

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу
Војна академија Универзитета одбране у Београду

Предраг Р. Пантовић

**Анализа кретања и дејства на циљу
модела панцирног пројектила 30 mm**

Дипломски рад

Крагујевац, 2015.

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу
Војна академија Универзитета одбране у Београду



Назив студијског програма: Војноиндустријско инжењерство
Ниво студија: Основне академске студије
Модул: Пројектили и упаљачи
Предмет: Спољна балистика
Број индекса: 513/2011

Предраг Р. Пантовић

Анализа кретања и дејства на циљу
модела панцирног пројектила 30 mm

Дипломски рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. проф. др Богдан Недић, дипл. инж. – председник
2. доц. др Александар Кари, дипл. инж. – члан
3. др Дамир Јерковић, дипл. инж. – ментор

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог дипломског рада кандидат треба да изврши анализу кретања и дејства на циљу модела панцирног пројектила калибра 30 милиметара. Модел пројектила конципирати на основу постојећих врста панцирних пројектила 30 mm за аутоматске топове. У раду је потребно извршити избор барутног пуњења и прорачун балистичких параметара за модел метка 30 mm. На основу предложеног модела тела панцирног пројектила извршити аеродинамичку предикцију пројектила, у циљу одређивања одговарајућих елемената путање одабраним моделом кретања. Прорачун параметара дејства на циљу модела панцирног пројектила извршити по одабраном полуемпиријском моделу у односу на декларисане карактеристике пенетрације сличних врста пројектила, односно расположива референтна експериментална испитивања. Анализу дејства на циљу модела панцирног пројектила извршити са прорачунским параметрима модела пенетрације у односу на декларисане карактеристике сличних врста панцирних пројектила и референтне услове дејства на препреку – циљ.

Препоручена литература:

- [1] Регодић, Д., Спољна балистика, Војна академија, Београд, 2006.
- [2] Танчић, Љ., Збирка задатака из унутрашње балистике, ВТА ВЈ, Београд, 1999.
- [3] Регодић, Д., Збирка решених задатака из спољне балистике, Војна академија, Београд, 2003.
- [4] Стаматовић, А., Конструисање пројектила, Ivexy, Београд, 1995.
- [5] Елек, П., Балистика на циљу, радни материјал, МФ, Београд, 2013.

Крагујевац, септембар 2015.

Ментор:
др Дамир Јерковић, дипл. инж.

Садржај

Резиме/Abstract	1
1. Увод	2
2. Модел кретања пројектила и дејства на циљу	3
2.1. Аутоматски топови калибра 30 mm.....	3
2.2. Фамилија муниције калибра 30 mm.....	4
2.2.1. Општи појмови и подела муниције	4
2.2.2. Панцирни пројектили	6
2.2.3. Муниција калибра 30 mm	7
2.3. Класична теорија унутрашње балистике	9
2.4. Карактеристике кретања пројектила	10
2.5. Пенетрација	14
2.5.1. Дефиниција проблема и значај проучавања пробијања	14
2.5.2. Врсте препрека и пенетратора	14
2.5.3. Типови пенетрационих процеса.....	16
2.5.4. Приступи проблему пенетрације	17
2.5.5. Основни појмови механике пенетрације	17
2.5.6. Биланс енергије при пробијању	19
2.5.7. Емпиријске релације	20
2.5.7.1. Формула <i>Jacob de Marre</i> –а	20
2.5.7.2. <i>SRI</i> формула	21
2.5.7.3. <i>BRL</i> формула.....	21
3. Прорачун кретања и анализа дејства пројектила на циљу	22
3.1. Анализа процеса сагоревања барутног пуњења приликом опаљења	22
3.1.1. Одређивање коефицијената облика.....	23
3.1.1.1. Програмско решење	27
3.2. Анализа кретања пројектила – СБ прорачун.....	29
3.2.1. Прорачун аеродинамичких коефицијената при симетричном опструјавању пројектила.....	29
3.2.2. Прорачун аеродинамичких коефицијената при несиметричном опструјавању пројектила.....	30
3.2.3. Прорачун елемената путање	32
3.3. Прорачун пенетрације	37
4. Закључак	45
Литература.....	46
Прилог 1	47
Прилог 2	48
Прилог 3	63
Прилог 4	67
Прилог 5	68

Abstract

Analysis of movement and effects on target of 30 mm armor piercing projectile has been done in this paper.

Family of a given caliber ammunition is presented, as well as assets in which the ammunition is used. Model of projectile is defined and based on data on existing types of armored projectile of the same caliber. The analysis of the combustion process of powder in concrete projectile has been done and the results obtained by calculation are compared with the experimental values. On the basis of the speed data and the geometry of the projectile the movement of projectile from the „muzzle“ of barrel to drop points has been analyzed.

Also, the penetration process of projectile is defined by using empirical models. After defining this process, penetration of steel plate of certain thickness and on the defined distances is done using armored projectile caliber 30 mm.

Key words: armor, projectile, powder, movement, penetration

Резиме

У овом раду је извршена анализа кретања и дејства на циљу панцирног пројектила калибра 30 mm.

Представљена је фамилија муниције датог калибра, као и средства код којих се ова муниција користи. Дефинисан је модел пројектила на основу података о постојећим врстама панцирних пројектила истог калибра. Извршена је анализа процеса сагоревања барутног пуњења код конкретног пројектила и упоређени су резултати добијени прорачуном са експерименталним вредностима. На основу података о брзини и геометрији пројектила анализирано је кретање пројектила од „уста“ цеви оруђа до падне тачке.

Такође је дефинисан процес пенетрације пројектила коришћењем емпиријских модела. Након дефинисања процеса извршен је прорачун пробојности челичних плоча одређених дебљина и на дефинисаним растојањима панцирним пројектилом калибра 30 mm.

Кључне речи: панцир, пројектил, барут, кретање, пенетрација

1. Увод

Пројектил, због свог уопштеног значења, представља најадекватнију терминолошку ознаку за предмете, са конструкционог становишта веома разноврсне, који се упућују на унапред изабрани циљ како би остварили одређени ефекат. Пројектил је елеменат који у склопу целог система оружја/оруђа треба да изврши задатак којем је читав систем намењен.

Проблематика кретања пројектила одувек је била предмет истраживања, јер познавање тачне трајекторије по којој се пројектил креће, као и других параметара, пружа могућност повећања његове ефикасности. У зависности од врсте средства код којег се користи, намене и конструкције пројектила, постоји велики спектар различитих путања којима се он може кретати и врста ефеката које може остварити на циљу.

На основу података о барутном пуњењу које је присутно код метка одређеног калибра и података о врсти оружја/оруђа из којег се врши процес опаљења, биће извршен прорачун почетне брзине конкретног пројектила, као и максималног притиска барутних гасова, који представљају најважније излазне податке сваког унутрашње-балистичког прорачуна.

Анализа кретања панцирног пројектила се не разликује у великој мери у односу на анализу кретања пројектила друге намене. Оно што је од пресудног значаја за овакав тип прорачуна је сама геометрија и квалитет израде пројектила, а не нека његова друга својства. Кретање пројектила од „уста“ цеви до падне тачке условљено је великим бројем фактора. Након што пројектил напусти цев оружја/оруђа он поседује одређену почетну брзину захваљујући којој наставља даље кретање. У зависности од њеног интензитета и саме стабилности пројектила, која је условљена накнадним деловањем барутних гасова, квалитетом израде пројектила и деловањем силе Земљине теже, зависи негов крајњи домет. Тако ће у раду на основу дефинисане проблематике бити извршена анализа кретања панцирног пројектила калибра 30 *mm*.

Пројектил се састоји од елемената и материјала који омогућавају да се одређени циљ уништи, онеспособи или избаци из строја делујући на различите начине. Да ли ће се примарно дејство остварити механичким радом, хемијском енергијом или неким другим видом енергије, зависи од конструкције пројектила, односно од његове намене. Велика ефикасност панцирних пројектила у дејствима против оклопљених циљева постиже се захваљујући веома добрим механичким карактеристикама пројектила и огромној кинетичкој енергији коју поседују приликом судара са циљем.

