tip "Winchester 209" čiji se usporedni prikaz može vidjeti na slici 27. Kod Gevelot kapisli tijelo je cjelovito i u njoj su sadržani svi ostali elementi, dok se kapisla tipa W-209 radi lakše proizvodnje sastoji od 2 dijela – tijela s nakovnjem i posebne posudice s eksplozivnom smjesom utisnutom u nakovanj [5].



Slika 27. Usporedni prikaz Gevelot i Winchester 209 kapisli [26]



**Dimni barut** se u počecima vatrenog oružja koristio kao pogonsko sredstvo. Međutim, krajem 19. stoljeća počela je upotreba bezdimnih baruta koji gotovo da ni ne proizvode dim prilikom paljenja, ali razvijaju značajno veće pritiske u usporedbi sa klasičnim dimnim (crnim) barutom. Postoje dva osnovna tipa bezdimnog baruta: nitrocelulozni i nitroglicerinski. Nitrocelulozni bezdimni barut je najčešće korišten tip u lovačkoj municiji bez obzira na vrstu cijevi. Veće je zapremine od nitroglicerinskog i lakše se kontrolira tijekom proizvodnje municije.

Nitroglicerinski bezdimni barut ima snažnije eksplozivno djelovanje i koristi se u manjim, vrlo precizno određenim količinama prilikom punjenja municije, posebno zbog njegove veće specifične težine. Osim toga, nitroglicerinski barut je eksplozivan, pa zahtijeva pažljivo rukovanje [3, 5, 15].

**Čepovi** su ključni dio sačmenog streljiva jer brtve cijev i sprečavaju istjecanje barutnih plinova, čime povećavaju učinkovitost. U početku su se koristili materijali poput kudjelje, lanenih vlakana i tkanina za brtvljenje, a kasnije je uveden filc, koji se i danas koristi, ali u nešto izmijenjenom obliku. 1970-ih godina prošlog stoljeća uvode se plastični čepovi načinjeni od polietilena visoke gustoće (PE-HD) koji su proizvedeni ekstruzijom otopljenih granula polietilena kroz odgovarajuću matricu. Danas postoje mnogo različitih vrsta plastičnih čepova, ali svi se sastoje se od tri dijela: donjeg dijela koji brtvi cijev, srednjeg dijela koji amortizira povratni udarac i gornjeg dijela, poznatog kao “košarica,” koja sprečava kontakt sačme s cijevi i raspršuje sačmu nakon izlaska iz cijevi. Iako su plastični čepovi jeftiniji, učinkovitiji i jednostavniji za proizvodnju, imaju jedan značajan nedostatak - nisu biorazgradivi. Zbog sve većeg fokusa na ekološke aspekte, postoji pritisak na zamjenu plastičnih čepova. Noviji razvoj uključuje biorazgradive čepove od polihidroksialkanoata (PHA) koji su trenutno jako skupi. Na slici 28. prikazane su različite vrste čepova [5].



Slika 28. Prikaz različitih vrsta čepova [27]

## 5.2. Zahtjevi za izradu sačme

Materijali za izradu sačme moraju zadovoljiti nekoliko ključnih zahtjeva kako bi bili učinkoviti i sigurni za upotrebu [5, 28]:

- **Gustoća** - materijal mora imati dovoljnu gustoću kako bi omogućio dobar domet i penetraciju. Visoka gustoća osigurava da sačma zadrži svoju brzinu i energiju na većim udaljenostima, što je ključno za učinkoviti lov.
- **Tvrdoća** - materijal mora biti dovoljno tvrd da se ne deformira prilikom ispaljenja i udara, ali ne previše tvrd da ošteti cijev oružja. Optimalna tvrdoća osigurava dobre balističke performanse i smanjuje rizik od oštećenja cijevi oružja.
- **Nezapaljivost** - mora biti stabilan i ne smije biti lako zapaljiv ili eksplozivan pod normalnim uvjetima uporabe.
- **Netoksičnost** - materijal ne smije biti toksičan za ljude, divljač i okoliš. Upravo je ovo jedan od glavnih razloga zabrane olovne sačme.
- **Proizvodnost** - materijal mora biti lako obradiv i prilagodljiv postojećim tehnologijama proizvodnje sačme.
- **Cijena** - materijal mora biti pristupačan za proizvođače i korisnike.
- **Dostupnost** - materijal mora biti lako dostupan i u dovoljnoj količini kako bi zadovoljio potražnju na tržištu.

### 5.3. Materijali od kojih se proizvodi sačma

Od davnina se u lovu koristi olovna sačma zbog svojih izvanrednih svojstava koja su nadmašila ostale materijale. Otkrićem njezine toksičnosti i štetnosti za prirodu, počela je potraga za materijalom koji bi bio njezina idealna zamjena što se pokazalo kao golemi zadatak. Za zamjenu olova gledaju su dvije značajke, što veća gustoća i manja tvrdoća. Na temelju takvih značajki u obzir su došli čelik, bizmut, volfram, cink, molibden i dr. U Tablica 3. prikazane su gustoće ekološki prihvatljivih materijala [5, 29].

**Tablica 3. Prikaz gustoća ekološki prihvatljivih materijala za izradu sačme [5]**

Materijal	Gustoća (g/cm <sup>3</sup> )
Olovo sa 3% antimona	11-11,30
Cink	7,11
Kositar	7,30
Željezo	7,85
Bizmut s 3% kositra	9,80
Molibden	10,20
Volfram polimer – 93% volfram, 3% najlon	11,20
Volfram željezo – 40% volfram, 60% željezo	10,30

#### Olovo

Olovna sačma je nezaobilazna komponenta municije za puške s glatkim cijevima, prvenstveno zbog svoje relativne gustoće od 11,34 g/cm<sup>3</sup>, što je čini izuzetno pogodnom za balističke performanse. Čisto olovo je poznato po svojoj mekoći (5 HV) i niskoj temperaturi taljenja (327 °C), ali kao takvo nije prikladno za izradu sačme zbog svoje previše meke strukture koja se može deformirati pod visokim tlakom prilikom paljenja. Zbog visokog tlaka koji nastaje prilikom paljenja, zrna sačme se kreću kroz cijev i međusobno sudaraju, što kod mekanih zrna može rezultirati deformacijom i gubitkom okruglog oblika. Zrna nepravilnog oblika ne lete precizno kroz zrak i raspršuju se u različitim smjerovima, što može rezultirati lošom širinom, gustoćom rasporeda i manjom prodornom moći. Zbog tih razloga je mekana sačma balistički nepovoljna te se olovna sačma obično legira s drugim metalima radi poboljšanja

svojstava. Antimon se često dodaje kako bi se povećala tvrdoća olova. Antimon ima tvrdoću od 310 HV, temperaturu taljenja od 630 °C i specifičnu težinu od 6,7 g/cm<sup>3</sup>. Prisutnost antimona u sačmi povećava njenu otpornost na deformaciju i poboljšava balističke karakteristike. Prema udjelu antimona olovnu sačmu možemo podijeliti na meku, koja sadrži oko 1% antimona, i tvrdi, koja ima do 3% što može olovu povećati tvrdoću do 22HV. U proizvodnji sačme koriste se različite tehnike, uključujući lijevanje i kovanje. Prvotno, olovna sačma je proizvedena lijevanjem rastaljenog olova s visine kako bi se postigao zaobljeni oblik kapljica. Moderni pristupi uključuju dodatne tehnike kao što je kovanje iz olovne žice, što omogućuje precizniju kontrolu veličine i oblika zrna sačme. Danas se olovna sačma često oblaže ili patinira bakrom, niklom ili drugim slitinama radi smanjenja trenja između zrna i poboljšanja performansi. Glavni problem olovne sačme je njezina toksičnost, što predstavlja ozbiljnu prijetnju za ekosustave. Kada se koristi u lovu, olovna sačma može kontaminirati tlo i vodene površine, što negativno utječe na divlje životinje, biljke i ljude ako konzumiraju meso olovom otrovanih životinja. Zbog ekoloških rizika, Europska unija je 2023. godine uvela zabranu korištenja olovne sačme, a o tome će detaljnije biti govora u idućem poglavlju [5, 30, 32].

## Čelik

Proizvođači sačmenog streljiva bili su na velikim mukama kako zadovoljiti norme C.I.P.-a i SAAMI-ja, a imati jeftinu sačmu. Odabir je pao na čelik zbog njegove netoksičnosti i jeftine cijene (3,40 €/kg). Iako čelik kao legura željeza i ugljika ima manju gustoću od olova, nudi brojne prednosti, ali također se suočava s određenim izazovima. Kako bi se postigao jednak smrtonosni učinak s čeličnom sačmom kao s olovnom, potrebno je povećati promjer zrna čelične sačme zbog manje gustoće čelika. Za razliku od olovne sačme, koja zadržava veću brzinu tijekom cijele putanje i samim time imat će i veću kinetičku energiju, čelična će sačma imati manju energiju i kraći domet. Razlog tome je što povećanje promjera zrna čelične sačme uzrokuje veći otpor zraka tijekom leta. Osim toga broj zrna u patroni se smanjuje, što rezultira užim snopom i manjom gustoćom posipa. Ova razlika u broju zrna i rasporedu sačme utječe na učinkovitost i pouzdanost pri lovu, jer se smanjuje šansa za pogodak i učinkovito onesposobljavanje divljači na većim udaljenostima.

Tablica 4. Razlika u težini punjena olovne i čelične sačme [5]

Kalibar	Punjenje olovne sačme u g	Punjenje čelične sačme u g
10/89	63,78	49,60
12/76	46,06	39,00
12/70	42,52	35,40
20/76	35,43	28,35

Iz tablice Tablica 4. jasno se vidi kako će za isti kalibar čahure punjenje čeličnom sačmom biti znatno lakše u usporedbi s istim čahurama punjenim olovnom sačmom.

Drugi problem čelične sačme je tvrdoća i otpornost na deformacije, po kojima je čelična sačma poznata. Upravo to predstavlja problem za cijevi starijih pušaka koje nisu dizajnirane za upotrebu tvrdih materijala, jer može doći do oštećenja cijevi. Kako bi se spriječila abrazija tj. struganje čelične sačme po unutrašnjoj strani cijevi, C.I.P. propisuje da se čelična sačma mora nalaziti u plastičnoj košarici čiji materijal mora biti stabilan pri temperaturama između  $-20^{\circ}\text{C}$  i  $50^{\circ}\text{C}$ . Na slici 29. prikazana je košarica u kojoj se nalazi čelična sačma. Upotreba čelične sačme predstavlja značajan korak prema održivom lovu. Ova alternativa, prilagođena modernim ekološkim zahtjevima, omogućuje lovcima da smanje štetan utjecaj na okoliš. Stalni razvoj i prilagodba čine je sve privlačnijom opcijom za ostale lovce diljem svijeta [5, 30, 31].



Slika 29. Prikaz čelične sačme i plastične košarice

**Bizmut**

Bizmut je još jedan u nizu ekološki prihvatljivih alternativa za zamjenu olovne sačme. S gustoćom od  $9.80 \text{ g/cm}^3$ , bizmutna sačma u letu zadržava više energije te se ponaša slično kao i olovo. Zbog svoje mekoće smanjuje rizik od oštećenja cijevi puške i smanjuje rizik od rikošeta, što doprinosi sigurnijem lovu. Međutim, kao i svi materijali i bizmut se suočava s nekim nedostacima. Neki od njih su visoka cijena od  $62 \text{ €/kg}$  što predstavlja problem za široki primjenu, krhkost koja može dovesti do raspadanja zrna prilikom udara koja može utjecati na preciznost i njegova dostupnost nije toliko velika kao čelik i olovo [33].

