

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу

Војна академија Универзитета одбране у Београду



Назив студијског програма: Војноиндустријско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Наоружање

Предмет: Унутрашња балистика

Број индекса: 534/2016

Александра Д. Нешовановић

**Утицај балистичких испитивања у процесу
производње на квалитет сферичних барута за
лаборацију стрељачке муниције**

-Дипломски рад-

Комисија за преглед и одбрану:

1.

Датум одбране: _____

2.

Оцена: _____

3.

Крагујевац, 2020.

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да на примеру сферичног барута, према фазама технолошког поступка, опише балистичка испитивања у процесу производње. Кандидат треба да опише технолошке фазе у процесу производње и редослед технолошких поступака до добијања финалног производа. У току рада кандидат ће описати редослед балистичких испитивања узорак по фазама и описати поступке, опрему и редослед поступака примењених током испитивања. На основу испитиваних узорак, кандидат треба да прикаже квалитативне и квантитативне елементе испитиваних узорак, као и поређења са нормативним документима - Правилнику о контроли производа (ПКП) и стандардима (СОРС, МИЛ и сл.), који су прописани за ова средства.

У току рада кандидат треба да обради следећа питања:

- Да опише и класификује баруте намењене за погон пројектила, са тежиштем на сферичне баруте, који су предмет овог рада.
- Да опише технолошки поступак производње сферичних барута.
- На основу дефинисаних фаза технолошког поступка производње кандидат треба да опише поступке и опрему балистичких испитивања по фазама, као и поступке и опрему завршних балистичких испитивања.
- Након завршних балистичких испитивања, кандидат треба да прикаже анализу добијених резултата и поређење са нормативним документима.
- У закључку кандидат треба да прикаже до којих је резултата дошао и да смернице за будући рад.

Крагујевац, децембар 2020.

Ментор:

пп доцент др Небојша Христов, дипл. инж.

Садржај

Увод	5
1. Барути	6
1.1 Сферични барут	7
1.1.1 Нитроцелулоза	8
1.1.2 Нитроглицерин	9
1.1.3 Дифениламин	10
1.1.4 Централит	11
1.1.5 Дибутилфталат	12
1.1.6 Графит	12
1.1.7 Калијум нитрат	12
2. Технолошки поступак производње барута	14
2.1 Припрема лака	14
2.2 Узрњавање, обликовање и дехидратација	15
2.3 Извлачење растварача – упаравање	15
2.4 Испирање и мокро сејање	16
2.5 Превлачење, топлотна обрада	16
2.6 Ваљање	17
2.7 Сушење и полирање	17
3. Метак 5.56x45 mm	18
3.1 Аутоматска пушка M16A2	19
3.2 Аутоматска пушка M21A	21
4. Балистичка испитивања сферичног барута СБ 511	22
4.1 Резултати и анализа топлотне обраде	24
4.2 Резултати и анализа пробних Web-ова	26
4.3 Резултати и анализа балистичких испитивања прве полирнице и мешане просејане полирнице	28
4.4 Балистички пријем серије	30
5. Закључак	31
6. Литература	32

Резиме:

У оквиру овог рада извршена је класификација барута, са тежиштем на сферичне баруте који су намењени за погон пројектила.

Такође представљен је процес производње сферичког барута у фабрици МБ „Наменска“ – АД у Лучанима, као и резултати балистичких испитивања.

Извршена балистичка испитивања су у калибру 5.56 x 45 mm са зрном SS109 (M855, M03).

Кључне речи:

Барут, сферични барут, нитоцелулоза, брзина зрна, максимални притисак.

Summary:

Within this science work, the classification of gunpowders was done, emphasis on spherical gunpowders which are intended for the projectile propulsion.

It is also presented the production process of spherical gunpowders in MB “Namenska” – AD Lucani manufactory, so as the results of ballistic research.

Ballistic research was based on caliber 5.56 x 45 mm, with SS109 grain (M855, M03).

Key words:

Gunpowder, spherical gunpowder, nitrocellulose, grain velocity, maximum pressure.

Увод

Барут је супстанца која врло добро сагорева уз ослобађање гасова који служе за покретање пројектила у ватреном оружју, што се односи и на црни барут и на бездимни барут [1].

Барут је пронађен у Кини и сматра се једним од четири велика открића древне Кине. Арапи који су имали трговачке односе са Кином, донели су крајем 13. века рецептуру састава и поступак производње црног барута и први га употребили за избацивање пројектила на већу удаљеност [1].

Састав црног барута који су Арапи користили је:

- 74% шалитре,
- 11% сумпора и
- 15 % дрвеног угља.

У Европи се проналазак црног барута приписује Bertholdo Schwartz de Fribourgu.

Све до Наполеонових ратова црни барут је имао облик финог праха, за све врсте наоружања. Затим су почеле да се користе две димензије барутног зрна: 0.6 – 1.4 mm за пуњење пушака и 1.4 – 2.5 mm за пуњење топова [1].

У 19. веку нагли технолошки развој довео је до стварања лабораторија, института и фабрика у којима се проналазе, испитују и производе најновија средства.

Године 1871. у Аустрији је Volckmann патентирао поступак производње барута названог „collodine“ који има мању детонацију, а већу енергију и погонску снагу, где га је при пуњењу пушке било потребно употребити дупло мање од количине црног барута, а да се добије већи домет [1].

Примена нитроцелулозног барута почиње од 1884. године, када је Paula Vieille у Француској желатинисао нитроцелулозу мешавином етра и етанола (C_2H_5OH) и тако добијено барутно тесто екструдирао у траке и нити [1].

1. Барути

Барути су експлозивне материје код којих се процес хемијског разлагања врши термичком проводљивошћу, где је брзина сагоревања релативно умерена (од неколико милиметара до неколико десетина центиметара у секунди). Разлике у брзини сагоревања постижу се мењањем геометријског облика, димензија или хемијског састава барута [1].

Баруте можемо поделити на две врсте:

- Композитне (механичке смеше) и
- Колоидне (хомогена једињења).

Композитни барути настају мешањем кристалних једињења богатих кисеоником, гориве материје и везива органског порекла [1].

У ову врсту барута спадају:

- Црни барут и
- Композитни ракетни барути.

Црни барут је механичка смеша калијум – нитрата (обичне шалите 75%), дрвеног угља (15%) и сумпора (10%). Угаљ служи као гориво, шалитра при разлагању даје кисеоник који је неопходан за горење угља, а сумпор обезбеђује лаку запаљивост и служи као везивно средство при изради. Овакав процентуални састав је најповољнији, јер обезбеђује потпуно сагоревање угља [1].