Пробојност пројектила се може одредити аналитичким, емпиријским или нумеричким приступом. Емпиријски приступ се заснива на формирању одговарајућих релација између релевантних величина на бази експериментално утврђених зависности. Овај приступ је по правилу захтеван у погледу цене експерименталних истраживања, али су добијене релације веома поуздане. На основу таквих емпиријских једначина у раду ће бити извршена анализа дејства на циљу панцирног пројектила 30 *mm*.

2. Модел кретања пројектила и дејства на циљу

2.1. Аутоматски топови калибра 30 mm

Аутоматско оруђе је оруђе које самостално извршава паљбу. Да би оруђе било потпуно аутоматско оно мора да пуни, испаљује пројектил, извлачи и избацује чауру непрекидно пошто се први метак унесе и опали под условом да се механизам за окидање држи активираан.

Топ је артиљеријско оруђе велике дужине цеви, велике брзине пројектила, високе прецизности, које обично гађа циљ директном путањом. За разлику од хаубице и минобацача, полазни углови су испод 45° [1].

Аутоматски топови чине посебну групу аутоматских оруђа. Данас аутоматски топови имају широку примену у ратним условима. Употребљавају се за гађање циљева у ваздуху (нисколетећих авиона, хеликоптера, падобранаца), ракетних пројектила и циљева на земљи (пешадијских јединица, лако оклопљених и неоклопљених возила, итд). Због захтева за великом брзином гађања и великом густином ватре, аутоматски топови се често израђују као вишецевна оруђа. Аутоматски рад оруђа обезбеђује се најчешће системом одвођења барутних гасова и системом трзања цеви и затварача.

Најпознатији противавионски аутоматски топови калибра 30 mm који се данас користе су следећи:

- Противавионски топ 2A42,
- Противавионски топ 2A72,
- Противавионски топ АК–230,
- Противавионски топ АК–630 ,
- Противавионски топ АК–630М2,
- Противавионски топ *Артемис* 30 mm и
- Противавионски топ *Прага* 30/2 М53/59.

Топ 2A42 познат и као Шипунов (*Shipunov*) 2A42 је 30mm противавионски топ, (слика 1). Овај топ користи две врсте пројектила, разорне и противоклопне. Метак који користи је 30x165mm. Почетна брзина пројектила износи 970 m/s. Према подацима произвођача ефикасни домет приликом дејства на лако оклопљена средства на копну износи 1500 m, док ефикасно дејство на људске циљеве остварује и на 4000 m. Приликом гађања циљева у ваздуху ефикасни домет износи око 2500 m. Овај топ је искоришћен за наоружавање оклопних пешадијских транспортера (БМП–2, БМД–2, БМД–3), као и противавионских оклопних возила [2, 3].

Противавионски топ 2A72 представља нову верзију топа 2A42, а суштинска разлика је у томе што је редукован број делова од којих је топ сачињен, са 578 на 349 делова [4]. Такође користи муницију 30x165mm.

Руски двоцевни топ 30mm АК–230 користи муницију 30x210mm. Почетна брзина пројектила износи 1050 m/s. Ефикасан домет остварује на даљинама од 4000 m [5].

Противавионски топ АК–630 је представља аутомат који се састоји од 6 цеви калибра 30mm. Користи муницију 30x165mm, а почетна брзина пројектила износи 900 m/s. Развијена је и варијанта са два топа АК–630М2 која се користи на систему Каштан (*Kashtan*) [6].

Артемис (*Artemis*) калибра 30 mm је грчки противавионски двоцевни топ. Систем се састоји од два топа калибра 30 mm који се налазе на вучном четворочкашу. Максималан домет износи чак 8400 m , а муниција коју користи је $30\times 173\text{ mm}$. Почетна брзина пројектила износи 1035 m/s [7].

М53/59 Прага (*M53/59 Praga*) је самоходни двоцевни противавионски топ. За гађање циљева у ваздуху и живих циљева на земљи употребљавају се тренутно обележавајуће пројектиле, а за гађање оклопних циљева на земљи панцирно–запаљива–обележавајућа зрна. Почетна брзина пројектила је 1000 m/s , а ефикасан домет остварује на даљинама до 2000 m . Користи метак $30\times 210\text{ mm}$ [8].



Слика 2.1. Противавионски топ 2А42 [2]

2.2. Фамилија муниције калибра 30 mm

2.2.1. Општи појмови и подела муниције

Сва тела напуњена експлозивом или неком другом материјом, која су способна да на циљу изазову одређени ефекат, називамо заједничким именом – муниција. Данас је у употреби велики број различитих типова муниције, које међусобно разликујемо по намени, облику, конструктивним параметрима, начину лансирања, дејству на циљу, итд.

По најопштијој подели, сву муницију можемо поделити на следеће основне групе:

- пешадијска муниција,
- артиљеријска муниција,
- мине за минобацаче,
- муниција за бестрзајна оруђа,
- мине за ручне бацаче,
- тромблонске мине,
- артифиције,
- ручне бомбе и
- ракете.

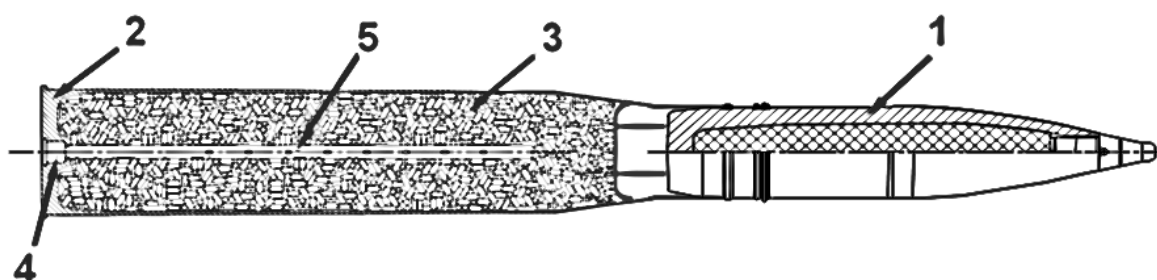
У ширем смислу, у муницију се сврставају и минско–експлозивна средства.

Артиљеријска муниција је намењена за уништавање непријатељске живе силе и техничких средстава, као и за остваривање одређеног специјалног ефекта на циљу, као што је то задимљавање или осветљавање циља.

Класични артиљеријски метак представља сложен систем који се састоји од неколико најважнијих склопова, и то:

- пројектила,
- чауре,
- погонског пуњења и
- топовске каписле са пламеником.

У односу на околност како је комплетирана појединим елементима, артиљеријска муниција може бити са сједињеним, полусједињеним и дводелним метком.



Слика 2.2. Артиљеријски метак [9]

1 – пројектил, 2 – чаура, 3 – барутно пуњење, 4 – топовска каписла са пламеником,
5 – централна припална цев – пламеник

За дејство против живе силе, где пре свега треба да дође до изражаја парчадно дејство, употребљава се муниција са тренутним пројектилом. За гађање где је неопходно извршити извесно рушење (ударним таласом) користи се муниција са фугасним пројектилом. Ако је карактер циља такав да је потребно комбиновати и једно и друго дејство (парчадно и рушеће), употребљава се тренутно – фугасна муниција.

Уништавање циљева који се налазе иза оклопа врши се муницијом са панцирним, поткалибарним и кумулативним пројектилом. Панцирна и поткалибарна зрна дејствују на циљ искључиво својом кинетичком енергијом, док кумулативна зрна врше пробијање препреке кумулативним млазом. Поред њих постоје пројектили на бази Хопкинсоновог и Миснај – Шардиновог ефекта.

У групу пројектила специјалне намене убрајају се пројектили за задимљавање, осветљавање, пројектили запаљивог дејства, пројектили са бојним отровима и пројектили за обуку.

Према калибру, артиљеријска муниција се дели на муницију:

- малог (20–57 mm),
- средњег (75–127 mm) и
- великог калибра (преко 150 mm).

Посебну групу муниције чине 128mm ракете за ВБР [10].

2.2.2. Панцирни пројектили

Панцирни пројектили су намењени за уништавање оклопних циљева – тенкова, оклопних возила, челично – бетонских утврђења, ратних и трговачких бродова, авиона чији су витални делови заштићени оклопом и сл.

Ова врста пројектила се среће код топова од калибра 20 mm па до оних најтежих, односно код свих топова где је пројектилу могуће дати такву почетну брзину да путања буде положена, а ударна брзина толика да је кинетичка енергија пројектила довољна да савлада отпор тврде препреке – панцира.