**Volfram**

Volfram predstavlja izvanrednu alternativu olovnoj sačmi zbog svojih jedinstvenih svojstava. Njegova gustoća od  $19,25 \text{ g/cm}^3$  veća je od gustoće olova i znatno veća od gustoće čelika. Upravo velika gustoća omogućuje korištenje zrna manjeg promjera uz zadržavanje iste brzine i energije prilikom udara. Osim toga, broj zrna u patroni se povećava, što rezultira širim snopom i većom gustoćom posipa. Jedna od velikih prednosti sačmenog streljiva na bazi volframa je povećani domet u usporedbi s olovnom i čeličnom sačmom. Također, volfram je poznat po svojoj iznimnoj tvrdoći i otpornosti na deformacije, te proizvodi manje trenja unutar cijevi, čime se smanjuje trošenje oružja i održava njegova preciznost. Glavni nedostatak volframa je njegova cijena od  $80 \text{ €/kg}$ , koja predstavlja izazov za njegovu široku primjenu [34].

## 6. ZAKONSKE REGULATIVE

Upotreba olova u lovu predstavlja ozbiljan ekološki i zdravstveni problem. Svjetska zdravstvena organizacija (WHO) smatra olovo jednom od najopasnijih tvari opće uporabe, uz opasne pesticide, živu, smog i azbest. Procjenjuje se da se svake godine močvarna područja Europe zagađuju s 4.000 tona do 5.000 tona olovne sačme, što je posebno problematično za ptice močvarice koje obitavaju u tom području. Ptice često zamjenjuju olovne kuglice s kamenčićima koja im služe za usitnjavanje hrane u mišićnom želudcu, što dovodi do gutanja olovne sačme. Olovo se otapa u njihovim želucima, uzrokujući trovanje. Istraživanja diljem Europe su pokazala da velik broj ptica močvarica ima olovnu sačmu u mišićnom želucu što je vidljivo na slici 30.



**Slika 30. Olovna sačma pronađena u želudcu ptica močvarica [40]**

Olovo iz sačme predstavlja ozbiljnu prijetnju zdravlju ljudi koji konzumiraju meso divljači pogođene olovnom sačmom. Olovo negativno utječe na gotovo sve organske sustave u tijelu. Smatra se "tihim ubojicom" jer simptomi trovanja mogu biti suptilni, čak i pri malim količinama, ali imaju značajan negativan utjecaj na zdravlje. Kod odraslih osoba, olovo može uzrokovati smanjenje kognitivnih funkcija, gubitak koncentracije, pamćenja, glavobolje, umora, bolova u mišićima te oštećenja bubrega. Posebno je opasno za djecu i trudnice, jer može prouzročiti trajna oštećenja živčanog sustava. Konzumacija mesa divljači pogođene olovnom sačmom nije sigurna, jer čestice olova mogu ostati u mesu čak i nakon što se uklone olovne kuglice (slika 31.).



**Slika 31. Prikaz kako olovna sačma nakon lova ostaje u prirodi [41]**

Nakon 15. veljače 2023. godine, na snagu stupa Uredba o registraciji, evaluaciji, autorizaciji i ograničavanju kemikalija (REACH). Ova zabrana dolazi nakon isteka dvogodišnjeg prijelaznog razdoblja danog državama članicama EU-a kako bi se pripremile za promjenu. U Hrvatskoj je korištenje olovne sačme zabranjeno već deset godina, no zabrana se nije dosljedno poštovala i kazne nisu bile propisane. REACH uredbom zabranjeno je:

- koristiti sačmu koja sadržava olovo u koncentraciji jednakoj ili većoj od 1% masenog udjela
- nositi takvu sačmu tijekom pucanja u močvarnom području ili u okviru pohoda u močvarno područje s namjerom pucanja

U Hrvatskoj će se posjedovanje i korištenje olovne sačme u močvarnim područjima strogo kažnjavati prema Zakonu o provedbi Uredbe (EZ) br. 1907/2006 Europskog parlamenta i Vijeća o registraciji, evaluaciji, autorizaciji i ograničavanju kemikalija dok će nadzor obavljati sanitarna inspekcija Državnog inspektorata Republike Hrvatske. Prekršitelji će biti suočeni s visokim novčanim kaznama: nositelj dozvole za lov će biti kažnjen novčano u rasponu od 6.636,14 € do 13.272,28 €. Također, odgovorna osoba (često predsjednik lovačkog društva) i sam počinitelj (lovac koji krši zabranu) bit će kažnjeni novčano u rasponu od 1.327,22 € do 1.990,84 €.

Prestanak korištenja olovne sačme procjenjuje se da će spriječiti smrt čak milijun ptica močvarica godišnje koje su izložene trovanju olovom. Ovom uredbom zaustaviti će se kontinuirano zagađivanje močvarnih staništa i zaštititi divlje životinje koje ovise o tim ekosustavima. Također će smanjiti sekundarno trovanje grabljivica i strvinara, vrsta ptica koje se često truju jedući plijen kontaminiran olovnom sačmom [35-39].



## 7. EKSPERIMENTALNI DIO

### 7.1. Osmišljavanje naprave

Kako bi se izmjerila sila koja je potrebna za potiskivanje olovne i čelične sačme kroz cijev lovačke puške trebalo je osmisliti napravu pomoću koje bi se to moglo napraviti. Glavna ideja temeljila se na dugačkom vijku okrenutom s glavom prema dolje na koji bi došla kružna podložna pločica. Zatim se na tu pločicu stavi nekoliko redova sačme koja kada se pritisne s gornjom pločicom i stegne s maticom mora malo viriti prema van tj. zapinjati u cijevi kako bi se simulirali uvjeti prolaska sačme kroz cijev prilikom pucanja kako je to prikazano slikom 35. Prilikom osmišljavanja naprave trebalo je obratiti pozornost na nekoliko stvari, a to su duljina cijevi puške i unutarnji promjer cijevi na izlaznom kraju. Duljina vijka trebala je biti veća od cijevi puške kako kidalica nebi dolazila u kontakt s cijevi dok je unutarnji promjer cijevi na izlaznom kraju bitan za izradu podložnih pločica koje moraju biti manje od unutarnjeg promjera kako bi mogle proći kroz cijev. Mjerenjem je utvrđeno kako je promjer cijevi na izlaznom kraju 17,12 mm i na temelju toga su se izradile podložne pločice s vanjskim promjerom od 16 mm i unutarnjim promjerom od 11 mm kako bi ih mogli staviti na vijak.



Slika 32. Prikaz korištene cijevi i konačne naprave

Na slici 32. prikazan je izgled konačne naprave koja se malo razlikuje od teorijske ideje, ali princip rada je ostao nepromijenjen. Umjesto vijka upotrebljena je navojna šipka koja je na jednom kraju imala dvije matice, na koju je dolazila podložna pločica, koje su služile kao zamjena za glavu vijka. Korištenjem ovako stegnutih matice u suprotnim smjerovima osigurava se stabilnost i sprječava se neželjeno pomicanje prilikom ispitivanja. Na drugom kraju navojne šipke nalazila se još jedna matica koja je osiguravala siguran kontakt između naprave i kidalice, omogućavajući precizno mjerenje sile.

## 7.2. Provođenje testiranja - mjerenje sile

Ispitivanje je provedeno na ukupno 10 ponavljanja, pri čemu je 5 ponavljanja činilo punjenje s olovnom sačmom, a drugih 5 ponavljanja činilo punjenje čeličnom sačmom. Svako od ispitanih punjenja sadržavalo je 30 kuglica sačme promjera 3,5 mm koje su bile ravnomjerno raspoređene u dva reda, čime se osigurala konzistentnost prilikom testiranja. Ispitivanje je provedeno u kontroliranim laboratorijskim uvjetima kako bi se osigurala točnost i ponovljivost rezultata. U laboratoriju je ispitivanje provedeno na računalno upravljanoj kidalici WPM Leipzig EU 40 mod, koja pripada klasi točnosti 0,5 sukladno normi HRN EN ISO 7500-1:2019. Ova kidalica, prikazana na Slika 33. koristi se za precizna mjerenja sile i deformacija materijala. Nazivno mjerno područje ove kidalice je od 0 kN do 400 kN, što omogućuje ispitivanje širokog spektra materijala.



Slika 33. Kidalici WPM Leipzig EU 40 mod

Punjenje se pripremalo na način da se u posebnu posudicu odvoji 30 zrna sačme (promjera 3,5 mm), što je omogućilo lakše i preciznije nasipavanje u cijev puške. Prije samog nasipavanja, u cijev je već bila smještena navojna šipka s podložnim pločicama koje su osiguravale pravilno pozicioniranje zrna sačme. Navojna šipka, koja je ključni element za stabilizaciju uzorka, bila je poduprta s vijkom M10 (čija je glava bila naknadno obrađena kako bi stala unutar cijevi) s unutarnje strane cijevi. Ova podrška vijkom olakšala je nasipavanje sačme (slika 34), osiguravajući da zrna ostanu na mjestu tijekom pripreme uzorka.



**Slika 34. Prikaz olovne i čelične sačme korištene u eksperimentu**

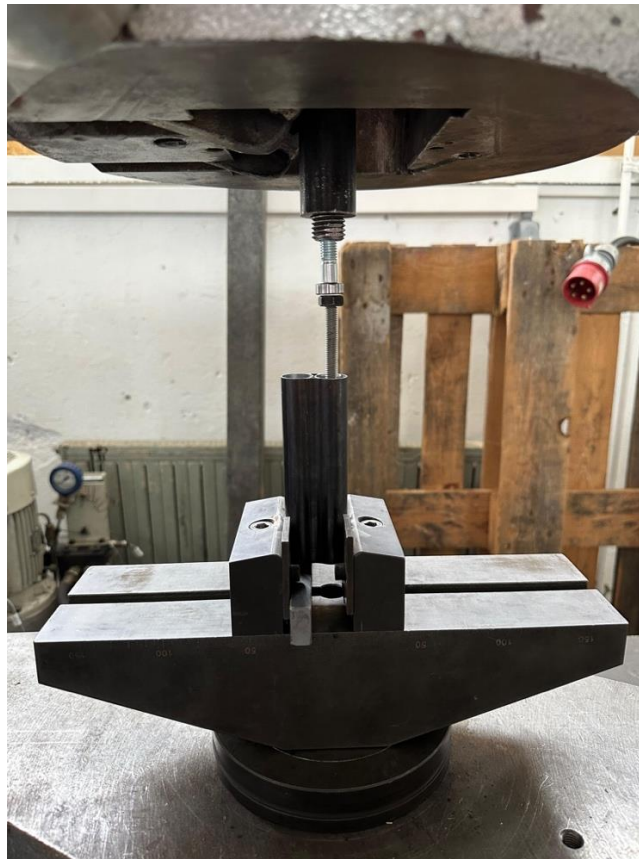
Nakon što je sačma nasuta u cijev, na vrh je postavljena druga podložna pločica s maticom. Pritezanje ove matice ručnom silom zahtijevalo je točnost i preciznost, jer bi svaki nagli ili prekomjerni pokret mogao rezultirati ispadanjem sačme iz cijevi, što bi zahtijevalo ponovnu pripremu ispitnog uzorka. Stoga su svi pokreti prilikom pritezanja morali biti kontrolirani kako bi se sačma zadržala na svom mjestu. Ukoliko bi se to dogodilo, cijeli ispitni uzorak bi morao biti ponovno pripremljen, što bi povećalo vrijeme i trud potrebnih za provedbu eksperimenta.