Колоидни барути настају желатинизацијом молекула нитроцелулозе под дејством органског растварача. Хомогени барути се деле на: једнобазне, двобазне и тробазне. *Једнобазни барути* израђени су од нитроцелулозе или мешавине високонитрисане и нисконитрисане целулозе. Употребљавају се као барутна пуњења код стрелачке, малокалибарске и артиљеријске муниције [1].

Двобазни барути су израђени од нитроцелулозе и течног органског нитрата (најчешће нитроглицерина). Врсте двобазних барута су балисти, топовски (топли и хладни) и сферични барути.

Тробазни барути садрже: нитроцелулозу, нитроглицерин и нитрогванидин. Употребљавају се за барутна пуњења артиљеријских оруђа великог домета.

Савремени колоидни барути се састоје од следећих компонената: нитроцелулозе, растварача, стабилизатора, пластификатора, флефматизатора, средстава за смањење температуре сагоревања, средстава против пламена и блеска на устима цеви и графита. Нитроцелулоза је обавезна компонента, као и растварач, а остале компоненте могу, и не морају бити у саставу барута, што зависи од врсте барута [1].

Барутна зрна се најчешће раде у облику плочице, цилиндра, цилиндра са уздужним каналом (цевчице), куглице или цилиндра са седам или више удужних равномерно распоређених канала [1].

Сагоревање барута може бити:

- 1) Дегресивно,
- 2) Неутрално и
- 3) Прогресивно.

Основни захтев који произвођач барута мора да испуни је: да се са што мањим барутним пуњењем постигне што већа почетна брзина пројектила [1].

1.1 Сферични барути

Године 1930. Dr Fridrich Olsen је патентирао поступак произвође сферичног барутра, чија је производња почела 1940. године у фирми „ Western Cartridge“ – USA. Током Другог светског рата сферични барути нису имали велику примену, због непотпуне и неразвијене технологије прозводње. По завршетку рата ови барути су нашли примену, првенствено у спортској, а касније и за муницију малог калибра [1].

Састав сферичних барута:

- | | |
|--------------------------------------|-----------|
| - Нитроцелулоза са 13,10 – 13,20 % N | око 82% |
| - Нитроглицерин | око 12% |
| - Дифениламин | око 1% |
| - Централит или дибутилфталат | око 4% |
| - Графит | око 0,2% |
| - Калцијумкарбонат | око 0,3%. |

Основне сировине сферичних барута су: нитроцелулоза, нитроглицерин, дифениламин, етилацетат.

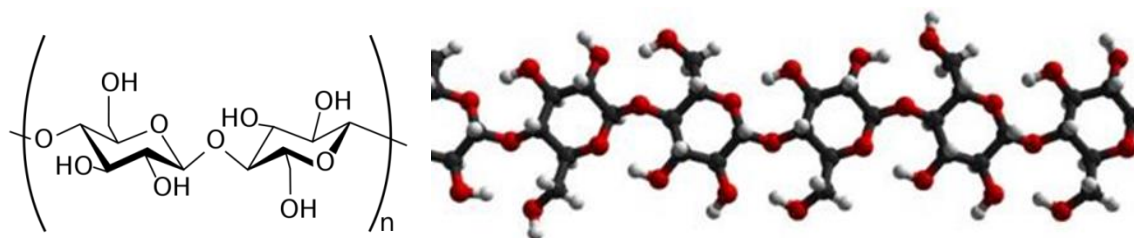
1.1.1 Нитроцелулоза

Нитроцелулоза је нитритани естар, који се добија нитрирањем целулозе у смеси сумпорне и азотне киселине уз додатак воде и користи се за израду хомогених експлозивних материја.

Најчешће се користи памучна целулоза тзв. линтерс. Линтерс садржи преко 90% целулозе. У ратним условима се као сировина користила дрвна целулоза, која је мање стабилна од памучне [1].

Хемијска формула целулозе је:





Слика 1: Структурна формула молекула целулозе [9]

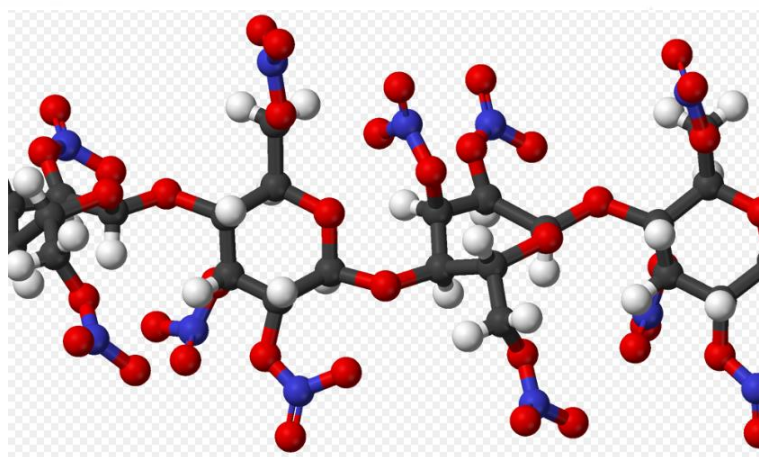
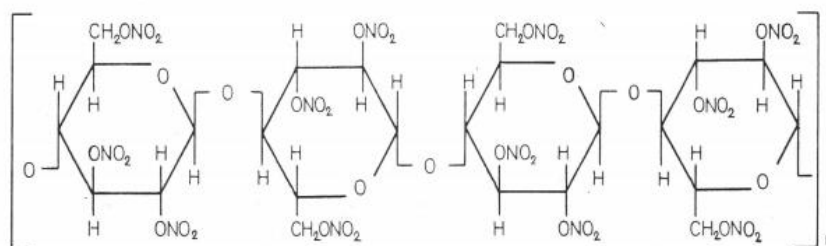
Приликом нитрације целулозе групе (ОН) замењују се групама (ONO₂). Ако се изврши х таквих смена, хемијска формула нитроцелулозе ће бити:

$$[\text{C}_6\text{H}_7\text{O}_2(\text{OH})_{3-x}(\text{ONO}_2)_x]_n \quad (1.2)$$

где су:

х- степен супституције

п- степен полимеризације.



Слика 2: Структурна формула молекула нитроцелулозе[1]

У зависности од степена нитрације, разликују се две врсте нитроцелулозе:

- 1) Високонитрисана (НЦ-1) са 12,9 до 13,5 % азота и
- 2) Нисконитрисана (НЦ-2) са 11,8 до 12,5 % азота.