Панцирни пројектил продире у оклоп захваљујући кинетичкој енергији којом располаже у моменту судара са оклопом и великој издржљивости свога тела. Отуда панцирни пројектил има већу ефикасност, уколико:

- располаже већом кинетичком енергијом у тренутку сусрета са циљем,
- без већих трајних деформација издржи напоне који се јављају у телу пројектила у току пробијања оклопа и дејствује (детонира) иза оклопа, уколико је у тело уграђен експлозив и
- има већу прецизност погађања циља.

Панцирни пројектили се састоје од кошуљице, балистичке и панцирне капе, трасера, а извесни панцирни пројектили поседују експлозивно пуњење и упаљач.

Кошуљица панцирног пројектила представља масивно тело израђено од висококвалитетног челика и пројектована је тако да издржи велика напрезања при продирању кроз препреку. Вођење се остварује на класичан начин, помоћу предњег центрајућег и задњег водећег прстена. Задњи део је цилиндричан, а врх може бити оштар или туп. Са задње стране неких кошуљица, постоји отвор мале запремине за смештај експлозива, упаљача и трасера. Уколико је кошуљица без експлозива, са задње стране постоји само отвор за увијање трасера или за утискивање трасерне смеше.

Трасер се при опаљењу метка пали од пламена насталог сагоревањем барутног пуњења. При лету пројектила, трасер гори и оставља светао траг. Панцирни пројектили снабдевени трасером називају се панцирно – обележавајућим пројектилима.

Панцирна капа је по правилу израђена од истог челика као и кошуљица или нешто нижих механичких карактеристика – обрађена на нешто нижу тврдоћу. Задатак панцирне капе је да у тренутку сусрета пројектила са циљем повећа контактну површину између врха пројектила и оклопа и на тај начин умањи специфично оптерећење врха. Уколико се нагиб оклопа повећава, утолико се позитиван утицај панцирне капе смањује. При нагибима оклопа испод 50° , панцирна капа више не врши позитивну улогу већ повећава рикошетна својства панцирног пројектила. Како би се спречила оваква појава, користе се панцирни пројектили са тупим врхом, тзв. *антирикошетни* пројектили.

Балистичка капа – облик врха панцирног пројектила у аеродинамичком погледу не одговара великим брзинама. Због тога се облик пројектила поправља уградњом балистичке капе на врх пројектила, односно на панцирну капу, чиме се постиже смањење коефицијента аеродинамичког отпора.

У даљем раду биће извршена анализа лета и дејство на циљу управо панцирно – обележавајућег зрна без експлозивног пуњења, па стога неће бити детаљно описани делови као што су то експлозивно пуњење и упаљач [11].



Слика 2.3. Панцирни пројектил – калибарни [9]

У табели испод дате су главне конструкционе карактеристике савремених панцирно–пробојних пројектила (пројектилима без панцирне капе одговарају веће вредности дужине l_k).

Табела 1. Конструкционе карактеристике савремених панцирно–пробојних пројектила [9]

l_c / d	h / d	h_k / d	H / d	R / d	r / d	l_k / d	m / d^3	m_e / d^3	$k (\%)$
1,5–2,0	0,8–1,0	0,3–0,4	2,0–2,5	1,3–1,36	0,2–0,4	0,8–1,3	13–20	0,1–0,4	0,4–2,5

2.2.3. Муниција калибра 30 mm

Муниција калибра 30 mm је муниција намењена за авионске и противавионске аутоматске топове. Постоји велики број најразличитијих врста у зависности од дужине чауре, па је тако најпознатија муниција Нато стандарда 30x173mm и 30x113mm, док је у Русији присутан метак 30x165mm. Муниција овог калибра се обично не користи за дејство против живе силе, већ за дејство против оклопљених циљева. Подједнако су ефикасни и за дејство против оклопљених средстава, као и против утврђених бункера. Муниција калибра 30 mm уобичајено се јавља у неколико различитих варијанти:

- против–оклопна, АП (Armor Piercing, AP, слика 2.5),
- против–оклопна поткалибарна, АПФСДС (Armor Piercing Fin Stabilized Discarding Sabot, APFSDS, слика 2.6),
- високо–експлозивна, ХЕ (High Explosive, HE, слика 2.8) и
- вежбовна (Target Practice, TP, слика 2.9).



Слика 2.4. Муниција 30x173mm [12]



Слика 2.5. Метак AP-T 30x173mm [13]



Слика 2.6. Метак APFSDS 30x173mm [14]



Слика 2.7. Метак API 30x173mm [14]



Слика 2.8. Метак HE-T 30x173mm [14]



Слика 2.9. Метак TP-T 30x173mm [14]

2.3. Класична теорија унутрашње балистике

Балистика је научна дисциплина која се бави проучавањем кретања пројектила. Њен назив потиче од грчке речи *balein* што значи бацити.

Разликујемо неколико фаза кретања класичних пројектила. Прву етапу чини кретање пројектила у цеви оруђа/оружја када сила притиска гасовитих продуката сагоревања барутног пуњења доминантно утиче на кретање пројектила. Феноменима карактеристичним за период кретања пројектила у цеви бави се **унутрашња балистика**. У случају невођених ракетних пројектила постоји извесна аналогија ове фазе са активном фазом лета ракетног пројектила (период лета ракете у коме ради ракетни мотор).

Прелазна балистика бави се првенствено сложеним гасодинамичким појавама које утичу на кретање пројектила непосредно по напуштању цеви оруђа.

Слободно кретање пројектила после изласка из цеви оруђа под дејством гравитационе силе и аеродинамичких сила и момената (у случају ракетних пројектила могу да делују још и погонска и управљачке силе) предмет је проучавања **спољашње балистике**.

Коначно, финална фаза кретања пројектила која подразумева његово дејство, односно интеракцију са циљем изучава се у оквиру **балистике на циљу** (енг. *terminal ballistics*) [15].

Унутрашња балистика анализира кретање пројектила у цеви оружја/оружја и процес сагоревања барута. Барути су хемијске материје које су способне да ослободе своју потенцијалну енергију у врло брзој егзотермној хемијској реакцији и код којих је процес сагоревања (дефлаграције) основни облик хемијског разлагања. Захтев који конструктори одувек постављају произвођачима барута је да се са што мањим пуњењем постигне што већа почетна брзина пројектила, а да се при том не прекорачи притисак који може да издржи цев оруђа.

Класична теорија унутрашње балистике базира се на поједностављеној слици стварног процеса опаљења. Ова теорија полази од тзв. геометријског закона сагоревања барута који омогућава да се, уместо разматрања сагоревања свих барутних зрна (у метку, односно чаури, може да их има од 3000 до 5000), посматра сагоревање само једног барутног зрна одређеног геометријског облика. Такође се сматра да се барутни гасови, створени сагоревањем барута, шире иза пројектила по адијабатском закону и да је у датом моменту времена притисак барутних гасова једнак у свим тачкама иза пројектила [16].

У зависности од геометријског облика барутног зрна, постоје следећи начини сагоревања у цеви оруђа:

- неутрално – површина сагоревања барутног зрна у току процеса сагоревања је константна, па је и количина насталих гасова константна,
- прогресивно – површина барутног зрна и количина насталих гасова расту и
- дегресивно – површина барутног зрна и количина насталих гасова, смањују се.

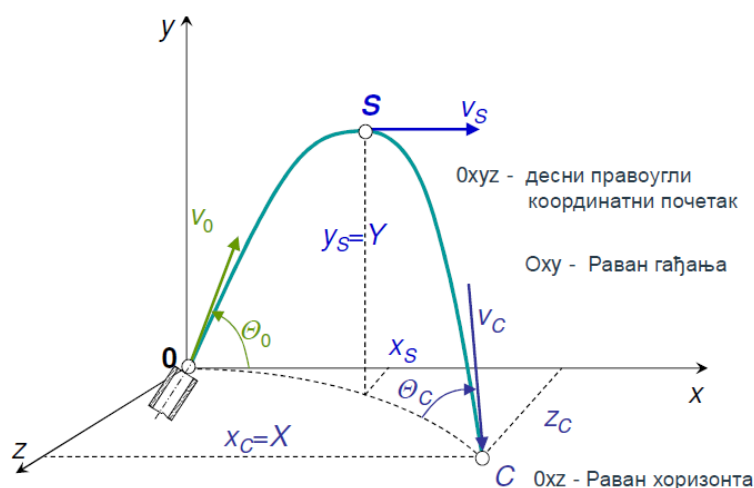
НЦ–48 је цилиндрично вишеканадно барутно зрно које садржи седам канала. Код вишеканалних барута при сагоревању површина барута расте са временом (прогресивно сагоревање), до пред сам крај процеса, када наступа дегресивно сагоревање због појаве комадића барута (тзв. сливери) који сагоревају уз смањење површине. Повећање емисије гасова расте са повећањем запремине у цеви оруђа. На тај начин је успорен пад притиска након достизања максималне вредности.