**Slika 35. Prikaz ispitnog uzorka prije utiskivanja u cijev(lijevo) i nakon utiskivanja u cijev(desno)**

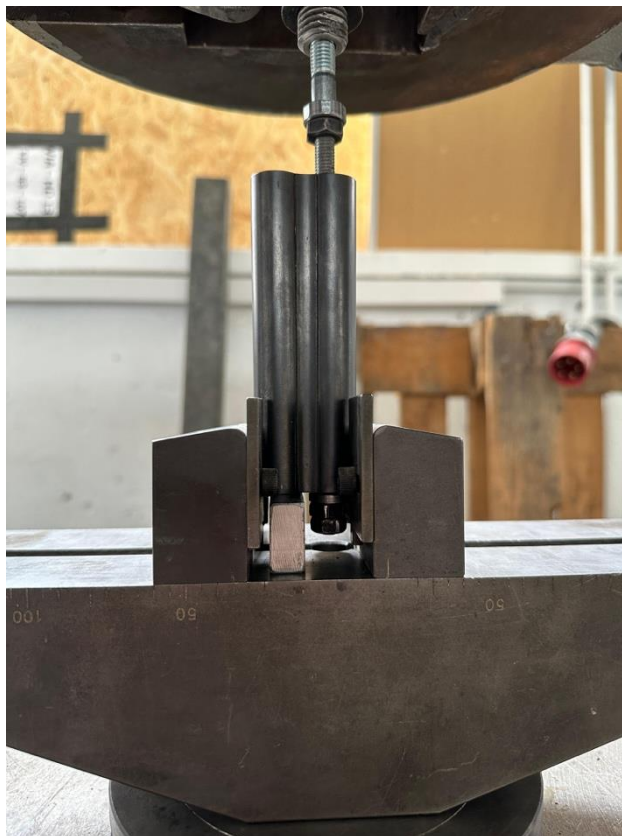
Kada je podložna pločica s maticom bila sigurno postavljena i pritegnuta, uzorak smo ručno utisnuli u cijev koliko je to bilo moguće, do dijela cijevi gdje dolazi do suženja ili čoka. Suženje ili čok u cijevi puške igra ključnu ulogu u ispitivanju jer pruža dodatni otpor i utječe na raspodjelu sila unutar uzorka tijekom ispitivanja.

Nakon što su uzorci pripremljeni prema prethodno opisanom postupku, bili su spremni za daljnje ispitivanje na kidalici. U prvom koraku postavljanja, uzorci su smješteni na dno kidalice, gdje su se nalazila specijalna stezna naprava (klijesta) za prihvat uzorka koja su se pritezala posebnim imbus ključem. Ova stezna naprava (klijesta) dizajnirana su tako da osiguravaju stabilnost uzorka prilikom ispitivanja prihvaćajući cijevi sa bočnih strana. Stabilnost je bila ključna za točnost ispitivanja, jer bi bilo kakvo pomicanje ili nestabilnost uzorka moglo utjecati na rezultate ispitivanja. Zbog specifične konstrukcije klijesta i ravne podloge na kojoj su bili postavljeni, ravna podloga sprječavala je potpuni prolazak navojne šipke sa sačmom kroz suženje (čok) cijevi. Da bi se riješio ovaj problem, ispod kraja cijevi koji nije sudjelovao u ispitivanju postavljen je mali metalni blok koji je podigao cijev i omogućio nesmetani prolaz navojne šipke kroz čok, čime je osigurana pravilna postavka uzorka za ispitivanje kako je to prikazano na Slika 36. i Slika 37.



**Slika 36. Prikaz ispitnog uzorka na kidalici prije početka ispitivanja**

Na gornjem prihvatnom kidalici, napravljene su određene prilagodbe kako bi se omogućilo precizno ispitivanje. U ovom slučaju, vijak M10 s glavom okrenutom prema dolje je služio za prijenos sile na uzorak. Vijak je postavljen tako da je u direktnom kontaktu s maticom na navojnoj šipci. Tijekom ispitivanja, sila se prenosila preko vijka na maticu, a zatim na cijeli uzorak. Brzina ispitivanja iznosila je 25 mm/min. Ovakav sustav prijenosa sile osigurava ravnomjerno opterećenje uzorka, što omogućuje precizno mjerenje sile.



**Slika 37. Prikaz ispitnog uzorka na kidalici nakon završetka ispitivanja**

### **7.3. Karakterizacije strukture olova i čelika**

Nakon prethodnog opisanog postupka mjerenja sile analizirana je struktura ispitanih uzoraka olovne i čelične sačme. Ova karakterizacija uključuje postupak pripreme uzoraka za daljnju mikroskopsku analizu kako bi se dobile informacije o njihovoj mikrostrukturi. Priprema uzoraka započinje odabirom nekoliko zrna olovne i čelične sačme, koja se potom stavljaju u silikonske kalupe. Nakon što su zrna pozicionirana u kalupima, kalupi se ispunjavaju epoksidnom smolom koja stvrdnjava unutar otprilike 30 minuta, čime uzorci postaju spremni za daljnju obradu.

Stvrdnuti uzorci najprije se podvrgavaju procesu brušenja. Brušenje se izvodi na uređaju MECATECH 250 SPC čija glavna ploča rotira brzinom od 300 okretaja u minuti pod djelovanjem ručne sile kako je prikazano na Slika 38. Korišten je brusni papir gradacije 320, 600, 1000, 2400 i kao završni korak brušenja izvodi se s brusnim papirom gradacije 4000. Kao SHIP (sredstvo ispiranja, hlađenja i podmazivanja) tijekom brušenja koristi se voda.



**Slika 38. Postupak brušenja**

Svaki korak brušenja trajao je 1-2 minutu što je dovoljno dugo da se uklone tragovi prethodnog brusnog papira, osiguravajući time postepeno smanjenje hrapavosti površine. Nakon završetka brušenja (Slika 38.), uzorci su spremni za poliranje na istom uređaju. Poliranje je bitan korak u pripremi uzoraka jer omogućava dobivanje izuzetno glatke površine koja je potrebna za detaljnu mikroskopsku analizu. Poliranje se odvijalo u dva koraka.

U prvom koraku poliranja koristi se dijamantna pasta granulacije 3  $\mu\text{m}$  prikazana na slici 39. Dijamantna pasta sadrži mikroskopske čestice dijamanta koje su izuzetno tvrde i učinkovite u uklanjanju mikroskopskih ogrebotina koje su ostale nakon brušenja. Ovaj korak osigurava da površina uzorka postane vrlo glatka i spremna za završno poliranje.



**Slika 39. Dijamantna pasta**

U drugom koraku poliranja koristi se tkanina od filca i tekućina za super poliranje koja sadrži čestice veličine zrna od  $0,03 \mu\text{m}$ . Filc (Slika 40.) kao materijal pruža mekanu površinu koja zajedno s tekućinom za poliranje omogućava postizanje izuzetno glatke i reflektivne površine uzorka. Ukupno trajanje oba koraka poliranja iznosilo 10 minuta.



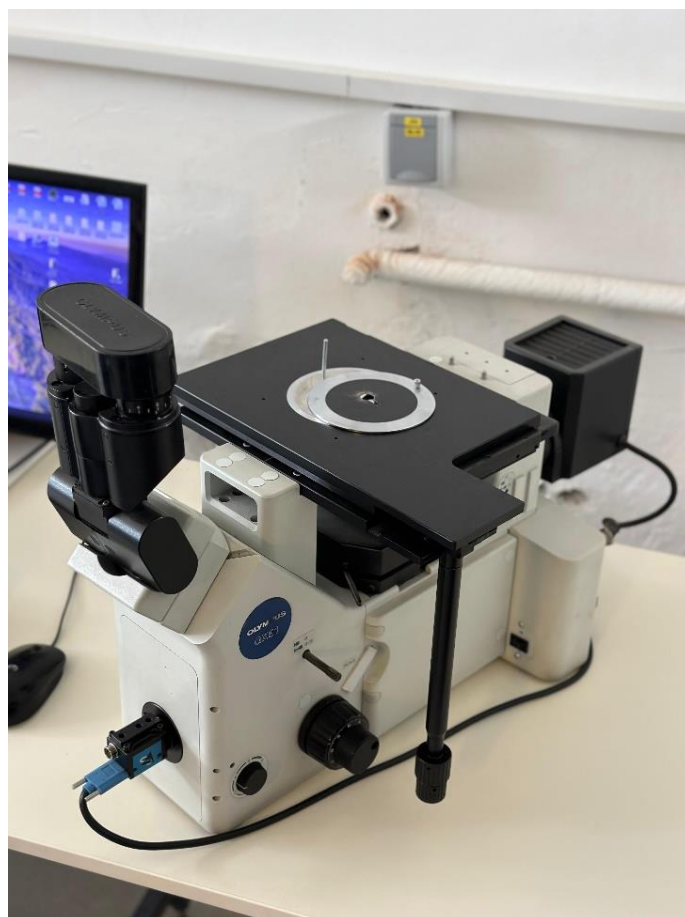
**Slika 40. Tkanina od filca za poliranje**



Nakon poliranja, čelični uzorak se podvrgava nagrivanju. Nagrivanje se izvodi korištenjem otopine koja sadrži 2% nitala (otopina dušične kiseline u alkoholu). Uzorak se nakon nagrivanja ispire običnom vodom kako bi se uklonili ostaci kiseline i zaustavio proces nagrivanja.

Olovni uzorak za razliku od čeličnog ne prolazi proces nagrivanja jer je olovo mekan metal koji ne zahtijeva dodatno isticanje mikroskopske strukture kroz nagrivanje. Umjesto toga, polirani olovni uzorak se izravno priprema za mikroskopsku analizu nakon poliranja.

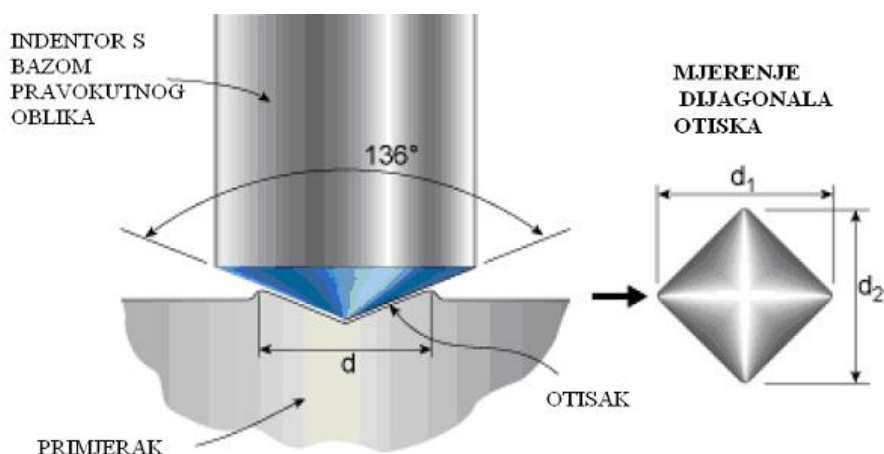
Za metalografsku analizu mikrostrukture uzorka korišten je svjetlosni mikroskop Olympus GX 51 s mogućnošću povećanja od 50 do 1000 puta koji je prikazan na Slika 41. Mikroskop je opremljen s već ugrađenom kamerom koja je povezana s računalom.