Физичке особине нитроцелулозе су [1]:

1. Тачка топљења 890°K (617°C)
2. Специфична тежина зависи од врсте употребљене течности и њеног продирања у структуру нитроцелулозе.
 - Специфична тежина мерена у различитим течностима на 20°C износи:
 Парафинско уље $1,680\text{ g/cm}^3$
 Бензен $1,636\text{ g/cm}^3$
 Циклохексан $1,644\text{ g/cm}^3$
 Етанол $1,696\text{ g/cm}^3$.
 - Специфична тежина одређена у воденој суспензији зависно од садржаја азота износи:
 Нитроцелулоза са 11,52% азота $1,654\text{ g/cm}^3$
 Нитроцелулоза са 11,90% азота $1,659\text{ g/cm}^3$
 Нитроцелулоза са 12,20% азота $1,674\text{ g/cm}^3$
 Нитроцелулоза са 13,10% азота $1,682\text{ g/cm}^3$.
3. Растворљивост зависи од садржаја азота и услова нитрисања.
 Ацетон ($\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$) и естри сирћетне киселине растварају нитроцелулозу која садржи више од 10,5% азота.
 Метилалкохол (CH_3OH) и етилалкохол ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) растварају нитроцелулозу где се садржај азота креће у интервалу између 10,5 и 11,3 %.
4. Вискозитет
 Однос између вискозитета нитроцелулозе и старости дрвне целулозе дат је у табели 1.1. Вискозитет је изражен временом у секундама за које је контролни елемент савладао поринуће одређеног пута под дејством сопствене тежине.

Табела 1.1: Утицај старости дрвне целулозе на вискозитет нитроцелулозе [1]

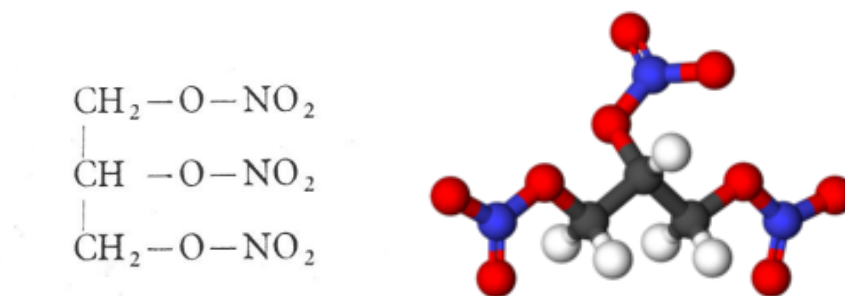
Старост дрвне целулозе у годинама	% азота нитроцелулозе	Вискозитет у секундама
26-46	10,5	128
24-26	10,9	201
8-24	10,9	248
Испод 8	10,8	697

1.1.2 Нитроглицерин

Нитроглицерин је нитрирани естар, који је осетљив на спољне импулсе и има повољне енергетске и детонационе особине. На стандардним условима налази се у течном стању [1].

Хемијска формула нитроглицерина је:





Слика 3: Структурна формула молекула нитроглицерина [1]

Нитроглицерин се користи као компонента експлозивних материја [1]:

- За производњу двобазних и тробазних барута и ракетних горива,
- Енергетска компонента привредних експлозива (тзв. динамит) и
- Сензибилизатор у експлозивним смешама.

Велики садржај нитроглицерина у хомогеним експлозивним материјама имају изражену склоност ка спонтаном хемијском разлагању нитроцелулозе.

Физичке особине нитроглицерина су [1]:

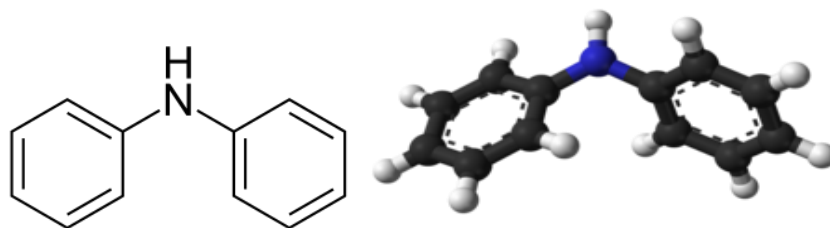
1. Уљаста течност, светложуте боје и карактеристичног мириса
2. Веома мало растворан у води и 1000 ml воде садржи нитроглицерина:
На 15°C 1,60 g
На 20°C 1,80 g
На 50°C 2,50 g.
3. Потпуно се раствара на собној температури у метилалкохолу, етилацетату, бензену, сирћетној киселини...
4. Специфична тежина нитроглицерина:
На 4°C 1,614 g/cm³
На 15°C 1,600 g/cm³
На 25°C 1,591 g/cm³.
5. Вискозитет износи:
На 5,1°C 103,3 cP
На 20°C 35,2 cP
На 50°C 8,75 cP.

1.1.3 Дифениламин

Дифениламин су ситни кристали беле до бледожуте боје, карактеристичног мириса са тачком очвршћавања између 52° - 54°C. Садржај пепла испод 0.05 %. Дифениламин има потенцијал од -2660 cal/g [1].

Карактеристике [1]:

- Тачка кључања 301.5°C;
- Тачка топљења >52.6°C;
- Тачка паљења 153°C;
- Густина 1.16 kg/L
- Растворљивост 0.05 g/L (вода)
- Температура паљења 630°C.



Слика 4: Структурна формула молекула дифениламина [10]

Хемијска формула дифениламина је:

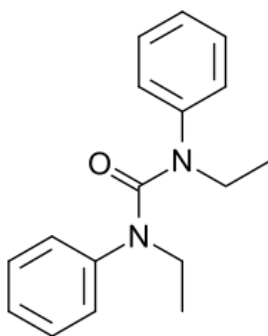


1.1.4 Централит

Централит су ситни бели кристали са тачком очвршћавања 71° - 72.5°C, саржај пепела износ највише 0.05%. Централит има потенцијал од -2440 cal/g.

Одличан је желатинизатор нитроцелулозе. Користи се као флегматизатор у зависности од типа барута [1].

Хемијска формула централита је:



Слика 5: Структурна формула молекула централита [11]

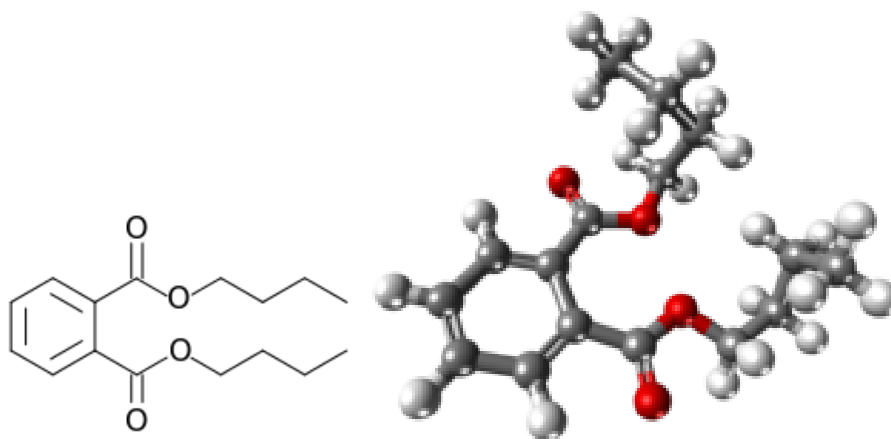
1.1.5 Дибудилфталат

Представља уљасту течност, са карактеристичним мирисом без боје, мало испарљиву и неотровну. Одличан је пластификатор нитроцелулозе, као и флегматизатор [1].