У даљем тексту биће извршена анализа процеса сагоревања овог барутног зрна и на основу почетне брзине пројектила, односно брзине на устима цеви, анализираће се лет пројектила до падне тачке. На основу брзина које пројектил буде имао у одређеним тачкама путање емпиријским приступом одредиће се пробојност панцирног пројектила калибра 30 mm.

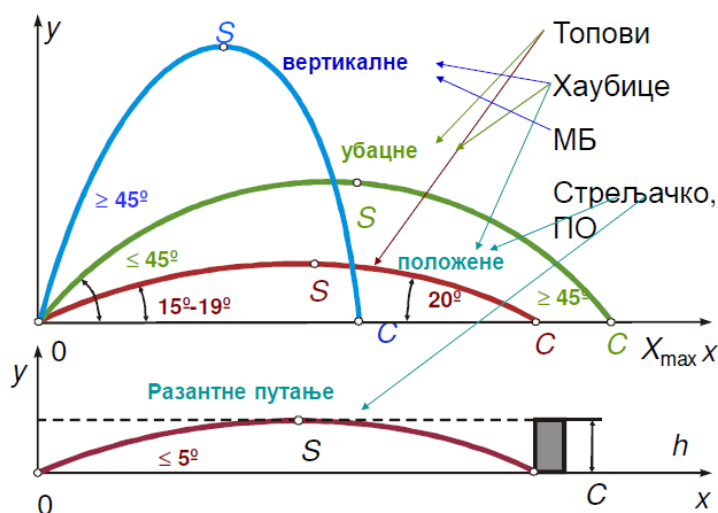
2.4. Карактеристике кретања пројектила

Спољна балистика (СБ) је војнотехничка научна дисциплина која проучава кретање пројектила од напуштања „уста“ цеви оружја/оруђа до удара у циљ или распрснућа у ваздуху. Спољна балистика изучава кретање невођених пројектила на чији се лет не може утицати после напуштања „уста“ цеви. За разлику од ње, динамика лета вођених пројектила изучава кретање вођених пројектила на чији се лет може утицати после напуштања „уста“ цеви [17].

Путања пројектила представља геометријско место тачака које при свом кретању од „уста“ цеви до падне тачке описује тежиште пројектила, слика 2.10.



Слика 2.10. Елементи путање пројектила и карактеристичне тачке [17]



Слика 2.11. Врсте путања пројектила [17]

Према облику путање, разликујемо (слика 2.11):

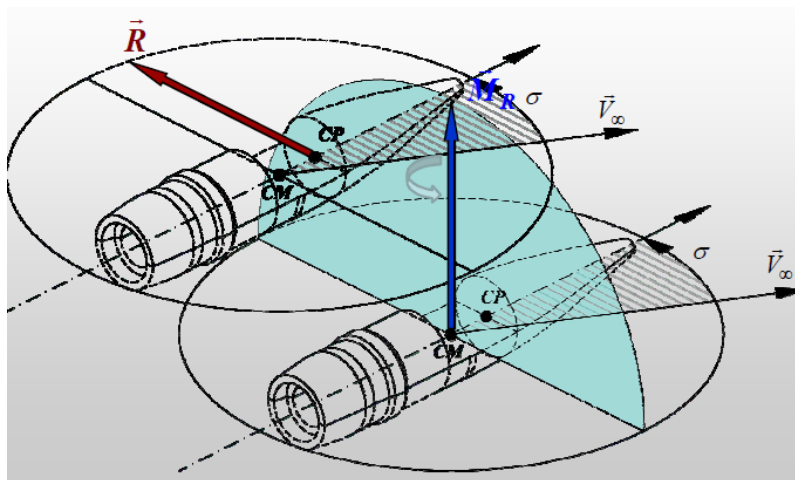
- **положене путање** – код којих је почетни угао $\theta_0 = 15-19^\circ$, а падни угао $\theta_c \approx 20^\circ$,
- **убацне путање** – код којих је почетни угао $\theta_0 \leq 45^\circ$, а падни угао $\theta_c \geq 45^\circ$,
- **вертикалне путање** – са полазним углом преко $\theta_0 \geq 45^\circ$ и
- **разантне путање** – као специјалан случај положене путање код којих је почетни угао $\theta_0 \leq 45^\circ$, а теме путање се не издиже изнад висине циља (h).

Пошто је један од задатака рада анализа кретања пројектила 30 *mm*, који се испаљује из противавионских аутоматских топова, важно је поменути да типови гађају доњом групом углова, односно само положеним и убацним путањама.

У аеродинамици се изучава кретање ваздуха, те се разматра узајамно деловање ваздуха и тела која су са њим у додиру. При кретању пројектила кроз ваздух, на пројектил делују **аеродинамичка сила** и **аеродинамички момент** отпора ваздуха. Ова сила и момент зависе од:

- облика и димензија пројектила,
- оријентације пројектила у односу на правац брзине центра масе,
- брзине центра масе пројектила,
- угаоне брзине пројектила и
- густине и вискозности ваздуха.

Експериментално је утврђено да се оса пројектила не поклапа са брзином (тангента на путању), већ да са њом заклапа одређени угао (σ) који се назива **нападни угао**. Непоклапања осе пројектила и вектора брзине се јављају због почетних поремећаја који настају услед накнадног дејства барутних гасова након одвајања дна пројектила од „уста“ цеви, затим због некоаксијалности осе цеви и осе пројектила, због дејства силе Земљине теже, итд. Због свих тих поремећаја аеродинамичка сила отпора ваздуха (R) се не поклапа са осом пројектила, ни са вектором брзине, већ заклапа угао δ . За разлику од силе Земљине теже која делује у центру масе пројектила (CM), аеродинамичка сила делује у некој тачки која се назива **центар притиска** (CP) [17].



Слика 2.12. Дејство аеродинамичке силе $\vec{R}$ и момента $\vec{M}_R$ на пројектил [17]

Аеродинамичка сила која делује на пројектил током кретања може се раставити на компоненте:

- сила отпора ваздуха D (у правцу брзине) и
- сила узгона L (нормална на правац брзине).

Сила отпора ваздуха се може одредити на основу једначине:

$$D = \frac{\rho V^2}{2} S C_D \quad (2.1)$$

Слично се може написати и за узгон:

$$L = \frac{\rho V^2}{2} S C_L \quad (2.2)$$

где су:

- ρ – густина ваздуха,
- V – брзина пројектила,
- S – површина попречног пресека пројектила,
- C_D – коефицијент отпора и
- C_L – коефицијент узгона.

Израз за израчунавање аеродинамичког момента гласи:

$$M^A = \frac{\rho V^2}{2} S C_Y (X_{CM} - X_{CP}) \quad (2.3)$$

где су:

- $(X_{CM} - X_{CP})$ – растојање центра притиска од CM пројектила,
- X_{CM} – растојање центра масе пројектила мерено од врха пројектила и
- X_{CP} – растојање центра притиска мерено од врха пројектила.

Истраживања су показала да аеродинамички коефицијент C_D зависи од:

- Маховог броја ($Ma = \frac{V}{a}$, a – брзина звука у ваздуху),
- Рејнолдсовог броја ($Re = \frac{Vl}{\nu}$, њиме се дефинише разлика ламинарног и турбулентног струјања, l – дужина опструјавања, ν – кинематски коефицијент вискозности),
- нападног угла (σ) и
- геометрије пројектила (S).