**Slika 41. Svjetlosni mikroskop Olympus GX 51**

#### 7.4. Ispitivanje tvrdoće Vickersovom metodom

Nakon pripreme uzoraka provelo se ispitivanje tvrdoće olovne i čelične sačme Vickersovom metodom. Ova metoda pogodna je za primjenu na tvrdim i mekim materijalima. Vickersova metoda koristi kao indenter četverostranu dijamantnu piramidu s kutovima između njih od  $136^\circ$ . Nakon utiskivanja indetora na površini materijala nastaje otisak kojem se mjere duljine dijagonala koje služe za izračunavanja tvrdoće. Shematski prikaz mjerenja tvrdoće po Vickersu vidljiv je na slici 42[42].



Slika 42. Shematski prikaz mjerenja tvrdoće Vickers metodom[43]

Tvrdoća prema Vickersu izračunava se prema sljedećoj formuli:

$$HV = \frac{0,1891 * F}{d^2} \quad (1)$$

Gdje je :

- HV – oznaka tvrdoće po Vickersu
- F[N] – ispitna sila
- $d^2$ [mm] - Aritmetička sredina dijagonala indentacije

Indenter se spušta na uzorak i primjenjuje se sila od 1,962 N te se indenter drži u tom položaju određeno vrijeme kako bi se osiguralo stvaranje jasnog otiska. Nakon što je sila primijenjena i otisak formiran, sila se uklanja, a indenter se povlači s površine uzorka.

Uzorak se postavlja pod mjerni mikroskop prikazan na Slika 43. koji omogućava precizno mjerenje koordinata desnog i lijevog vrha baze piramide otisnute u materijalu. Izmjerene koordinate desnog i lijevog vrha baze piramide za olovnu i čeličnu sačmu prikazane su u

tablici 5 i tablici 6. Tako izmjerene koordinate koriste se za izračunavanje duljine dijagonale otiska (d). Dijagonala se izračunava pomoću izraza u Jednadžbi 2:

$$d = (D - L) * 0,302 \quad (2)$$

gdje su D i L koordinate desnog i lijevog vrha baze piramide otisnute u materijalu, a 0,302 je faktor koji se koristi za konverziju ovih koordinata u odgovarajuću duljinu dijagonale.

**Tablica 5. Prikaz izmjerenih koordinata desnog i lijevog vrha baze utisnute piramide i prikaz dobivene tvrdoće za olovnu sačmu**

Mjerenje	D[ $\mu\text{m}$ ]	L[ $\mu\text{m}$ ]	d[mm]	HV0,2
1.	663	124	0,16278	14,0
2.	677	130	0,16519	13,6
3.	672	127	0,16459	13,7
<b><u>Srednja vrijednost HV0,2</u></b>				<b><u>13,8</u></b>

**Tablica 6. Prikaz izmjerenih koordinata desnog i lijevog vrha baze utisnute piramide i prikaz dobivene tvrdoće za čeličnu sačmu**

Mjerenje	D[ $\mu\text{m}$ ]	L[ $\mu\text{m}$ ]	d[mm]	HV0,2
1.	529	288	0,07278	70,0
2.	526	295	0,06976	76,2
3.	523	293	0,06946	76,9
<b><u>Srednja vrijednost HV0,2</u></b>				<b><u>74,4</u></b>



**Slika 43. Uređaj za mjerenje tvrdoće**

Prednosti Vickers metode:

- otisak je vrlo malen pa ne oštećuje površinu
- moguće je mjerenje tvrdoće vrlo tankih uzoraka i tvrdoće pojedinačnih zrna
- tvrdoća je neovisna o primijenjenoj sili
- moguće mjerenje tvrdoće i najtvrdih materijala

Nedostatci Vickers metode:

- za mjerenje veličine otiska potreban je mjerni mikroskop
- potrebna pažljiva priprema površine uzorka na kojoj se obavlja mjerenje [29]

## 8. ANALIZA REZULTATA ISPITIVANJA

### 8.1. Rezultati i analiza mjerenja sile

Nakon završetka mjerenja sile potrebne za potiskivanje olovne i čelične sačme kroz cijev golim okom su vidljivi učinci međusobnog djelovanja cijevi i sačme.



**Slika 44.** Usporedni prikaz olovne (lijevo) i čelične (desno) sačme nakon ispitivanja

Na slici 44. prikazan je usporedni prikaz čelične i olovne sačme nakon ispitivanja, iz kojeg se jasno može vidjeti razlika u stupnju oštećenja između ova dva materijala.

Olovna sačma koja je bila u kontaktu s cijevi pokazuje značajna oštećenja uzrokovana abrazivnim djelovanjem tijekom ispitivanja. Zbog svoje mekoće, olovo je podložno deformacijama i ogrebotinama kada se podvrgne visokim pritiscima i trenju. Rezultati jasno pokazuju kako je površina olovne sačme izgubila svoj izvorni oblik, postavši neravna i oštećena. Ova oštećenja su rezultat mehaničkog habanja i deformacija koje su se dogodile dok je sačma bila u interakciji s unutarnjom površinom cijevi. S druge strane, unutarnja površina cijevi koja je bila u kontaktu s olovnom sačmom ostala je relativno netaknuta, bez vidljivih oštećenja. To ukazuje na to da je olovo, zbog svoje mekše prirode, pretrpjelo većinu abrazivnog djelovanja.

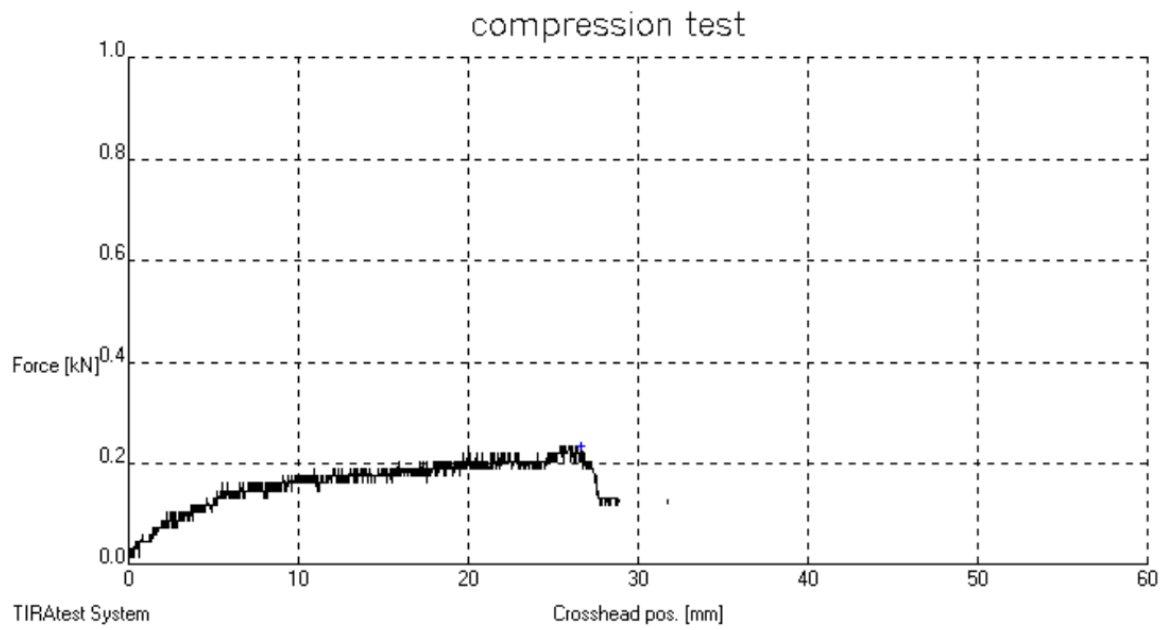


**Slika 45. Prikaz cijevi puške prije i poslije ispitivanja**

Za razliku od olovne sačme, čelična sačma nakon ispitivanja ostala je gotovo nepromijenjena. Čelik, koji je znatno tvrdi materijal u usporedbi s olovom, pokazuje visoku otpornost na abrazivna oštećenja. Površina čelične sačme zadržala je svoj izvorni oblik, bez značajnih ogrebotina ili deformacija. Međutim, na unutarnjem dijelu cijevi koja je bila u kontaktu s čeličnom sačmom, ostali su vidljivi tragovi korištenja kako je prikazano na Slika 45. Ovi tragovi ukazuju na mehaničko trošenje cijevi uzrokovano tvrdom čeličnom sačmom, koja je tijekom ispitivanja vršila veći pritisak na unutarnju površinu cijevi što je rezultiralo većom silom protiskivanja u odnosu na olovnu sačmu kao što je vidljivo iz Tablica 7. i grafova.

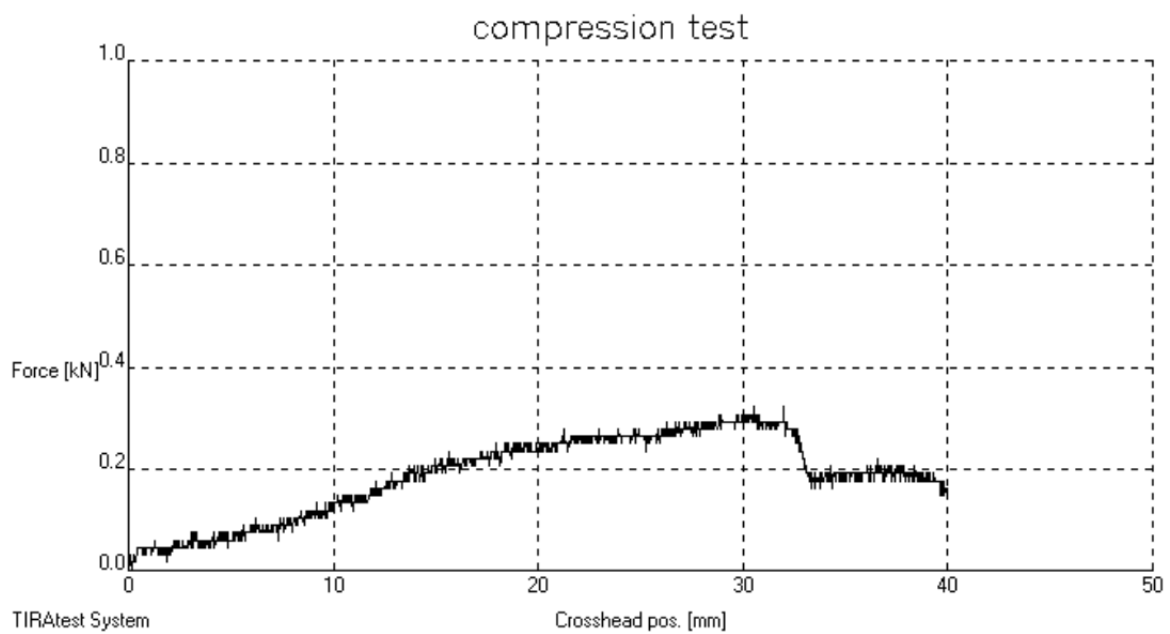
**Tablica 7. Usporedni prikaz izmjerenih sila za olovnu i čeličnu sačmu**

<b>Mjerenje sile potiskivanja</b>		
<b><i>Ispitivanje br.</i></b>	<b><u>Olovna sačma [N]</u></b>	<b><u>Čelična sačma [N]</u></b>
<b>1.</b>	220 N	630 N
<b>2.</b>	310 N	570 N
<b>3.</b>	200 N	810 N
<b>4.</b>	250 N	770 N
<b><u>Srednja vrijednost i st. devijacija</u></b>	<b><u>245 N ± 47,96 N</u></b>	<b><u>695 N ± 113,57 N</u></b>