Карактеристике:

- | | |
|----------------------|--------------|
| - Тачка кључања | 340°C; |
| - Тачка мржњења | -35°C; |
| - Дозвољена киселост | <0.02%; |
| - Потенцијал | -2275 cal/g. |

Хемијска формула дибудилфталата је:



Слика 6: Структурна формула молекула дибутилфталата [12]

1.1.6 Графит

Графит је сува и чврста материја, веома fino самлевена са траговима сулфата и силиката, без механичких средстава. Користи се за полирање барутног зрна [1].

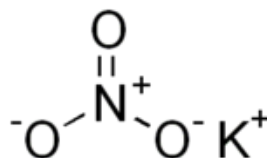
1.1.7 Калијум нитрат

Калијум нитрат познат је и као шалитра. Калијум нитрат је безбојна или бела кристална супституција, која се од давнина користи за прављење барута [2].

Карактеристике:

- Раствара се у води на 20°C (31.6 g/100 cm³) и 100°C (246 g/100 cm³)
- Температура топљења 334°C
- Температура кључања 400°C.

Хемијска формула калијум нитрата је:



Слика 7: Структурна формула молекула калијум нитрата [2].

2. Технолошки поступак производње сферичних барута

Прва фаза у производњи сферичног барута је трансформација нитроцелулозног сировог материјала у густ сфероид одговарајуће величине.

Састоји се од четири редоследне операције:

- 1) Припрема лака,
- 2) Механичко узрњавање лака како би се формирало зрно жељене величине,
- 3) Обликовање зрна и дехидратација (контрола густине - специфичне тежине и гравиметријске густине) и
- 4) Извлачење растварача.

2.1 Припрема лака

Лак се припрема мешањем нитроцелулозе (одређених хемијских карактеристика), растварача (етилацетата; $C_4H_8O_2$) и стабилизатора (дифениламина; $C_{12}H_{11}N$). Сферични барути се могу добити и из старих, нестабилних, неупотребљивих барута. Тако произведени сферични барути могу имати задовољавајућу хемијску стабилност. Стари барути се међу у млиновима који су за то предвиђени и тако самлевени се користе за припрему лака.

Лак је вискозна, псеудопластична маса која се може транспортовати помоћу пумпи.

Вискозност лака зависи од садржаја воде у нитроцелулози, температуре и односа растварача и нитроцелулозе.

Припрема лака се врши у затвореним судовима са адекватним мешањем, како би се формирала фина маса.

Растварач који се користи за припрему лака је етилацетат .

Карактеристике етилацетата:

- тачка кључања	77,15°C,
- специфична тежина	0,902 g/cm ³
- растворљивост у води на 20°C	8,7 %
- константна температура кључања са водом	70,4°C.

Након завршене припреме лака и пре узрњавања морају се знати два битна параметра, а то су температура и вискозитет.

Вискозитет се одређује пропуштањем металне шипке, одређене тежине и попречног пресека у суд који је предвиђен за то и мерењем времена које је потребно да шипка потоне у лак до одређене дубине. За измерену температуру лака врши се корекција измерене вредности вискозитета (у секундама).

2.2 Узрњавање, обликовање и дехидратација

Загрејани лак се пумпа кроз филтере како би се уклонили евентуални контаминатори у чврстом стању, а затим даље цевоводом до плоче грејнера (гранулатора) који садржи много малих рупица у комору у коју улази ликвор (транспорта течност соли - Na_2SO_4 и колоида - коштано туткало) помешан са мањом количином етилацетата.

Влакна лака која се екструдирају кроз грејнерску плочу се секу ножевима који се брзо окрећу. Како би се спречило међусобно лепљење плочица лака ликвор садржи површински активну материју – колоид (коштано туткало). Поред колоида ликвор садржи и со (Na_2SO_4) која смањује садржај воде у барутном зрну.

Ликвор се пре уласка у грејнер меша са мањом количином етилацетата, који има значајну улогу при обликовању зрна. Обликовање и дехидратација се дешава у цеви за обликовање (шејперу) дугој око 500 m, кроз коју протиче суспензија ликвор – етилацетат – лак при контролисаној брзини. Обликовање зрна постиже се турбуленцијом коју ствара суспензија која протиче кроз цев под притиском. Како би се за најкраће време завршило обликовање и дехидратација операција се обавља при повећаним температурама.

2.3 Извлачење растварача - упаравање

Завршна фаза у редоследу формирања зрна је извлачење растварача, када се формира облик и густина зрна, што се постиже у низу упаривача (брзи, први, други и трећи) при чему сваки од ових упаривача има температуру већу од претходног. Битно је да разлика температура шејпера и брзог упаривача не сме бити већа од 2°C (да не би дошло до формирања наборане покорице на површини зрна). Суспензија по изласку из шејпера цевоводом преко бленде под притиском улази у брзи упаривач. Времена задржавања суспензије у низу упаривача су временски програмирана.

Највећи део растварача из зрна се извуче у брзом упаривачу, у коме је температура најнижа. Проценат растварача у зрну по изласку из упаривача био би око 20%. У наредим упаривачима су више температуре, а проценти заосталог растварача по изласку из сваког од њих би били мањи.

Када се заврши извлачење растварача суспензија се усмерава на испирач где се одваја ликвор. Мања количина се дренажа, док се остатак хлади и враћа у суд где се повремено освежава неком количином свежег ликвора и као такав се поново користи за узрњавање.

2.4 Испирање и мокро сејање

Барутна зрна се испирају како би се уклонила заостала со (Na_2SO_4) и колоид. У воденој суспензији зрна се усмеравају кроз низ сита (три сејалице) за просејавање тј. одвајање фракција да би се добила фракција уске дистрибуције величине зрна.

2.5 Превлачење, топлотна обрада

Сферични барути се припремају на бази шаржи у операцију превлачења. Ова операција се одиграва у две фазе.

Прва фаза је додавање нитроглицерина да би се подесио ниво енергије, а друга фаза је додавање и лоцирање флегматизатора да би се подесио и контролисао балистички ниво барута који се производи.

Једнобазни барут из складишног суда препумпава се у суд за превлачење. Када цела количина барута буде пребачена у суд и након мешања суспензије барут – вода (у задатом односу) узма се базни узорак и шаље на анализу у лабораторију и балистички полигон.