Аеродинамички коефицијенти представљају бездимензионалне величине компонената аеродинамичких сила и момената. Добијају се када стварне компоненте аеродинамичких сила и момената поделимо са референтном силом и референтним моментом. Референтна сила је производ референтног притиска и референтне површине, док је референтни момент производ референтне силе и референтне дужине.

Референтни притисак је динамичка величина [17]:

$$q_{\infty} = \frac{\rho_{\infty} V_{\infty}^2}{2} \quad (2.4)$$

За референтну површину се узима круг пречника једног номиналног калибра пројектила:

$$S_{ref} = \frac{d^2 \pi}{4} \quad (2.5)$$

Као референтна дужина усвојена је величина номиналног калибра d , осим за угаону брзину око уздужне осе, када се узима половина калибра [17].

Компоненте дуж оса динамичког координатног система летелице немају посебне ознаке. **Аеродинамички коефицијенти за компоненте аеродинамичке силе** у динамичком координатном систему се означавају са:

- C_x – аеродинамички коефицијент аксијалне силе,
- C_y – аеродинамички коефицијент бочне силе и
- C_z – аеродинамички коефицијент нормалне силе.

Аеродинамички коефицијенти за компоненте момента се обележавају са:

- C_l – аеродинамички коефицијент момента ваљања,
- C_m – аеродинамички коефицијент момента пропињања и
- C_n – аеродинамички коефицијент момента скретања.

Аеродинамички коефицијенти су функције:

1. аеродинамичких параметара (Ma, Re),
2. положаја аеродинамичке брзине у односу на летелицу (углови α и β),
3. бездимензијске угаоне брзине промене положаја аеродинамичке брзине у односу на летелицу ($\dot{\alpha}^*$ и $\dot{\beta}^*$),
4. бездимензијске угаоне брзине летелице (p^*, q^*, r^*) и
5. за аеродинамички управљиве летелице, осим тих параметара, имамо и отклоне управљачких површина, и то:
 - δ_l – отклон крилаца,
 - δ_m – отклон око осе у летелице,
 - δ_n – отклон око осе z летелице и
 - δ_t – отклон закрилаца.

Парцијалне изводе аеродинамичких коефицијената по овим параметрима називамо **деривативи** [17].

У раду биће извршена анализа кретања пројектила калибра 30 mm помоћу одређених програмских решења, након чега ће бити испитана пробојност конкретног панцирног пројектила.

2.5. Пенетрација

Као што је напоменуто, балистика на циљу се бави интеракцијом пројектила и циља. Генерално, разликујемо два основна типа процеса који зависе од врсте пројектила.

У прву групу сврставају се сви тзв. инертни пројектили – пројектили који не садрже експлозивно пуњење, тј. пројектили чије се дејство заснива искључиво на принципу претварања њихове кинетичке енергије у користан рад. Ово најчешће подразумева пробијање одређене препреке. Процес започиње контактом пројектила и препреке.

Друга група процеса карактеристична је за пројектиле који садрже експлозивно пуњење. У овом случају терминалнобалистички процес је знатно сложенији и започиње активирањем упаљача, односно иницирањем експлозивног пуњења. Балистика на циљу уско је повезана са механизмима деловања бојних глава и подразумева моделирање бројних процеса као што су: детонација, фрагментација, балистика парчади, формирање кумулативног млаза, пенетрација, итд. За ову групу пројектила такође је карактеристично и рушеће дејство (*blast*) које настаје као последица детонације експлозивног пуњења [15].

2.5.1. Дефиниција проблема и значај проучавања пробијања

Пенетрација, односно пробијање, представља процес кретања пенетратора кроз препреку. Под појмом пенетратор подразумева се свако тело које је намењено за пробијање, а препреку представља средина која је изложена дејству пенетратора.

Истраживање оваквог феномена је одувек изазивало велико интересовање, а започето је дефинисањем првих законитости између карактеристика пенетратора и препреке и параметара процеса пенетрације. Ова појава је карактеристична за све пројектиле без упаљача, као и за пројектиле који дејствују са одређеним кашњењем.

Проучавање процеса пенетрације има велики значај како у области војне технике, тако и у области цивилне примене. Балистика на циљу је једна од основних дисциплина која се бави дефинисањем механизмима пробојности што значајно доприноси оптимизацији конструкције пројектила пробојног и разорног дејства, као и за пројектовање панцирне заштите. Са друге стране, постоје и бројне цивилне примене процеса пробијања као што су заштита објеката (нпр. нуклеарних електрана), те примене у рударству и грађевинарству. Примена у војне сврхе је свакако приоритетна и најзначајнији покретач истраживања у области пенетрације.

Разматрање процеса пробијања незамисливо је без свестраних експерименталних испитивања, док су теоријска истраживања мултидисциплинарна, будући да обухватају велики део механике крутог и деформабилног тела (отпорност материјала, теорију еластичности и пластичности, простирање таласа деформације, итд.) [15].

2.5.2. Врсте препрека и пенетратора

Процес пенетрације зависи од великог броја параметара којима се дефинишу карактеристике пенетратора, односно препреке, а такође њима се дефинишу и сами услови удара. Процес пробијања се може категорисати на више начина, али је основна класификација везана за врсту материјала препреке, па се у складу са тиме разликују следеће врсте материјала препреке:

- тканине и влакнасти материјали (текстил, стаклена влакна, кевлар и сл.),

- прозирни материјали (стакло, полиуретани и сл.),
- керамика(алуминијум оксид, силицијум карбид итд.),
- дрво,
- тло,
- бетон и
- метали.

Једна од најважнијих карактеристика препреке је њена дебљина, будући да значајно утиче на природу процеса пробијања. У односу на њену дебљину, разликујемо четири врсте препрека:

- **полубесконачне препреке** – под полубесконачном препреком подразумева се препрека довољно велике дебљине код које се утицај задње површине препреке као и саме дебљине препреке на процес пробијања може занемарити,
- **дебеле препреке и препреке средње (умерене) дебљине** – карактерише више или мање значајан утицај задње, слободне површине препреке на процес пенетрације и
- **танке препреке** – су дефинисане непроменљивошћу напона смицања дуж целе дебљине препреке.

За анализу су такође значајне и попречне димензије препреке. Коначно, с обзиром на број слојева разликују се:

- **монолитне (једнослојне) и**
- **вишеслојне препреке.**

Врста пенетратора такође битно утиче на карактер процеса пробијања. Са аспекта примене у војној техници, значајне су следеће врсте пенетратора:

- панцирни пројектили,
- фрагменти кошуљице разорних пројектила,
- пенетратори поткалибарних пројектила,
- кумулативни млаз и
- преобликовани диск на принципу Миснау–Шардиновог ефекта.

Пенетратори (изузев фрагмената) имају цилиндричан облик са равним, сферним, конусним, оживалним или сложеним обликом предњег дела.

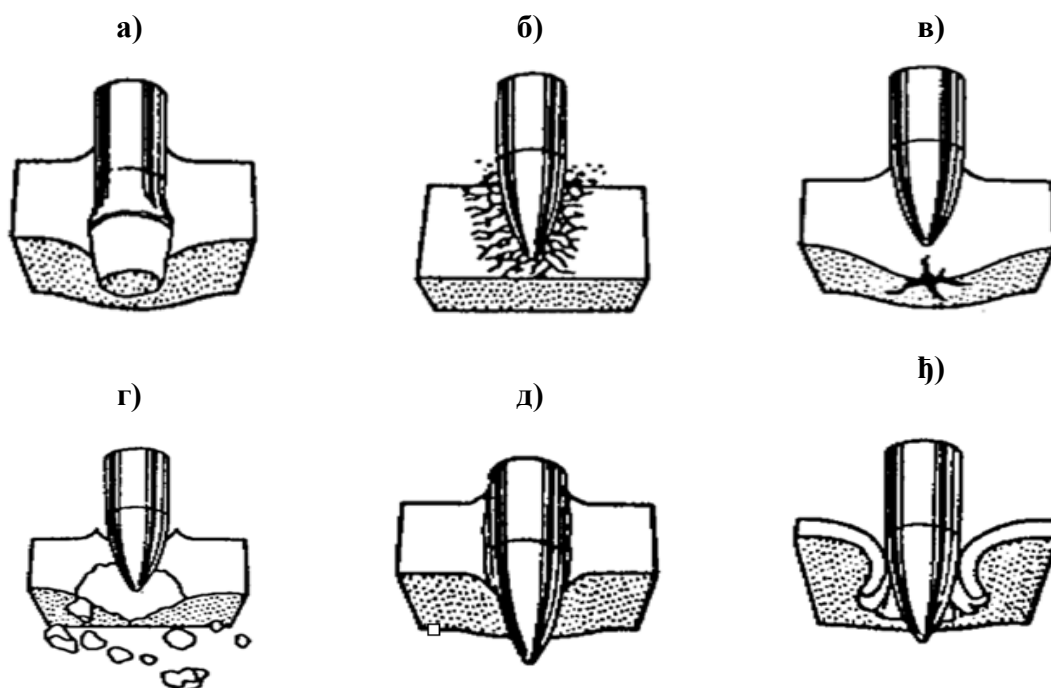
Осим карактеристика препреке и пенетратора, за пенетрациони процес су важни и почетни услови при иницијалном контакту пенетратора и препреке. Под овим се мисли на ударну брзину и ударни угао пенетратора [15].