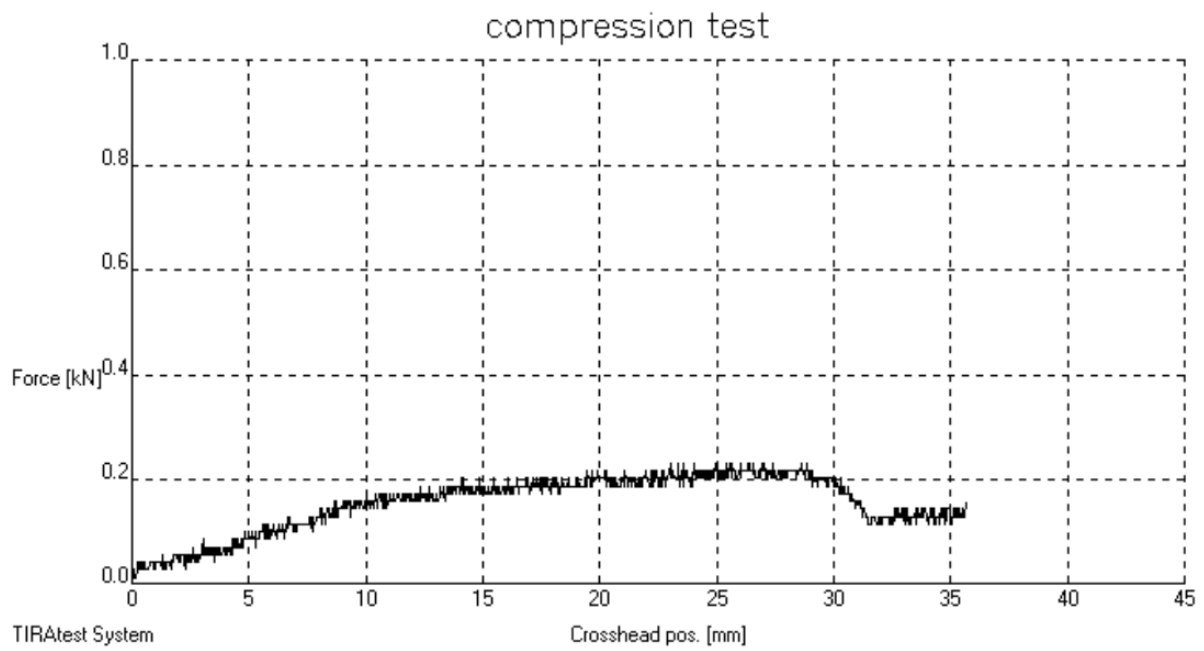
$F_m = 220 \text{ N}$

a)



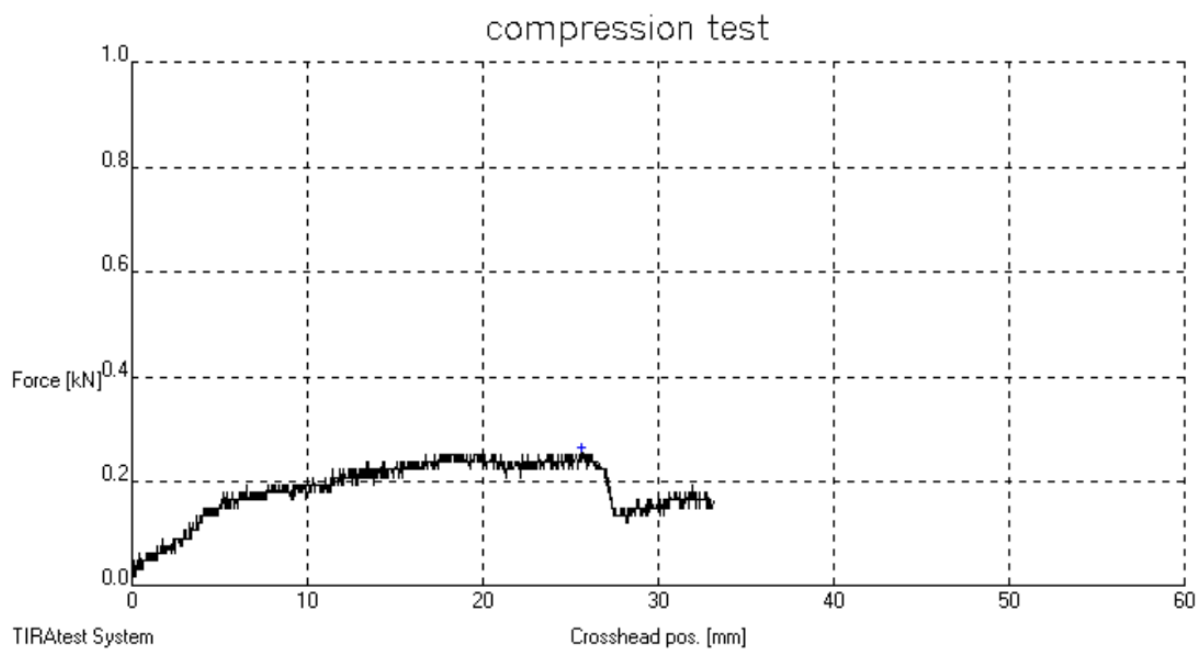
$F_m = 310 \text{ N}$

b)



$F_m = 200 \text{ N}$

c)

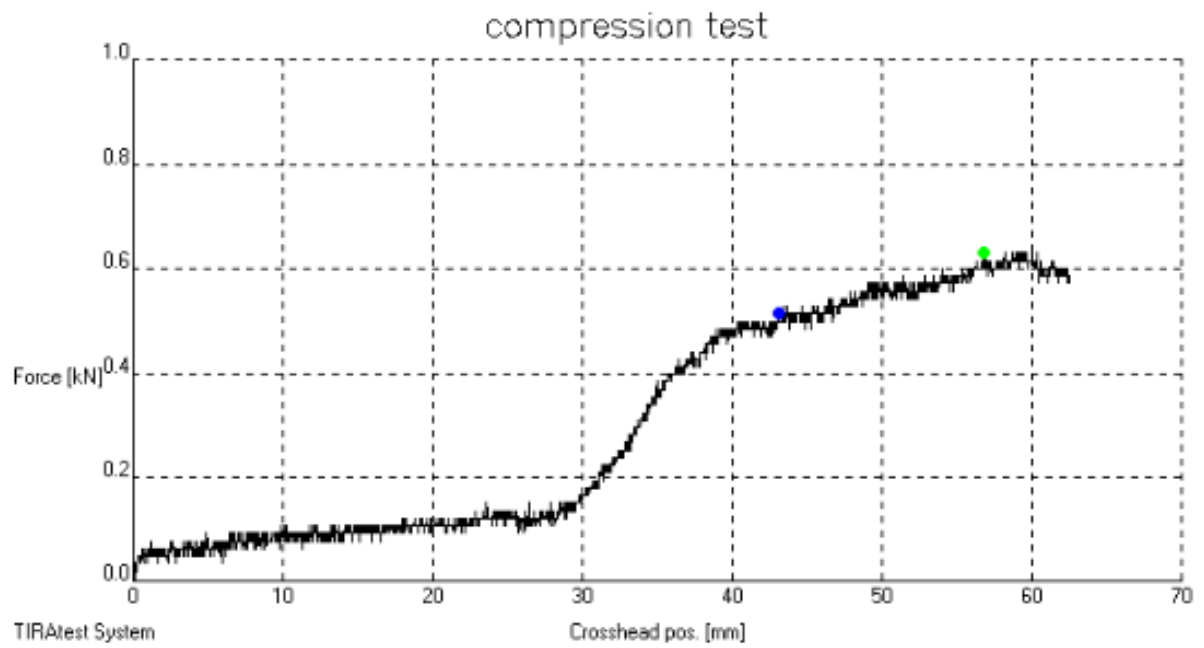


$F_m = 250 \text{ N}$

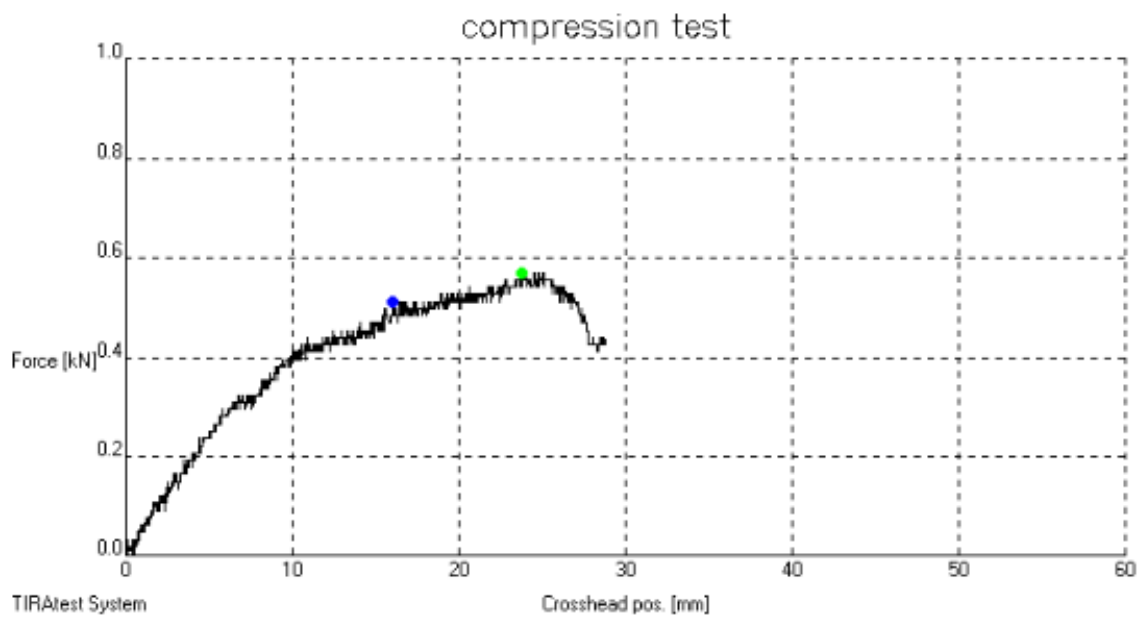
d)