Суспензија воде и барута се загрева на прописаној температури. У суспензију се додаје површински активна материја ОТ-60 која спречава слепљивање барутних зрна током процеса превлачења. По достизању прописане температуре почиње се са увођењем раствора нитроглицерин/етилацетат. Улога етилацетата у раствору је да смањи осетљивост нитроглицерина и да убрза његово продирање у појединачна барутна зрна.

По завршетку едукције (увођења), температура у суду за превлачење се подиже на температуру прописану технолошким поступком, како би се још ефикасније омогућило продирање нитроглицерина у барутно зрно. По достизању ове температуре наступа следећа фаза, фаза импрегнације. Све време трајања импрегнација температура у суду се одржава константном. Када се нитроглицерин нађе наодређеном месту у барутном зрну, суд за превлачење се стави под вакуум и подиже се температура до тачке на којој се врши извлачење растварача до унапред утврђеног нивоа.

Вакуум дестилација је један од веома битних момената, јер од процента заосталог растварача зависи увођење флегматизатора. Захтевани ниво растварача у зрну након вакуум дестилације зависи од нитроцелулозе, типа барута и прописује га балистичар.

По завршетку вакуум дестилације наступа подешавање температуре у суду за превлачење до температуре топлотне обраде.

Раствор флегматизатора (централит ($C_{17}H_{20}N_2O$) или дибудилфталат ($C_{16}H_{22}O_4$)) се припрема у посебном суду, на температури флегматизације барута, одакле се цевоводом транспортује у суд за превлачење.

Додавање флегматизатора траје око два сата, на трећем сату топлотне обраде сматра се да се сва количина флегматизатора уведена у суд налази на површини зрна. Од трећег сата топлотне обраде се узимају часовни узорци за балистички погон. Узорци се суше, лаборишу и балистички испитују (прати се облик балистичке криве у цеви калибра који одговара датом типу барута).

2.6 Ваљање

Операција превлачења је модификовала ниво енергије барута. Брзина сагоревања барута се даље модификује смањењем дебљине барутног зрна и повећањем његове површине.

Ово се постиже тако што се барутна зрна пропусте кроз два ваљка глатке површине који се okreћу. Ваљањем облик зрна се трансформише од сфериодног у спљоштено зрно са једном осом смањеном по дужини и друге две повећане.

Пре почетка ваљања целих партија, прво се врши ваљање пробних Web-ова. Web представља дебљину зрна, која се добија када се зрно сферног облика пропусти између два ваљка. Потом се врши њихово балистичко испитивање и на основу добијених резултата дат је налог за ваљање целих партија.

Изваљани барут се складишти под водом до његовог сушења.

2.7 Сушење и полирање

Сушење и полирање су операције која се изводи на сувој линији.

Прва операције је одводњавање барута и додавање графита. Барут се потом суши у флуидизованој сушници. Температура сушења је прописана технолошким поступком.

Након сушења врши се површинска обрада – превлачење суспензијом соли (калијум нитратом; KNO_3) и полирање графитом.

3. Метак 5.56 x 45 мм

За лабораторију муниције 5.56x45 mm са зрном SS109 (M855) и M03 (Војска Србије) намењен је сферични барут SB 511. Муниција је развијена од стране САД 1980. Године и од тада је у служби НАТО снага. Изведен је од .223 Remingtona, али није идентичан [3].

Користи се за аутоматску пушку M16, као и велики број аутоматских пушака, пушкомитраљеза и митраљеза [3].



Слика 8: Метак 5.56x45 mm са зрном SS109 [3]



Military-Today.com

Слика 9: Аутоматска пушка M16 [13]

У табели 3.1 су приказане карактеристике муниције 5.56x45 mm.

Табела 3.1: Карактеристике муниције 5.56x45 mm [3]

Дужина метка	57.40 mm
Дужина чауре	44.70 mm
Запремина чауре	1.85 cm ³
Пречник зрна	5.7 mm
Дужина зрна	23.10 mm
Материјал чауре	месинг

У табели 3.2 приказани су физичко – хемијски параметри СБ 511.

Табела 3.2: Физичко – хемијски параметри СБ 511

Нитоглицерин [%]	8-12
Флегматизатор [%]	3-6
Топлотни потенцијал [kJ/kg]	Max 3900
WEB [mm]	0.3 – 0.4
Гравиметријска густина [g/dm ³]	Max 1025
Фракција[in/1000]	25/17

3.1 Аутоматска пушка M16A2 (5.56x45mm)

M16A2 је јуришна пушка која користи калибар 5.56 x 45 mm. Била је стандардно службено оружје оружаних снага САД-а. Пуни се из магацина од 30 метака са брзином паљбе до 857 met/min и почетном брзином зрна од 920 m/s. Има ефективни домет до 450 m [4].

Главна слабост M16A2 је недостатак потпуног аутоматског режима, јер је ограничена на пребацивање између полуаутоматске и рафалне паљбе [4].



Слика 10: Аутоматска пушка M16A2[14]

Пушка M16A2 је побољшана верзија пушке M16A1.

Побољшања укључују [5]:

- Тежа и тврђа цев од цеви M16A1;
- Редизајнирани штитник руке, који користи две идентичне половине, са округлом контуром, који је чвршћи и пружа бољи захват приликом држања пушке;
- Нова дршка и рукохват направљени су од чвршће пластике која се убризгава у инјекције и пружа много већу отпорност на ломљење;
- Побољшани задњи нишан који се лако може прилагодити ветру и домету;
- Модификовани дизајн горњег пријемника који одбија избачене чауре и искључује могућност да избачени чауре ударе у лице леворуког стрелца;
- Уређај за контролу рафала, који ограничава број испалених метака у аутоматском режиму на три по повлачењу окидача, што повећава тачност, истовремено смањујући потрошњу муниције;
- Компензатор трзаја, дизајниран да смањи откривање положаја и побољша контролу и тачност у рафалној и брзој полуаутоматској ватри;
- Тежа цев са кораком увијања 1:7 за испаливање муниције НАТО стандардног типа SS 109 (M855) која се такође пуца из аутоматског оружја одреда M249 (SAW). Ово додатно повећава ефективни домет и пробој пушке. M16A2 ће такође пуцати на старију муницију M193 дизајнирану са кораком 1:12.

У следећој табели приказане су карактеристике пушке M16A2.

Табела 3.3: Карактеристике аутоматске пушке M16A2 [5]

Калибар	5.56x45 mm NATO M855
Дужина	1006 mm
Дужина цеви	508 mm
Тежина: празна/пун оквир	3.77 kg/ 4.47 kg
Капацитет оквира	20-30 метака
Почетна брзина пројектила	920 m/s
Максимални ефикасни домет	550 m
Брзина гађања	857 мет/мин

3.2 Аутоматска пушка M21A

Аутоматска пушка 5.56 mm M21A служи за уништавање незаштићених и балистичким прслуком заштићених циљева на даљинама до 500 m [6].