2.5.3. Типови пенетрационих процеса

Процес пенетрације може имати различиту природу у зависности од "улазних" параметара. Под улазним параметрима пенетрације подразумевају се карактеристике пенетратора, препреке и услови удара.

На слици 2.13. представљени су основни типови пенетрације за случај металних препрека:

- пробијање путем формирања одсечка (*plugging*, слика 2.13.а) карактеристично је за пенетраторе са равним врхом и препреке значајне чврстоће и напона на граници течења. Основна карактеристика овог режима је формирање цилиндричног одсечка материјала препреке (*plug*) чији је пречник приближно једнак пречнику пенетратора, а доминантна напрезања препреке у току процеса су сабијање и смицање одсечка које у одређеном тренутку може да доведе оптерећену зону у нестабилно стање, што изазива лом материјала услед смицања и одвајање одсечка.
- пробијање препрека израђених од кртих материјала представљено је на сликама 2.13.б, 2.13.в и 2.13.г (дробљење, стварање радијалних прскотина и фрагментација),
- формирање отвора у препреци радијалним потискивањем материјала (*ductile hole enlargement*, слика 2.13.д) и "расцветавање" препреке (*petaling*, слика 2.13.ђ) представљају типове пенетрације карактеристичне за врло еластичне материјале препреке.



Слика 2.13. Основни типови пенетрационих процеса [15]:

а) формирање одсечка, б) дробљење, в) стварање радијалних напрслина, г) фрагментација, д) формирање отвора у препреци, и) "расцветавање" препреке

Због сложености самог процеса у реалним условима режим пробијања представља комбинацију неколико различитих типова пенетрације од којих је један доминантан [15].

2.5.4. Приступу проблему пенетрације

Као и многе друге феномене, процес пенетрације карактеришу три основна приступа истраживању.

Емпиријски приступ се заснива на формирању одговарајућих релација између релевантних величина на бази експериментално утврђених зависности. Овај приступ је у правилу захтеван у погледу цене експерименталних истраживања, али су добијене релације веома поуздане. Оне се, међутим, не могу примењивати изван домена у коме су извршени експерименти.

Аналитички приступ базира се на примени основних физичких законитости на разматрани процес. Резултат представља мање или више сложен аналитички модел, који може бити исказан у форми једне релације, али и врло сложених система једначина за чије је решавање неопходно формирање комплексних рачунарских програма. Ове моделе одликује инжењерски прихватљива тачност и најчешће шири домен примене него у случају емпиријских модела.

Нумерички приступ је најмодернији и подразумева примену физичких закона одржања на дискретизовану структуру која се разматра. Примена рачунара и одговарајућег симулационог софтвера омогућава решавање комплексних једначина за системе са веома великим бројем степени слободе. Резултати у највећој мери зависе од тачности коришћених модела понашања материјала.

У истраживањима се често користи комбиновани метод који подразумева примену најмање два приступа (нпр. емпиријски и нумерички) у циљу добијања квалитетног модела који верно описује разматрани процес [15].

2.5.5. Основни појмови механике пенетрације

У зависности од исхода процеса пенетрације, разликују се четири различита случаја:

- **пробој** подразумева пролазак целог пенетратора кроз препреку, при чему се формира правилан, приближно цилиндричан отвор у препреци,
- **продор** представља гранични случај пробијања јер је отвор у препреци неправилног облика и мање површине од површине попречног пресека пенетратора; за разлику од пробоја, односно кроз отвор пролазе само делови разбијеног пенетратора,
- **задор** карактерише заустављање (заглављивање) пенетратора у препреци или његово разбијање током пробијања и
- **рикошет** представља одбијање пенетратора услед клизања по површини препреке уколико је она нагнута.

Под пробојношћу пенетратора подразумева се његова пробојна моћ – способност пробијања препреке. Повећање пробојности пенетратора се може постићи повећањем дужине и густине пенетратора, као и смањењем његовог пречника. Супротно томе, способност одупирања пробијању представља отпорност препреке. Повећање отпорности препреке се постиже повећањем њене дебљине и густине, као и побољшањем механичких карактеристика материјала.

При разматрању пробојности највећи значај имају ударна, излазна и брзина балистичког лимита.

Ударна брзина v_s (или v_0) је тренутна вредност линијске брзине пенетратора у моменту иницијалног контакта са препреком. При томе се подразумева да је вектор

ударне брзине колинеаран са осом пенетратора, тј. увек се претпоставља лет пенетратора са нултим нападним углом. Ефекти угаоне брзине пенетратора око сопствене осе, за случај жиростабилисаних пенетратора, не узимају се у разматрање,

Излазна (резидуална) брзина v_r је брзина пенетратора (и одсечка) у тренутку проласка дна пенетратора кроз раван одређену задњом површином препреке,

Брзина балистичког лимита v_L је једна од основних карактеристика система пенетратор–препрека и може се дефинисати на више начина. Теоријски, реч је о минималној вредности ударне брзине при којој долази до пробоја, односно максималној вредности ударне брзине при којој не долази до пробоја препреке [15].

Дакле, важи

$$v_L = \inf \{v_s : v_r > 0\} = \sup \{v_s : v_r = 0\} \quad (2.6)$$

Брзина балистичког лимита увек се одређује експерименталним путем, тј. извођењем извесног броја гађања различитим ударним брзинама. При мањем броју експеримената, брзином балистичког лимита може се сматрати средња вредност најмање ударне брзине $v_{s\min}$ при којој је остварен пробој и највеће брзине $v_{s\max}$ при којој је дошло до задора

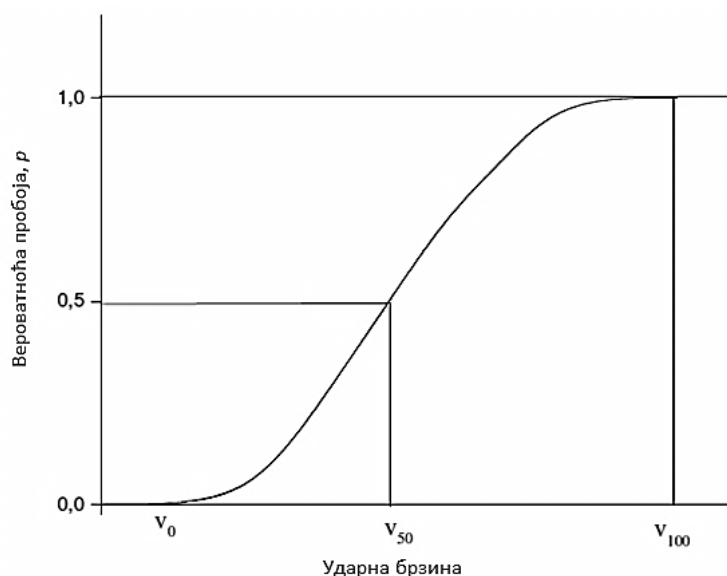
$$v_L = \frac{1}{2}(v_{s\min} + v_{s\max}) \quad (2.7)$$

Суштински, међутим, само пробијање је појава која у извесној мери има и стохастички карактер. При извођењу експеримената под "истим" условима, реално се појављују извесне разлике у почетним параметрима процеса (ударна брзина, ударни угао, нападни угао, нехомогеност материјала препреке, итд.) које је тешко избећи, услед чега долази до различитих исхода процеса. Зато се уводи појам вероватноће пробијања препреке p [15].