**Slika 46. Grafički prikaz mjerenja sile protiskivanja olovne sačme kroz cijev puške**

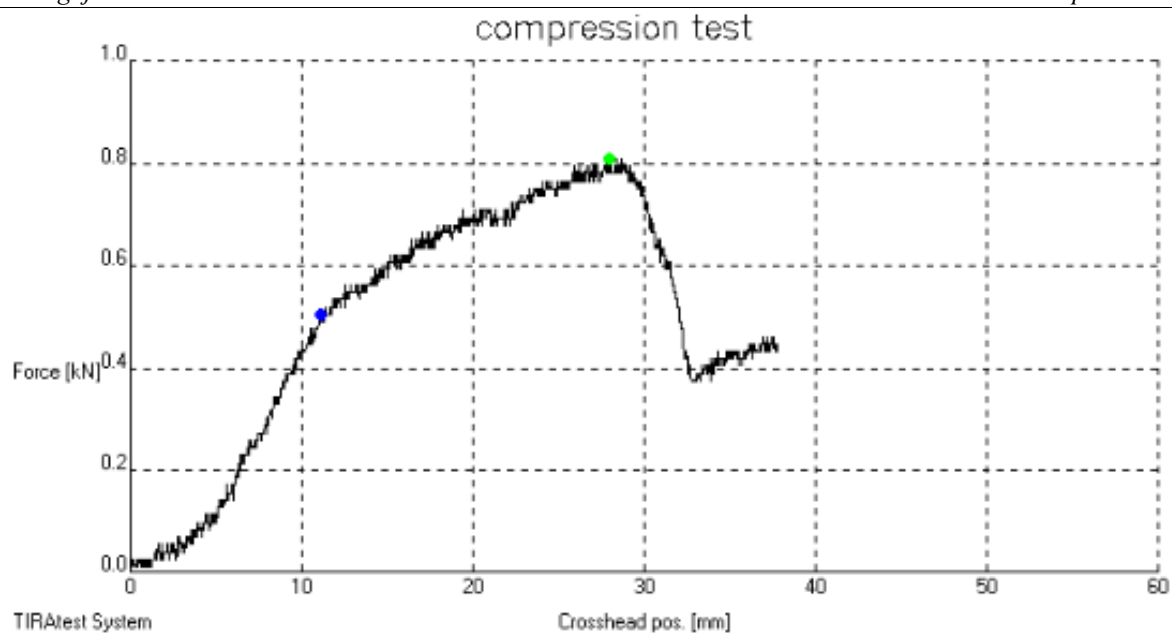


 $F_m = 630 \text{ N}$ 

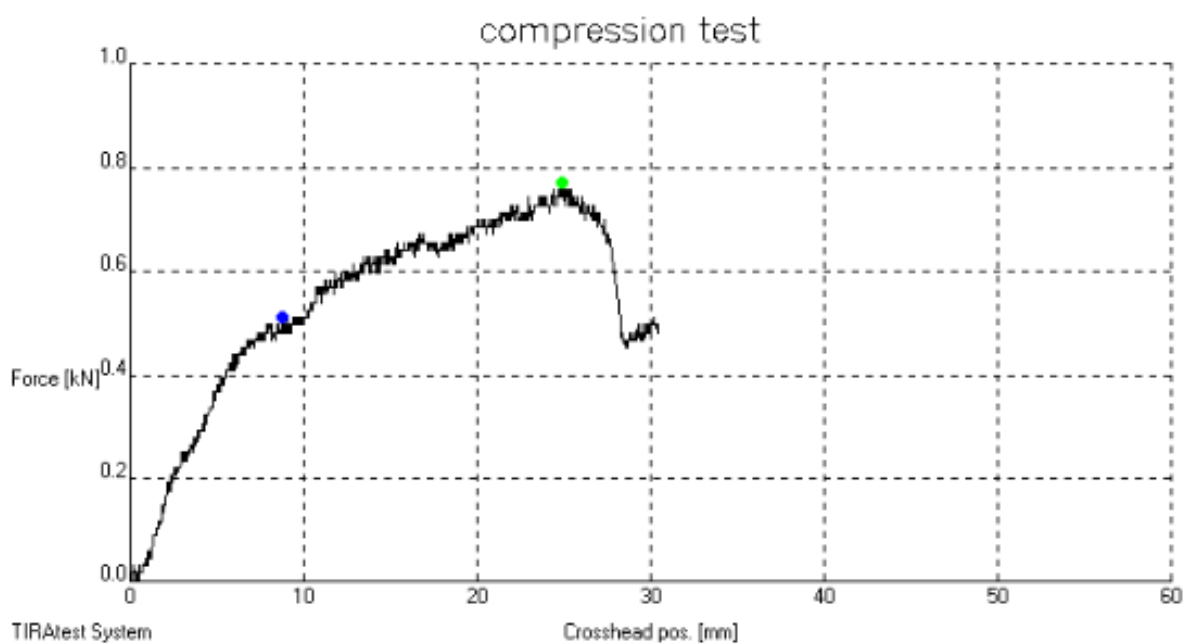
a)

 $F_m = 570 \text{ N}$ 

b)

 $F_m = 810 \text{ N}$ 

c)

 $F_m = 770 \text{ N}$ 

d)

Slika 47. Grafički prikaz mjerenja sile protiskivanja čelične sačme kroz cijev puške

Razlike u dobivenim maksimalnim vrijednosti potisne sile mogu se objasniti preko sile pritezanja. Naime, različite sile pritezanja utječu na trenje između površina u kontaktu, što posljedično mijenja silu potrebnu za pomicanje uzorka.

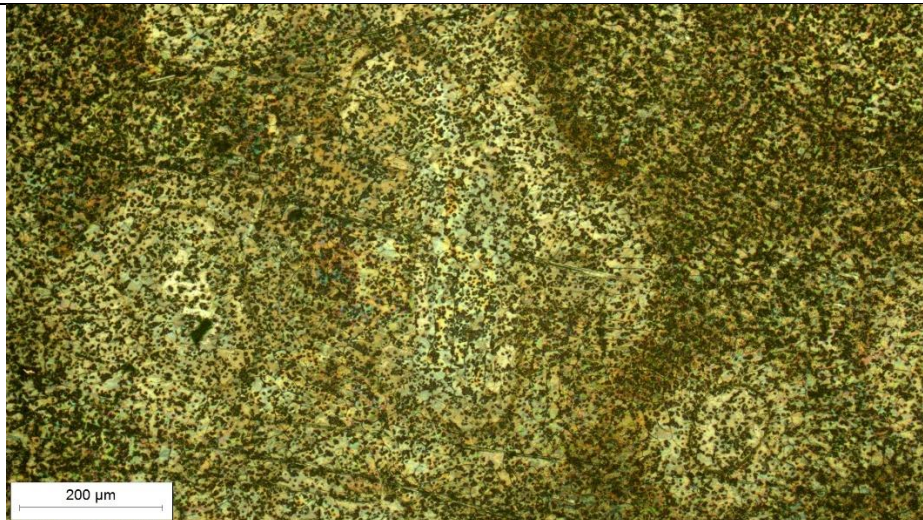
Razlike u materijalima također mogu doprinijeti odstupanjima. Olovo je mekši materijal u usporedbi s čelikom, pa bi nejednako pritezanje moglo uzrokovati veću deformaciju i time utjecati na rezultate mjerenja. S druge strane, čelik, kao tvrdi materijal, može pružiti veći otpor, ali će varijabilnost u pritezanju maticom također značajnije utjecati na rezultate.

## 8.2. Analiza mikrostrukture

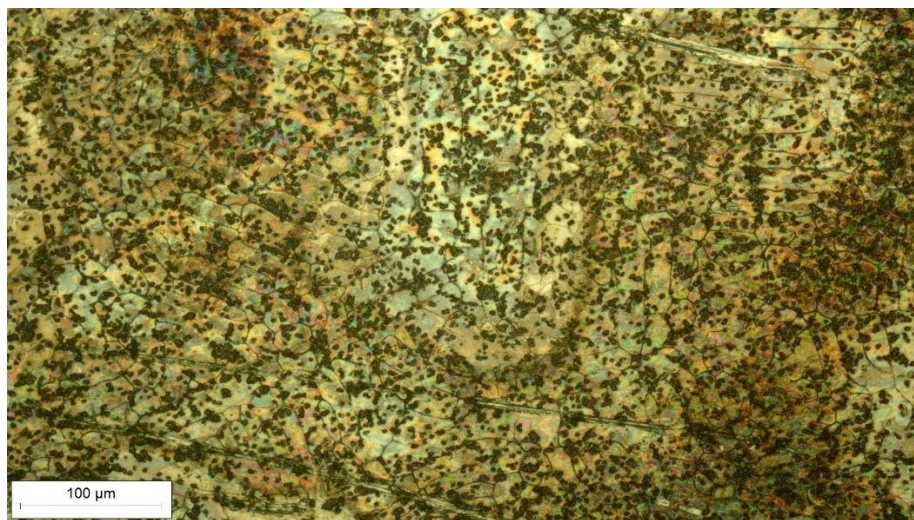
Za analiziranje mikrostrukture u ovome radu korišten je svjetlosni mikroskop te su korištena povećanja od 50x, 100x, 200x, 500x i 1000x.



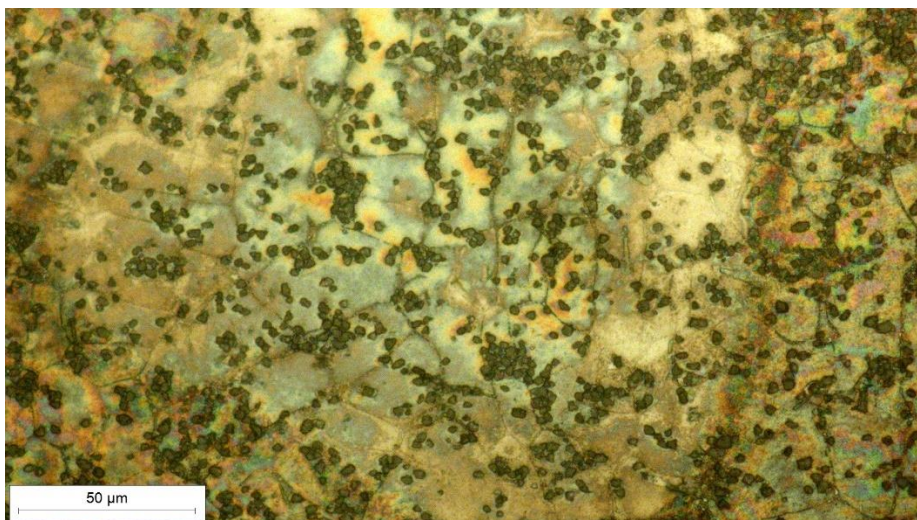
**Slika 48.** Mikrostruktura olovne sačme pri povećanju od 50x



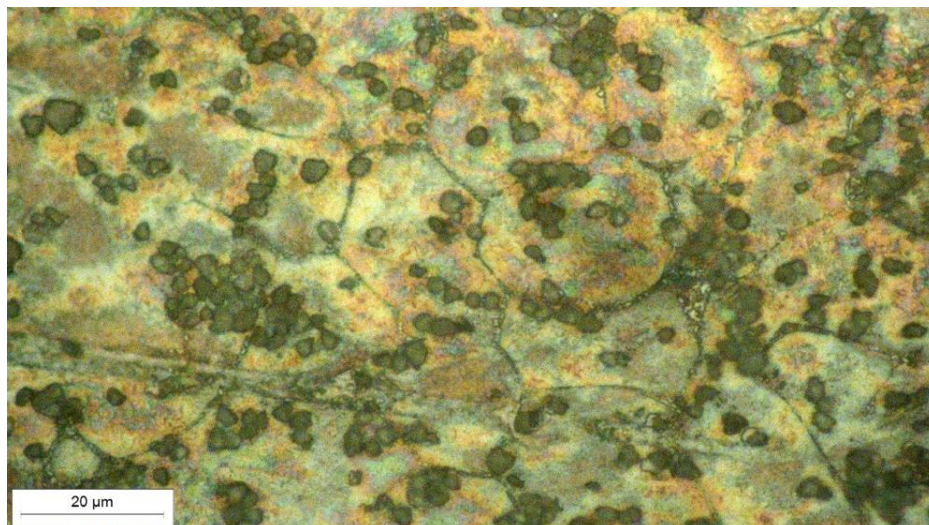
**Slika 49.** Mikrostruktura olovne sačme pri povećanju od 100x