Најбољи резултати приликом гађања на живу силу постижу се при гађању у јединачној палби до 400 m, кратким рафалима до 300 m, а дугим рафалима до 200 m. Нисколетећи авиони, хеликоптери и падобранци успешно се гађају до 500 m [6].

На пушкама су уграђени механички предњи и задњи нишани са трицијумским цевчицама за нишањење дању и ноћу. Задњи нишан има две даљине: за 300 m и 500 m. Опционо се уграђују оптички и опто електронски ноћни нишани [6].



Слика 11: Аутоматска пушка M21A 5.56 mm [6]

При гађању користе се следеће врсте муниције калибра 5.56 mm [6]:

- Метак 5.56 mm са обичним зрном M03 и месинганом чауром (зрно типа SS 109 по НАТО стандарду);
- Метак 5.56 mm са пробојним зрном;
- Метак 5.56 mm са обележавајућим зрном.

У табели 3.5 приказане су тактичко – техничке карактеристике пушке M21A.

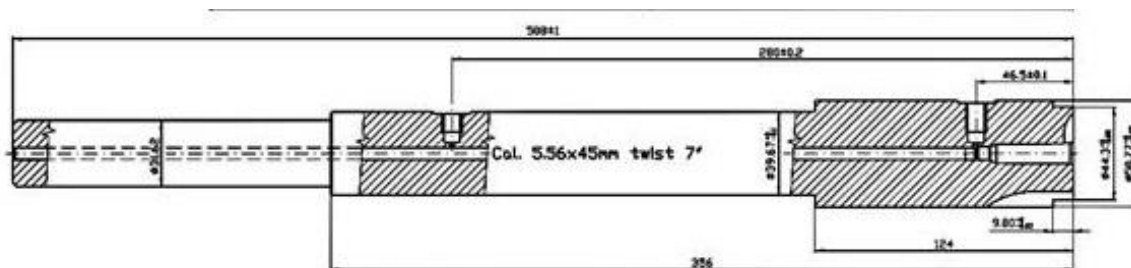
Табела 3.4: Тактичко – техничке карактеристике пушке M21A [6]

Калибар	5.56 x 45 mm
Маса оружја	3.85 kg
Капацитет оквира	30 метака
Дужина	925 m
Дужина цеви	460 m
Брзина гађања	560-680 мет/мин
Почетна брзина пројектила	914 m/s
Максимални ефикасни домет	500 m

4. Балистичка испитивања сферичног барута СБ 511

Балистичка својства барута СБ 511 испитују се на температурама $21\pm 2^{\circ}\text{C}$, $52\pm 2^{\circ}\text{C}$ и $-54\pm 3^{\circ}\text{C}$.

Опитна балистичка цев на којој се врши испитивање је дужине 508 mm .



Слика 12: Опитна балистичка цев за калибар 5.56x45mm [8]

Брзина зрна се мери помоћу оптичких баријера чије се мерено место налази на 23.77 m од уста цеви .

Максимални притисак се мери EPVAT системом, сондом Kistler KIAG 6215.



Слика 13: Сонда Kistler KIAG 6215 [7]

У табели 4.1 приказане су карактеристике сонде Kistler KIAG 6215.

Табела 4.1: Карактеристике сонде Kistler KIAG 6215 [7]

Опсег [bar]	0 – 6 000
Преоптерећење [bar]	6 600
Осетљивост [pC / bar]	1.4
Природна фреквенција [kHz]	>240
Осетљивост на убрзање [bar/g]	
Аксијално	<0.002
Попречно	<0.005
Отпорност на ударе [g]	
Аксијално	25 000
Попречно	10 000
Распон радне температуре [°C]	од -50 до 200
Капацитет [pF]	≈ 8
Тежина [g]	12

У следећој табели приказани су балистички параметри.

Табела 4.2: Балистички захтеви СБ 511

Барут	Муниција	Ознака зрна	Маса зрна[g]	~ ω [g]	Брзина [m/s]	Pmax[bar]	Стандард
SB 511	5.56x45mm	SS109 (M855) (M03)	4.0	1.71±0.01	920±6	3910	MIL-P-3984J

Приликом балистичких испитивања добијају се резултати:

- 1) Топлотне обраде;
- 2) Пробних Web-ова и
- 3) Балистичких испитивања прве полирнице (ПП1)

4.1 Резултати и анализа топлотне обраде

Циљ топлотне обраде је довести балистичку криву, тако да се добије закон сагоревања који одговара типу барута. То се постиже одговарајућим садржајем етилацетата (растварача) у барутном зрну, као и балистичким испитивањем часовних узорака топлотног третмана.

Балистичка испитивања врше се за сваки часовни узорак док се не постигне жељени облик криве.

У следећим табелама су приказани резултати балистичких испитивања у калибру 5.56x45 mm.

Табела 4.3: Барут: Референтни барут, SB 511, W=1.68g

R.b.	V_{23.77}[m/s]	Pm[bar]
Sr. Vred:	883.53	2687.6
Max:	885.35	2701.0
Min:	880.67	2664.1
Rv/Rp:	4.68	36.9
Std. Dev:	2.51	20.4

Табела 4.4: Барут: SB 511, 3h TO, W=1.68g

R.b.	V_{23.77} [m/s]	Pm[bar]
Sr. Vred:	897.27	2873.6
Max:	899.28	2909.2
Min:	894.06	2803.1
Rv/Rp:	5.22	106.1
Std.Dev:	2.81	61.1

Табела 4.5: Барут: SB 511, 4h TO, W=1.68g

R.b	V_{23.77} [m/s]	Pm [bar]
Sr. Vred:	868.18	2538.6
Max:	869.19	2549.3
Min:	866.68	2528.5
Rv/Rd:	1.51	20.8
Std. Dev:	0.87	10.4

Табела 4.6: Барут: SB 511, HU TO, W=1.68g

R.b.	V _{23.77} [m/s]	Pm [bar]
Sr. Vred:	852.41	2426.7
Max:	856.16	2508.3
Min:	848.54	2348.6
Rv/Rp	7.62	159.7
Std. Dev:	3.81	79.9

4.2 Резултати и анализа пробних Web-ова

Пре почетка ваљања целих партија, прво су ваљани пробни Web-ови, затим се врши балистичко испитивање и на основу добијених резултата је дат налог за ваљање целих партија.

У табели су приказани задати пробни Web-ови, као и пронађени мокри и суви Web-ови.