Наиме, постоји минимална вредност ударне брзине $v_{\min}$ испод које практично никада не долази до пробоја ($p = 0$) и максимална ударна брзина $v_{\max}$ изнад које се пробој увек дешава, $p = 1$ (слика 1.2). Брзина балистичког лимита се статистички дефинише као вредност ударне брзине пенетратора (између $v_{\min}$ и $v_{\max}$) за коју је вероватноћа пробијања препреке једнака једној половини

$$v_L = v_{50} = v_s \Big|_{p=\frac{1}{2}} \quad (2.8)$$

Ова дефиниција користи се за одређивање брзине балистичког лимита помоћу експеримента са великим бројем гађања и представља најпоузданију процену овог параметра.



Слика 2.14. Вероватноћа пробијања препреке у зависности од ударне брзине пенетратора [15]

2.5.6. Биланс енергије при пробијању

Кинетичка енергија коју пројектил поседује при удару у препреку претвара се у механички рад који служи за разарање циља. У општем случају кинетичка енергија пројектила се при удару трансформише у шест различитих облика енергије, тј. [15]:

$$E_k = \frac{mV_c^2}{2} = E_1 + E_2 + E_3 + E_4 + E_5 + E_6 \quad (2.9)$$

где су:

E_k – кинетичка енергија пројектила у тренутку сусрета са циљем,

m – маса пројектила,

V_c – брзина пројектила приликом сусрета са циљем,

E_1 – енергија која се троши на савладавање кохезионих сила, тј. на међусобно раздвајање честица материјала препреке,

E_2 – енергија која се троши на давање извесног убрзања раздвојеним честицама, тј. на савладавање њихове инерције и њихово померање из првобитног положаја,

E_3 – енергија која се троши на деформацију самог пројектила,

E_4 – енергија која се троши на трење,

E_5 – енергија која се троши на еластичне осцилације препреке; тај део енергије углавном зависи од еластичних особина препреке, начина њеног учвршћења за подлогу и др. и

E_6 – енергија која се троши на стварање ударног таласа у препреци.

Неки видови трансформације енергије могу се у извесним случајевима занемарити, док у другима такав поступак доводи до великих грешака. Код пенетрације у мекше препреке (нпр. земљу) можемо без велике грешке занемарити утрошак енергије

на деформацију пројектила, еластичне осцилације и стварање ударног таласа. Те факторе, међутим, не можемо занемарити при пробијању бетонских препрека, где се евентуално може занемарити само енергија утрошена на еластичне осцилације [15].

2.5.7. Емпијске релације

Као што је напоменуто у уводном делу, емпијске (квазианалитичке) релације представљају најједноставније моделе пробијања који се могу веома успешно примењивати у одговарајућим, најчешће строго дефинисаним и уским доменима. У наставку ће бити представљене најпознатије и најчешће коришћене емпијске релације које омогућавају одређивање релевантних параметера пенетрације [15].

2.5.7.1. Формула Jacob de Marre–а

Рад *J. de Marre*–а (1886) представља први значајан допринос квантитавном описивању појава везаних за пробијање. Полазећи од аналогije пенетрационог процеса са квазистатичким пробијањем, може се доћи до израза за минималну кинетичку енергију недеформабилног пенетратора пречника d потребну за пробијање препреке дебљине e :

$$\frac{mv_0^2}{2} = ke^{1,4}d^{1,5} \quad (2.10)$$

где је k емпијска константа која зависи од врсте материјала препреке, карактеристика пројектила и услова удара. Из претходне једначине може се одредити и брзина балистичког лимита уколико су познате карактеристике пенетратора и препреке [15]:

$$v_L = K \frac{e^{0,7}d^{0,75}}{m^{0,5}} \quad (2.11)$$

где је K опитни коефицијент који се у зависности од материјала препреке и облика пенетратора одређује експерименталним путем.

У зависности од доминантног режима пробијања израз (2.2) се може модификовати тако да његова генерализована варијанта има облик [15]:

$$v_L = K \frac{e^n d^p}{m^{0,5}} \quad (2.12)$$

при чему је вредност параметара p и n , у зависности од различитих концепата, приказана у табели 2.

Табела 2. Параметри p и n у генерализованој формули *J. de Marre*–а [15]

Аутор	p	n
<i>J. de Marre</i>	0,75	0,7
<i>Euler</i>	1,0	0,5
<i>Nobblе</i>	0,5	1,0
<i>Krupp</i>	5/6	2/3

Изрази (2.2) и (2.3) важе за случај нормалног удара пенетратора у преперку ($\theta = 90^\circ$). У случају косог удара ($\theta < 90^\circ$), десне стране ових једначина потребно је помножити фактором b при чему је:

$$b = \frac{1}{\sin^c \theta} \quad (2.13)$$

где је c параметар који зависи од облика пенетратора и припада интервалу [1, 2].

Једначина *J. de Marre*—а представља пионирски приступ моделирању процеса пенетрације и данас првенствено има историјски значај. Савремене аналитичке и нумеричке методе, међутим, нису у потпуности истиснуле овај приступ, поготово када су у питању прелиминарне анализе и оријентационе евалуације параметара пенетрације у веома широком домену примене [15].

2.5.7.2. SRI формула

Веома обимна експериментална истраживања спроведена у *Stanford Research Institute*—у (1963) била су првенствено концентрисана на пробијање плоча од меког челика крутим пројектилима са равним врхом, при релативно малим ударним брзинама. Минимална потребна кинетичка енергија пенетратора одређена је *SRI* формулом [15]:

$$\frac{E}{d} = \frac{\sigma_0 H^2}{10,3} \left(42,7 + \frac{s}{H} \right) \quad (2.14)$$

где је σ_0 — граница кидања (највећи напон при испитивању на истезање) материјала препреке, док је s — распон препреке (најмања удаљеност између ослонаца на које је препрека учвршћена). Област примене *SRI* формуле ограничена је следећим условима [15]:

- релативна дебљина препреке у односу на пречник, $H / d = 0,1 \div 0,6$,
- релативна дебљина препреке у односу на њен распон, $H / s = 0,002 \div 0,05$,
- виткост пенетратора, $L / d = 10 \div 50$,
- однос распона препреке и пречника пенетратора $s / d = 5 \div 8$,
- ударна брзина пенетратора, $v_0 = 21 \div 122 \text{ m/s}$.

2.5.7.3. BRL формула

Експериментална истраживања америчког *Ballistic Research Institute*—а (1968) довела су до једначине за потребну кинетичку енергију пенетратора у облику [15]:

$$E = 1,4 \cdot 10^9 (Hd)^{1,5} \quad (2.15)$$

Формула је сасвим блиска резултату *Jacob de Marre*—а и представља специјалан случај њене генерализације, с тим што је опитни коефицијент експлицитно наведен. Величине у једначинама (2.5) и (2.6) су у *SI* јединицама.

Подаци о домену применљивости *BRL* формуле нису доступни. Извесне компаративне анализе експерименталних резултата и емпиријских модела (2.3) и (2.5) рангирају наведене формуле тако што се предност даје генерализованој формули *Jacob de Marre*—а са адаптивним параметрима, затим *SRI* формули, док на крају долази *BRL* формула [15].

3. Прорачун кретања и анализа дејства пројектила на циљу

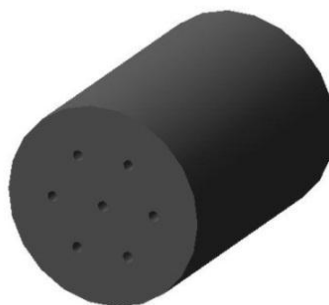
3.1. Анализа процеса сагоревања барутног пуњења приликом опаљења

За потребе прорачуна процеса сагоревања цилиндричног седмоканалног барутног зрна коришћено је програмско решење *JKMKUT* [16], које диференцијалне једначине решава методом Рунге–Кута. Најпре се одређују коефицијенти облика у одређеним фазама сагоревања, након чега се приступа извршењу програма.