**Slika 50.** Mikrostruktura olovne sačme pri povećanju od 200x



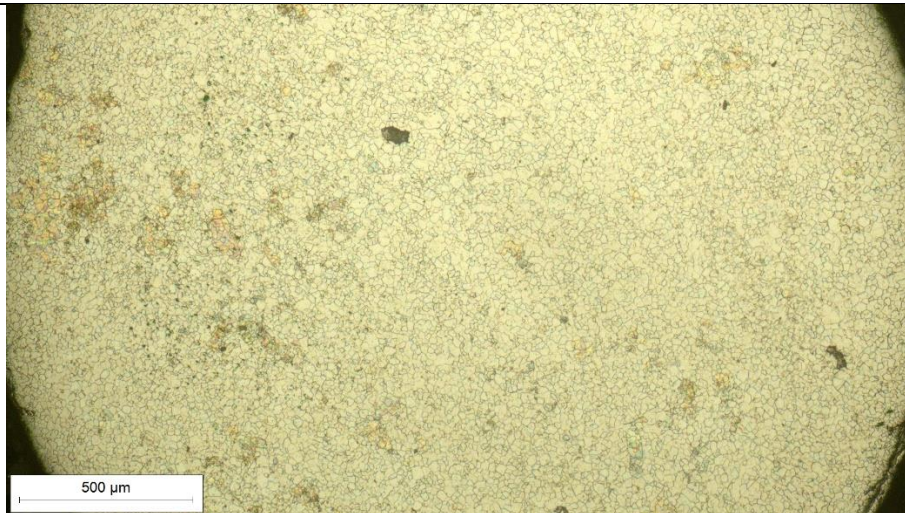
**Slika 51.** Mikrostruktura olovne sačme pri povećanju od 500x



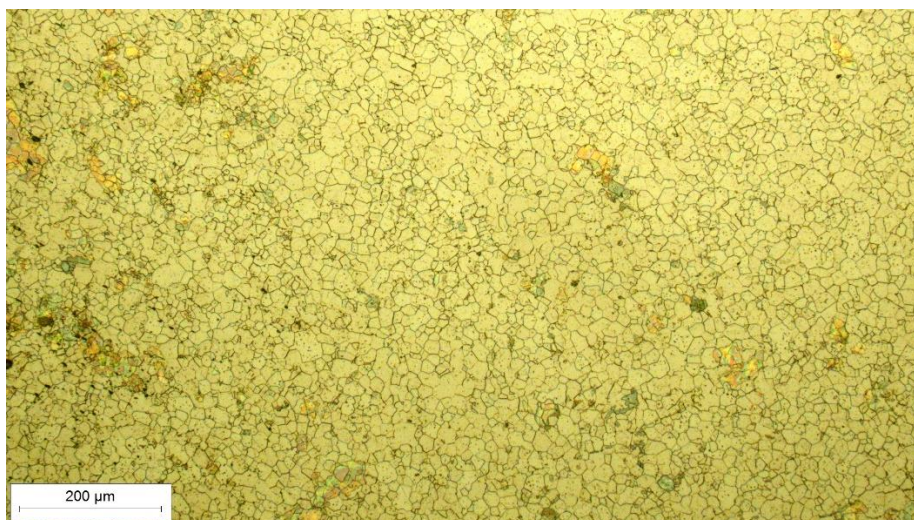
**Slika 52. Mikrostruktura olovne sačme pri povećanju od 1000x**

Na slikama od 48. - 52. prikazana je mikrostruktura olovne sačme pri povećanjima od 50x, 100x, 200x, 500x i 1000x. Iz slika se može primijetiti da su granice zrna vidljive, ali nisu u potpunosti jasno definirane. Također, vidljiva su tamnija crna područja za koja ne možemo sa sigurnošću odrediti što predstavljaju. Postoji nekoliko mogućnosti za interpretaciju ovih tamnijih područja.

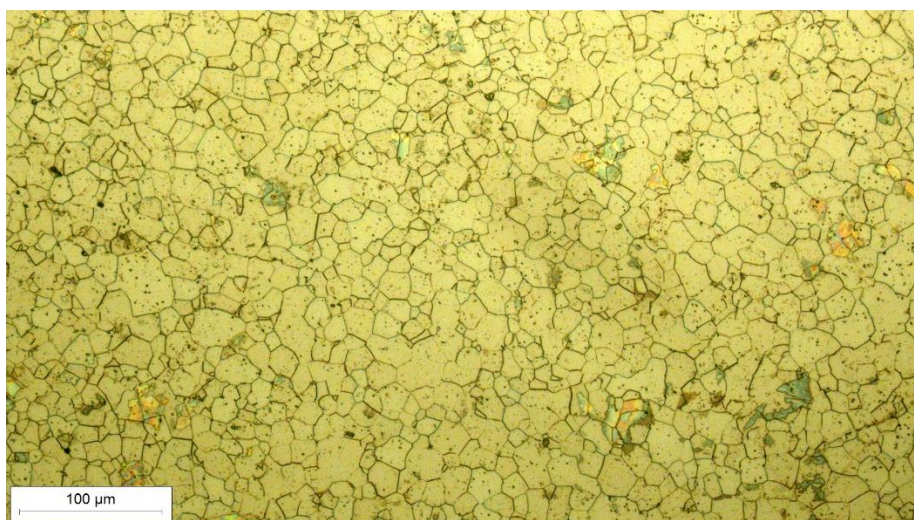
Jedna od mogućnosti je da su tamnija područja nakupine antimona. Antimon se često koristi kao legirni element s olovom jer poboljšava tvrdoću i otpornost na povišene temperature. Antimon se lako miješa s olovom i može formirati faze koje su vidljive kao tamnija područja unutar mikrostrukture. Ove nakupine antimona mogu se manifestirati kao male, tamne točke unutar granica zrna olova.



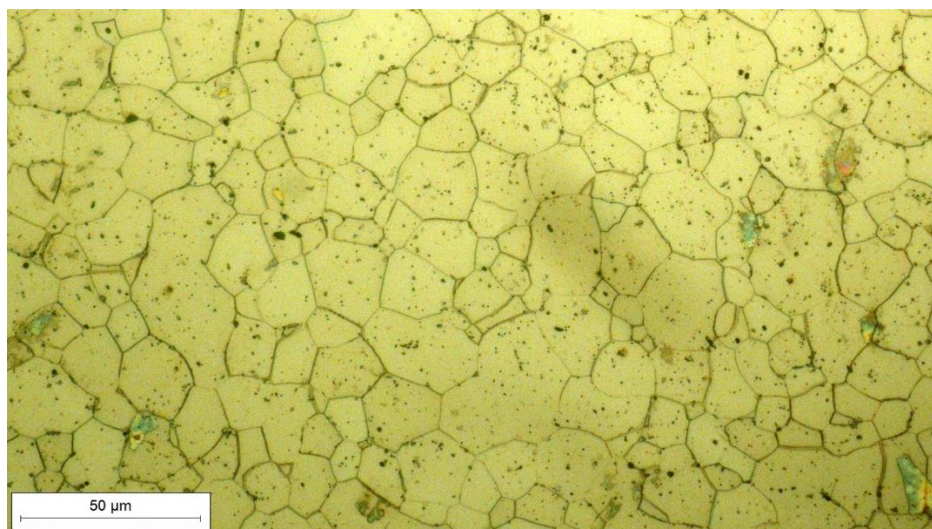
**Slika 53. Mikrostruktura čelične sačme pri povećanju od 50x**



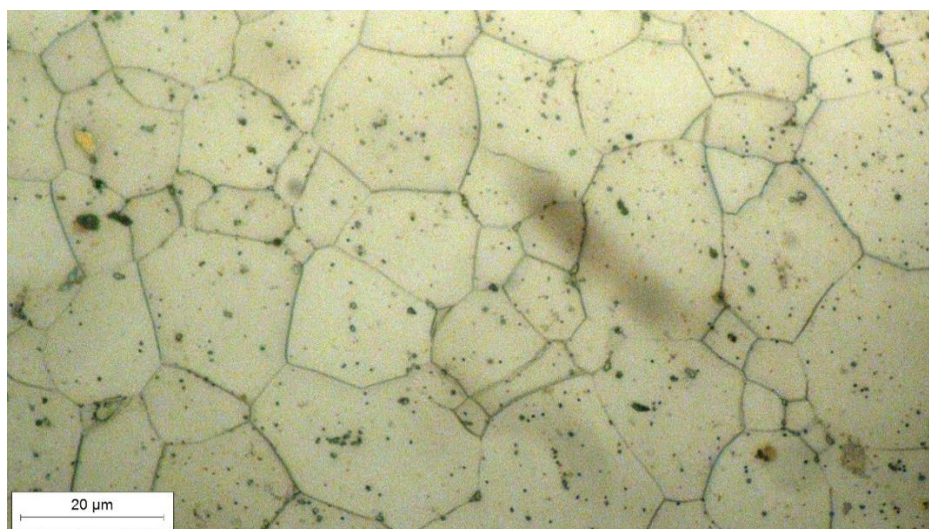
**Slika 54. Mikrostruktura čelične sačme pri povećanju od 100x**



**Slika 55. Mikrostruktura čelične sačme pri povećanju od 200x**



**Slika 56. Mikrostruktura čelične sačme pri povećanju od 500x**



**Slika 57. Mikrostruktura čelične sačme pri povećanju od 1000x**

Slika 57. pokazuje jasne, dobro definirane granice zrna. Zrna su pretežno poligonalnog oblika. Veličina zrna je ujednačena, što sugerira da je materijal podvrgnut toplinskoj obradi s ciljem ujednačenja veličine zrna. Mikrostruktura je jednofazna što se može protumačiti da je materijal od kojeg je načinjena ispitivana sačma od feritnog čelika. Također su vidljive sitne tamne točkice raspršene kroz zrna i na granicama zrna. Takve točkice su vjerojatno nemetalna uključivanja, poput oksida ili sulfida, koja su uobičajena u čeliku čija raspodjela i veličina mogu utjecati na mehanička svojstva.

## 9. ZAKLJUČAK

Cilj ovog istraživanja bio je usporediti karakteristike neizostavne olovne sačme, koja se koristila u lovu još od davnina sve do prošle godine kada je zbog svojeg negativnog utjecaja na životinje, ljude i okoliš, zabranjena, s njezinom alternativnom zamjenom, a to je čelična sačma. U eksperimentalnom dijelu provedena su ispitivanja sile potrebne za guranje olovne i čelične sačme kroz cijev puške, analiza mikrostrukture i mjerenje tvrdoće.

Rezultati mjerenja tvrdoće potvrđuju da čelik ima veću tvrdoću u usporedbi s olovom. Ova karakteristika čelika znači da je manje podložan deformacijama u usporedbi s olovom, što je vidljivo iz eksperimentalnih rezultata. Upravo, zbog svoje veće tvrdoće, čelik može znatno oštetiti cijevi pušaka, posebice onih starijih modela koje su konstruirane za upotrebu olovne sačme. Sile potrebne za potiskivanje čelične sačme kroz cijev puške znatno su veće u usporedbi s olovom. Zbog toga su potrebna jača barutna punjenja kako bi se postigle iste performanse kao s olovnom sačmom. Unatoč tome, za isti promjer zrna, olovo će zbog svoje veće gustoće prilikom pucanja imati veći domet i kinetičku energiju.

S obzirom na štetne učinke olova i tehničke izazove s čeličnom sačmom, istraživanje alternativa poput bizmuta, volframa i njihovih legura otvara prostor za njihovu primjenu. Iako su ovi materijali često skuplji od olova i čelika, nude značajne prednosti u kontekstu performansi, sigurnosti i zaštite okoliša.

Bizmut je jedan od potencijalnih zamjenskih materijala zbog svoje visoke gustoće i relativno niske toksičnosti u usporedbi s olovom. To omogućuje zrcima bizmuta da zadrže visoku kinetičku energiju prilikom ispaljivanja, čineći ih efikasnom alternativom u lovu. Volfram, poznat je po svojoj izuzetnoj tvrdoći i gustoći, uz dodatnu prednost trajnosti i otpornosti na trošenje. Legure bizmuta i volframa dodatno poboljšavaju svojstva ovih materijala, prilagođavajući ih specifičnim potrebama kao što su balistička učinkovitost, ekološka prihvatljivost i dugotrajnost cijevi puške.