Табела 4.7: Пробни Web-ови

Пробни Web-ови		
Задат / мокар/сув Web	GD (гравиметријска густина) [g/dm ³]	MV (влага и испарљиве материје) [%]
0.335/ 0.326 / 0.356	977	0.98
0.355/ 0.350 / 0.377	972	1.08

Приликом балистичких испитивања пробних Web-ова посматра се у односу на еталон метак (5.56x45 mm).

Еталон метак се производи по посебној процедури која је описана и одговара стандарду одбране Републике Србије.

Еталон метак има утврђене балистичке карактеристике (притисак барутних гасова, притисак позајмице и брзину зрна).

За сваки од пробних Web-ова врше се мерења групом од прописаног броја метака.

Табела 4.8: Еталон 5.56x45 SS109

R.b.	V _{23.77} [m/s]	P _m [bar]	P _{2m} [bar]
Sr. Vred:	926.62	3579.5	1156.2
Max:	931.10	3634.5	1171.7
Min:	922.08	3511.4	1147.6
Rv/Rp:	9.02	123.1	24.1
Std.Dev:	2.42	46.2	9.8
Korekcija:	-12.62	-195.5	-13.2
Korigovano:	914.00	3384.00	1143.00

Као што видимо у табели појављује се поље корекција, коју уводим јер су вредности еталон метка за брзину, максимални притиска и притисак позајмице већи од референтних вредности прописаних за еталон метак.

У следећим табелама приказани су резултати балистичких испитивања за два изабрана пробна Web-а.

Табела 4.9: Барут: SB 511, web=0.335, W=1.70g

R.b	V _{23.77} [m/s]	Pm [bar]	P2m[bar]
Sr. Vred:	945.20	4198.9	1122.7
Max:	948.77	4319.7	1129.6
Min:	938.53	4117.2	1114.3
Rv/Rp:	10.24	202.5	15.3
Std. Dev:	4.26	81.7	6.0
Korekcija:	-12.62	-195.5	-13.2
Korigovano:	932.58	4003.4	1109.5

Табела 4.10: Барут: SB 511, web=0.355, W=1.73g

R.b	V _{23.77} [m/s]	Pm [bar]	P2m [bar]
Sr. Vred:	917.19	3653.7	1132.0
Max:	922.51	3762.4	1138.5
Min:	913.66	3569.9	1125.9
Rv/Rp:	8.85	192.5	12.6
Std. Dev:	3.71	71.3	4.9
Korekcija:	-12.62	-195.5	-13.2
Korigovano:	904.57	3458.2	1118.8

Коментар: На основу добијених Web-ова даје се налог за ваљање целе партије на Web 0.330–0.340 mm, за сушење MV= 1.0 – 1.10 % и за полирање суспензија A₁ са 0.25% KNO₃. Очекује се да ће барут изваљан на Web 0.330 – 0.340 mm бити за нијансу спорији од пробног Web-а 0.335 mm, односно да ће за исто пуњење и приближно исту влагу (1.0 – 1.10 %) зрно имати почетну брзину која одговара захтевима за овај барут (920 ± 6 m/s).

4.3 Резултати и анализа балистичких испитивања прве полирнице (ПП1) и мешане просејане полирнице (МПП)

Циљ балистичких испитивања прве полирнице (ПП1) је испитивање балистичких карактеристика барута и давање налога за полирање преостале количине барута.

При балистичком испитивању ПП1 добијене резултате посматрамо у односу на еталон.

Табела 4.11: Еталон (5.56 x 45 SS109)

R.b	V_{23.77} [m/s]	P_m [bar]	P_{2m} [bar]
Sr. Vred:	921.66	3629.2	1154.9
Korekcija:	-7.66	-245.2	-11.9
Korigovano:	914.0	3384.0	1143.0

У следећим табелама приказани су резултати за почетно пуњење W=1.70 g и корективно пуњење W=1.71 g.

Табела 4.12: Барут: SB 511, PP1, W=1.70 g

R.b	V_{23.77} [m/s]	P_m [bar]	P_{2m} [bar]
Sr. Vred:	918.09	3763.2	1122.8
Korekcija:	-7.66	-245.2	-11.9
Korigovano:	910.43	3518.0	1110.9

Табела 4.13: Барут: SB 511, PP1, W=1.71 g

R.b	V_{23.77} [m/s]	P_m [bar]	P_{2m} [bar]
Sr. Vred:	923.64	3828.4	1125.8
Korekcija:	-7.66	-245.2	-11.9
Korigovano:	915.98	3583.2	1113.9

Коментар: За прву полирницу где је почетно и очекивано пуњење W=1.70 g добја се брзина мања од захтеване, али кориговањем пуњења на W=1.71 g добија се брзина од 915.98 m/s, што је у захтеваним границама. На основу овог испитивања даје се налог за полирање преостале количине барута.

Полирница један (ПП1) је задовољила балистичке карактеристике са W=1.71 g.

По завршетку полирања следи мешање свих полирница од партије барута у МРР (машавина просејаних полирница).

Од МРР издваја се узорак барута за балистичко испитивање.

За почетно пуњење W=1.71 g и W=1.72 g резултати су приказани у табелама 4.15. и 4.16.

Табела 4.14: Еталон (5.56 x 45 SS109)

R.b	V_{23.77} [m/s]	Pm [bar]	P2m [bar]
Sr. Vred:	923.11	3604.0	1159.9
Korekcija:	-9.12	-220.0	-16.9
Korigovano:	914.0	3384.0	1143.0

Табела 4.15: Барут: SB 511, MPP 1-9, W=1.71g

R.b	V_{23.77} [m/s]	Pm [bar]	P2m [bar]
Sr. Vred:	921.59	3821.9	1122.0
Korekcija:	-9.12	-220.0	-16.9
Korigovano:	912.47	3601.9	1105.1

Табела 4.16: Барут: SB 511, MPP 1-9, W=1.72g

R.b	V_{23.77} [m/s]	Pm [bar]	P2m [bar]
Sr. Vred:	926.42	3452.0	1125.9
Korekcija:	-9.12	-220.0	-16.9
Korigovano:	917.3	3672.0	1109.0

Коментар: Овакав балистички узорак у потпуности одговара захтевима за барут намењен калибру 5.56 x 45 мм са зрном SS109 (M855, M03).

Од ове партије може се дати налог за израду серије барута која подразумева још један круг мешања, узорковање одређене количине барута из сваког DMS-а, формирање заједничког узорка и балистичка испитивања на нормалној (21° C/24h) и екстермним температурама (-54° C/6h и 52° C/4h).

4.4 Балистички пријем серије

За пуњење $W=1.72\text{g}$ добијају се следећи резултати у зависности од температуре на којој се врши балистичко испитивање.

Табела 4.17: Барут: SB 511, $W=1.72\text{g}$

$T[^\circ\text{C}]$	$V_{23.77} [\text{m/s}] (\text{Sd})$	$P_m [\text{bar}]$	$P_{2m} [\text{bar}]$	T_4
21° C	917.3 (3.93)	3641	1109	1.016
-54° C	873.5 (6.91)	3037	1089	1.064
52° C	930.5 (5.59)	3784	1125	1.001

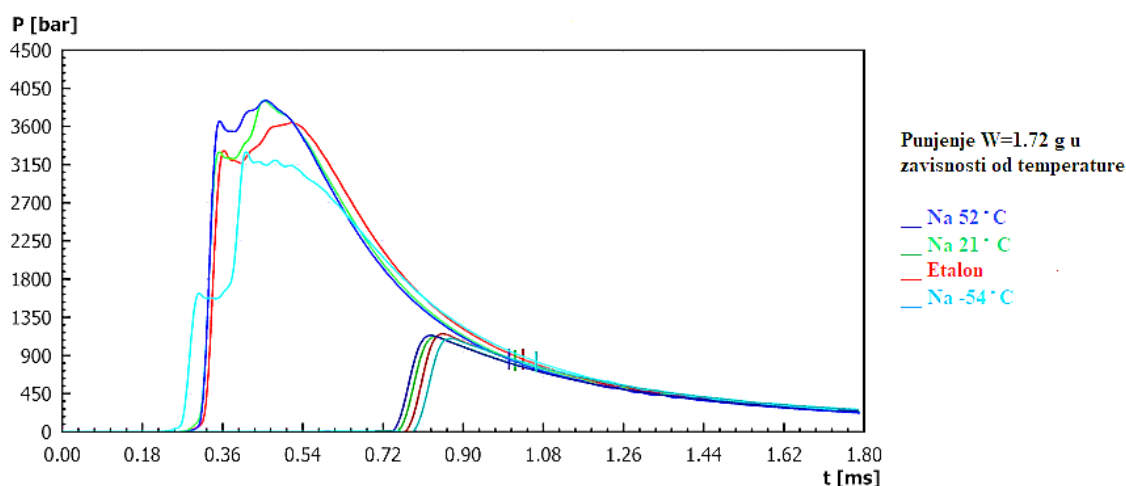


График 1: Упоредни график $P=P(t)$ за пуњење $W=1.72\text{g}$ у зависности од температуре на којој се вршено балистичко испитивање

Коментар: Серија је у потпуности задовољила балистичка испитивања и може се испоручити купцима.

Према стандарду за барут вредности брзине, максималног притиска и времена трајања испитивања треба да задовоље услове:

- На $+52^\circ\text{C}$ $\rightarrow \Delta P_m < 450 \text{ bar}$;
- На -54°C $\rightarrow \Delta V < 76 \text{ m/s}$;
- $t_4 < 2.5 \text{ ms}$.

5. Закључак

У овом раду разматран је процес производње сферичног барута у фабрици МБ „Наменска“ - АД у Лучанима по лиценци ОЛИН. Овај процес карактерише изузетно сложена технологија, а свака фаза производње праћена је балистичким испитивањем како би се дефинисали параметри за наредну фазу производње и зато су балистичка испитивања највећи део рада.

У првом делу рада описан је историјски развој барута, типови барута који постоје, са акцентом на сферични барут који се производи у фабрици МБ „Наменска“ - АД.

Затим, у другом делу рада приказан је детаљан технолошки поступак производње сферичног барута. Прва фаза је узрњавање да се добије куглица жељене величине, затим импрегнација нитроглицерина као друге енергетске компоненте, извлачење растварача тако да се омогући правилно увођење флегматизатора у процесу топлотне обраде. Након тога одводњавање, и ваљање барута како бисмо подесили одговарајућу брзину сагоревања барута. Финална операција је полирање барута солима како би се постигао одговарајући ефекат на устима цеви оруђа/оружја и подешавање влаге и испарљивих материја у баруту који такође утиче на брзину сагоревања барута. Мешањем полирница добијамо хомогену партију барута.

У трећем делу рада приказане су карактеристике метка калибра 5.56 x 45 mm са зрном SS109 (M855; M03) за који је намењен овај тип барута. Такође, дате су карактеристике америчке јуришне пушке M16A2 и српске M21 које користе ову муницију.

Након теоријских разматрања, у четвртом делу дата су сва балистичка испитивања почевши од топлотног третмана закључно са финалним испитивањем серије. Балистичка испитивања се изводе на опитној опреми која је такође описана у овом делу рада.

Посебно су наглашени закључци балистичара након балистичког испитивања сваке фазе у производњи сферичног барута, како би финални барут задовољио балистичке карактеристике прописане стандардом за овај калибар.

Из свега овога се види велики утицај балистичких испитивања на производњу сферичног барута. У овом концепту балистичар мора подједнако добро да познаје процес производње сферичног барута, као и унутрашње балистичке процесе и балистичку опрему како би донео правовремене и исправне одлуке везане за сваку фазу процеса производње барута.

6. Литература

- [1] Петар В. Максимовић, Технологија експлозивних материја, уџбеник, Београд 1972.
- [2] <https://sh.wikipedia.org/wiki/%C5%A0alitra> (приступљено 07. 12. 2020.)
- [3] https://sh.wikipedia.org/wiki/5.56%C3%9745mm_NATO (приступљено 27. 10. 2020.)
<https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B8%D1%84%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%BB%D0%B0%D0%BC%D0%B8%D0%BD> (приступљено 03. 12. 2020.)
- [4] <https://armedassault.fandom.com/wiki/M16A2> (приступљено 07. 12. 2020.)
- [5] <https://fas.org/man/dod-101/sys/land/m16.htm> (приступљено 04. 11. 2020.)
- [6] <http://www.vti.mod.gov.rs/index.php?view=actuality&type=reference&category=1&id=96> (приступљено 04. 11. 2020.)
- [7] <https://www.kistler.com/files/document/000-043e.pdf> (приступљено 02. 12. 2020.)
- [8] <http://www.prototypa.com/list-of-ballistic-test-barrels-1> (приступљено 11. 11. 2020.)
- [9] <https://bs.wikipedia.org/wiki/Celuloza> (приступљено 04. 12. 2020.)
- [10] <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B8%D1%84%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%BB%D0%B0%D0%BC%D0%B8%D0%BD> (приступљено 03. 12. 2020.)
- [11] <https://sh.wikipedia.org/wiki/Centralit> (приступљено 04. 12. 2020.)
- [12] https://sr.wikipedia.org/wiki/Dibutil_ftalat (приступљено 03. 12. 2020.)
- [13] <http://www.military-today.com/firearms/m16.htm> (приступљено 04. 11. 2020.)
- [14] <https://www.extremetronics.com/well-m16a2-spring-airsoft-rifle/> (приступљено 04. 11. 2020.)