Uvođenje alternativnih materijala poput bizmuta, volframa i njihovih legura u široku upotrebu zahtijeva suradnju između znanstvenika, industrije i zakonodavaca kako bi se osigurala sigurnost, učinkovitost i održivost njihove primjene. Ovaj pristup može promicati razvoj ekološki prihvatljivijih metoda lova smanjujući negativne učinke na okoliš i zdravlje ljudi, što je ključno za održavanje ravnoteže između tradicije, tehnologije i zaštite prirode.



**LITERATURA**

- [1] The points, preforms, and point fragments from Apollo 11 Rock Shelter included in the study, ResearchGate. 2018 , [https://www.researchgate.net/figure/The-points-preforms-and-point-fragments-from-Apollo-11-Rock-Shelter-included-in-the\\_fig2\\_327610718](https://www.researchgate.net/figure/The-points-preforms-and-point-fragments-from-Apollo-11-Rock-Shelter-included-in-the_fig2_327610718) , Pristupljeno 1. lipnja 2024
- [2] Davis N. Life in the Metal Ages Travelling Across Time. 2020 Oct 9 <https://travellingacrosstime.com/2020/10/09/life-in-the-metal-ages/>, Pristupljeno 1. lipnja 2024
- [3] Marković, N. (2006.): Lovačko oružje i municija. U: Lovstvo. Marković, N. (ur.) Lovački savez Crne Gore, IVPE – Cetinje, stranice (203. – 260.), <https://pdfcoffee.com/lovacko-oruzje-i-municija-2-pdf-free.html> , Pristupljeno 1. lipnja 2024
- [4] Tomorad M., Lov i ribolov u starom Egiptu, 2009. <https://core.ac.uk/reader/197612640> , Pristupljeno 1. lipnja 2024
- [5] Stojadinović R., Lovačko oružje: nekad i danas, 2021., Pristupljeno 1. lipnja 2024
- [6] Petersen's Hunting. Bridging the gap, Petersen's Hunting; 2023, <https://www.petersenshunting.com/editorial/bridging-the-gap/492066> pristupljeno 1. lipnja 2024
- [7] Vojaški muzej: puška kremenjača, <https://www.vojaskimuzej.si/zbirke/orozjaList.aspx?item=1&exp=44> Pristupljeno 2. lipnja 2024.
- [8] The US Springfield 1873 .45/70 Trapdoor rifle, <https://blog.gritssports.com/the-us-springfield-1873-4570-trapdoor-rifle/> , Pristupljeno 2. lipnja 2024
- [9] Narodne novine. Pravilnik o izmjenama i dopunama Pravilnika o lovostaju, Narodne novine.nn.hr. 2019, [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2019\\_04\\_37\\_779.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2019_04_37_779.html) , Pristupljeno 3. lipnja 2024
- [10] Petersen's Hunting. Top 15 Hunting Shotguns of the Last 50 Years . 2022, <https://www.petersenshunting.com/editorial/top-15-hunting-shotguns-50-years/389819>, Pristupljeno 3. lipnja 2024.
- [11] Sačmarice s horizontalnim rasporedom cijevi, <https://bezotdyx.ru/hr/ohotniche-oruzhie/guns-with-a-vertical-arrangement-of-trunks-hunting-rifles/>, Pristupljeno 4. lipnja 2024

- [12] LOVAC.info portal - Blaser F3 bokerica – optimizirana za najbolje rezultate gađanja, <https://www.lovac.info/lovacko-oruzje-optika-lov/lovacko-oruzje-za-lov/3611-blaser-f3-bokerica-optimizirana-za-najbolje-rezultate-gadanja.html> , Pristupljeno 4. lipnja 2024.
- [13] Sabatti Adler cal. 12/76 , oruzje.net., <https://oruzje.net/oglas/sabatti-adler-cal-1276>, Pristupljeno 4. lipnja 2024.
- [14] Jakelić, I.Z. (2001.): Lovačko oružje, Zagreb: Jakelić izdavaštvo, 2001., 320 str, Pristupljeno 4. lipnja 2024.
- [15] Lovačko oružje i municija, Univerzitet Crne Gore, [https://www.ucg.ac.me/skladiste/blog\\_43075/objava\\_69615/fajlovi/7%20%20Lovacko%20oruzje%20i%20municija.pdf](https://www.ucg.ac.me/skladiste/blog_43075/objava_69615/fajlovi/7%20%20Lovacko%20oruzje%20i%20municija.pdf) , Pristupljeno 7. lipnja 2024.
- [16] Vruće valjanje. Hrvatska enciklopedija., 2013-2024 <https://www.enciklopedija.hr/clanak/valjanje>, Pristupljeno 4. lipnja 2024
- [17] LD Kamenjarka Kukuljanovo – Škrlevo, LS Primorsko – goranske županije; podjela lovačkog oružja prema postupku djelovanja, [http://www.ld-kamenjarka-kukuljanovo.hr/ch2\\_action.html](http://www.ld-kamenjarka-kukuljanovo.hr/ch2_action.html), Pristupljeno 8. lipnja 2024.
- [18] "Firearm Explodes." Otago Daily Times. <https://www.odt.co.nz/news/dunedin/firearm-explodes>., Pristupljeno 11. lipnja 2024.
- [19] Dragosavljević D. Gustina posipa sačme zavisi od čoka, Jaćimović d.o.o.; 2023 Sep 12 <https://jacimovic.com/2023/09/12/gustina-posipa-sacme-zavisi-od-coka/>, Pristupljeno 11. lipnja 2024.
- [20] Kako provjeriti tačnost sačmarice 12 kalibra. Provjera i nišanje lovačke puške, kiddyclub.ru.,<https://kiddyclub.ru/bs/kak-proverit-kuchnost-ruzhya-12-kalibra-proverka-i-pristrelka/> , Pristupljeno 11. lipnja 2024.
- [21] Oružje Online. <https://oruzjeonline.com/2021/11/29/kundak/>. Pristupljeno 12. lipnja 2024.
- [22] Hermann Historica. Lot 489: A Fine Pair of Percussion Dueling Pistols by Nock, London, [https://www.hermann-historica-archiv.de/auktion/hhm61.pl?f=NR\\_LOT&c=489&t=temartic\\_S\\_GB&db=kat61\\_s.txt](https://www.hermann-historica-archiv.de/auktion/hhm61.pl?f=NR_LOT&c=489&t=temartic_S_GB&db=kat61_s.txt), Pristupljeno 12. lipnja 2024.
- [23] McCulloch B. "Strong emotion" in Brittany village after Briton killed during hunt, www.connexionfrance.com. 2022, <https://www.connexionfrance.com/news/strong-emotion-in-brittany-village-after-briton-killed-during-hunt/181395>, Pristupljeno 15. lipnja. 2024.

- [24] Cross-section of a rifled barrel indicating the caliber of the weapon which is measured. ResearchGate , [https://www.researchgate.net/figure/Cross-section-of-a-rifled-barrel-indicating-the-caliber-of-the-weapon-which-is-measured\\_fig1\\_5759573](https://www.researchgate.net/figure/Cross-section-of-a-rifled-barrel-indicating-the-caliber-of-the-weapon-which-is-measured_fig1_5759573), Pristupljeno 15. lipnja 2024.
- [25] Lu Orlov kuk. <http://www.lu-orlovkuk.com/puske-risanice-117>. , Pristupljeno 15. lipnja 2024.
- [26] Cartridge Corner. <https://cartridge-corner.com/winch.htm>., Pristupljeno 18. lipnja 2024.
- [27] Shotgun World. <https://www.shotgunworld.com/threads/looking-for-load-data-on-piston-skeet-wads.201613/>., Pristupljeno 19. lipnja 2024.
- [28] Trusted Bullets. <https://trustedbullets.org/ammunition-types/birdshot-buckshot-and-slug-shotgun-ammunition/>., Pristupljeno 20. lipnja 2024.
- [29] Scribe Hound. <https://www.scribehound.com/shooting-talk/s/shooting-debates/what-are-the-alternatives-to-lead-shot>., Pristupljeno 20. lipnja 2024.
- [30] Target Barn. Lead Shot vs. Steel Shot. <https://www.targetbarn.com/broad-side/lead-shot-vs-steel-shot/>., Pristupljeno 21. lipnja 2024.
- [31] Project Upland. How Effective is Steel Shot? <https://projectupland.com/shotguns-and-shooting/how-effective-is-steel-shot/>., Pristupljeno 21. lipnja 2024
- [32] ASM International. Metals Handbook: Lead., Woodhead Publishing Limited, Cambridge England [Google Books](#)., Pristupljeno 26. lipnja 2024.
- [33] Environmental Benefits of Bismuth Shot for Hunting. <https://www.agescantungsten.com/environmental-benefits-bismuth-shot-hunting/>., Pristupljeno 22. lipnja 2024
- [34] Treezyn. [Is Tungsten Shot Worth the Cost?](#)., Pristupljeno 22. lipnja 2024.
- [35] European Commission. [New rules banning hunting birds with lead shot in wetlands take full effect.](#)., Pristupljeno 25. lipnja 2024
- [36] Europska unija. Regulation (EU) 2021/57 of the European Parliament and of the Council of 27 January 2021. Available from: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32021R0057&qid=1638834661825&from=en>., Pristupljeno 25. lipnja 2024
- [37] The Guardian. Ban on hunting birds with lead shot in EU wetlands hailed as huge milestone. <https://www.theguardian.com/environment/2023/feb/15/ban-on-hunting-birds-with-lead-shot-in-eu-wetlands-hailed-as-huge-milestone-aoe>., Pristupljeno 26. lipnja 2024

- [38] Zakon.hr. Zakon o provedbi Uredbe (EZ) br. 1907/2006 Europskog parlamenta i Vijeća EZ o registraciji, evaluaciji, autorizaciji i ograničavanju kemikalija. [https://www.zakon.hr/z/666/Zakon-o-provedbi-uredbe-%28EZ%29-br.-1907.2006-Europskog-parlamenta-i-Vije%C4%87a-EZ-o-registraciji%2C-evaluaciji%2C-autorizaciji-i-ograni%C4%8Davanju-kemikalije#google\\_vignette](https://www.zakon.hr/z/666/Zakon-o-provedbi-uredbe-%28EZ%29-br.-1907.2006-Europskog-parlamenta-i-Vije%C4%87a-EZ-o-registraciji%2C-evaluaciji%2C-autorizaciji-i-ograni%C4%8Davanju-kemikalije#google_vignette). Pristupljeno 26.lipnja
- [39] World Health Organization. Lead poisoning and health. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/lead-poisoning-and-health>., Pristupljeno 26.lipnja 2024.
- [40] BIOM. Lead ammunition finally banned from wetlands across the EU. 2023, <https://www.biom.hr/en/lead-ammunition-finally-banned-from-wetlands-across-the-eu/>, Pristupljeno 26. lipnja 2024.
- [41] Iorianpayne. Lead ammunition used by hunters has us all in its sights , Research Outreach. 2023 <https://researchoutreach.org/articles/lead-ammunition-hunters-all-sights/>, Pristupljeno 27. lipnja 2024.
- [42] Scribd. Tvrdoća po Vickersu. <https://www.scribd.com/document/689722163/Tvrdo%C4%87a-Po-Vickersu>., Pristupljeno 26. lipnja 2024.
- [43] MMJ22203-Vickers Hardness Test Module. Studocu. Studocu; 2023. <https://www.studocu.com/my/document/universiti-malaysia-perlis/mechatronics-engineering/mmj22203-vickers-hardness-test-module/76914677> , Pristupljeno 26. lipnja 2024.