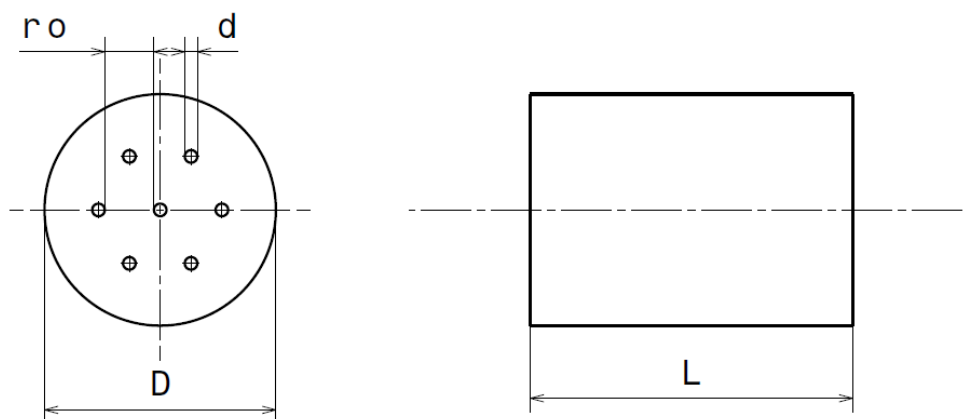
Овако реализовано програмско решење је универзално и може да се употреби за различита оружја/оруђа. За прорачун одређеног оружја/оруђа треба само датотеку улазних података модификовати или креирати нову датотеку која ће садржати конкретне податке везане за дато оружје/оруђе.

Барутно пуњење код панцирно–обележавајућег метка 30x165mm чини једно–базни барут НЦ–48. Барут има облик цилиндричног седмоканалног зрна, са једним каналом у средини и шест канала у теменима правилног шестоугаоника. Средње димензије барутног зрна су:

- Половина дебљине зида, $r_0 = 0,345\text{ mm}$,
- Пречник канала, $d = 0,18\text{ mm}$,
- Спољни пречник, $D = 3,3\text{ mm}$ и
- Дужина, $L = 4,6\text{ mm}$.



Слика 3.1. Барутно зрно, изометријски поглед



Слика 3.2. Барутно зрно, основне димензије

3.1.1. Одређивање коефицијената облика

а) Прогресивна фаза

Релативну сагорелу масу барутног зрна рачунамо по трочланој формули помоћу коефицијената облика κ , λ и μ у функцији релативне сагореле дебљине барутног зрна y .

Ради даљег прорачуна потребно је извршити параметризацију димензија барутног зрна у функцији r_0 :

$$r_0 = 0,345mm$$

$$d = 0,18mm \quad \Rightarrow d = 0,522 \cdot r_0$$

$$D = 3,3mm \quad \Rightarrow D = 9,565 \cdot r_0$$

$$L = 4,6mm \quad \Rightarrow L = 13,333 \cdot r_0$$

На основу треће претпоставке геометријског закона сагоревања барута, која каже да се сагоревање барутног зрна одвија по паралелним слојевима, односно да након истека времена t фронт пламена пређе пут r_0 , барутно зрно ће имати следеће димензије на крају прве, прогресивне, фазе сагоревања:

$$D_1 = D - 2 \cdot r_0 = 7,565 \cdot r_0 \quad (3.1)$$

$$d_1 = d + 2 \cdot r_0 = 2,522 \cdot r_0 \quad (3.2)$$

$$L_1 = L - 2 \cdot r_0 = 11,333 \cdot r_0 \quad (3.3)$$

За вредности $d = 0,522 \cdot r_0$, $D = 9,565 \cdot r_0$ и $L = 13,333 \cdot r_0$, одређујемо почетну запремину барутног зрна, а затим запремину у произвољном тренутку времена.

Почетна површина основе барутног зрна:

$$Bo = \frac{D^2 \pi}{4} - 7 \cdot \frac{d^2 \pi}{4} \quad (3.4)$$

$$Bo = \frac{(9,565 \cdot r_0)^2 \pi}{4} - 7 \cdot \frac{(0,522 \cdot r_0)^2 \pi}{4}$$

$$Bo = 70,358 \cdot r_0^2 \quad (3.5)$$

Почетна запремина барутног зрна:

$$Wzo = Bo \cdot L \quad (3.6)$$

$$Wzo = 70,358 \cdot r_0^2 \cdot 5 \cdot 13,333 \cdot r_0$$

$$Wzo = 937,629 \cdot r_0^3 \quad (3.7)$$

Површина основе барутног зрна на крају прве фазе:

$$B = \frac{(D - 2 \cdot r)^2 \pi}{4} - 7 \cdot \frac{(d + 2 \cdot r)^2 \pi}{4} \quad (3.8)$$

$$B = \frac{(9,565 \cdot r_0 - 2 \cdot r)^2 \pi}{4} - 7 \cdot \frac{(0,522 \cdot r_0 + 2 \cdot r)^2 \pi}{4}$$

$$B = 70,324 \cdot r_0^2 - 41,508 \cdot r_0 \cdot r - 18,84 \cdot r^2 \quad (3.9)$$

Запремина барутног зрна на крају прве фазе:

$$Wz = B \cdot (L - 2 \cdot r) \quad (3.10)$$

$$Wz = (70,324 \cdot r_0^2 - 41,508 \cdot r_0 \cdot r - 18,84 \cdot r^2) \cdot (13,333 \cdot r_0 - 2 \cdot r)$$

$$Wz = 937,629 \cdot r_0^3 - 694,074 \cdot r_0^2 \cdot r - 168,178 \cdot r_0 \cdot r^2 + 37,68 \cdot r^3 \quad (3.11)$$

Релативно сагорела маса барута:

$$\psi = 1 - \frac{Wz}{Wz_0} \quad (3.12)$$

$$\psi = 1 - \frac{937,629 \cdot r_0^3 - 694,074 \cdot r_0^2 \cdot r - 168,178 \cdot r_0 \cdot r^2 + 37,68 \cdot r^3}{937,629 \cdot r_0^3}$$

$$\psi = 1 - (1 - 0,74024 \cdot \frac{r}{r_0} - 0,17936 \cdot \frac{r^2}{r_0^2} + 0,04018 \cdot \frac{r^3}{r_0^3})$$

$$y = \frac{r}{r_0} \Rightarrow \psi = 0,74024 \cdot y + 0,17936 \cdot y^2 - 0,04018 \cdot y^3$$

$$\psi = 0,74024 \cdot y \cdot (1 + 0,24224 \cdot y - 0,05427 \cdot y^2)$$

$$\psi = \kappa \cdot y + (1 + \lambda \cdot y + \mu \cdot y^2) \quad (3.13)$$

Из ових једнакости добијамо коефицијенте облика:

$$\kappa = 0,74024 \quad (3.14)$$

$$\lambda = 0,24224 \quad (3.15)$$

$$\mu = -0,05427 \quad (3.16)$$

Коефицијенти облика κ_1 и λ_1 рачунају се према обрасцима:

$$\kappa_1 = \kappa \cdot (1 - \frac{\mu}{2}) \quad (3.17)$$

$$\kappa_1 = 0,74024 \cdot (1 - \frac{-0,05427}{2})$$

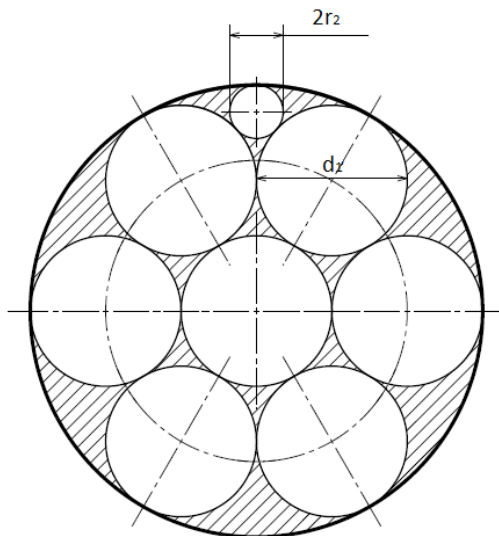
$$\kappa_1 = 0,76033 \quad (3.18)$$

$$\lambda_1 = \frac{1}{\kappa_1} - 1 = \frac{1}{0,76033} - 1 \quad (3.19)$$

$$\lambda_1 = 0,31521 \quad (3.20)$$

б) Дегресивна фаза

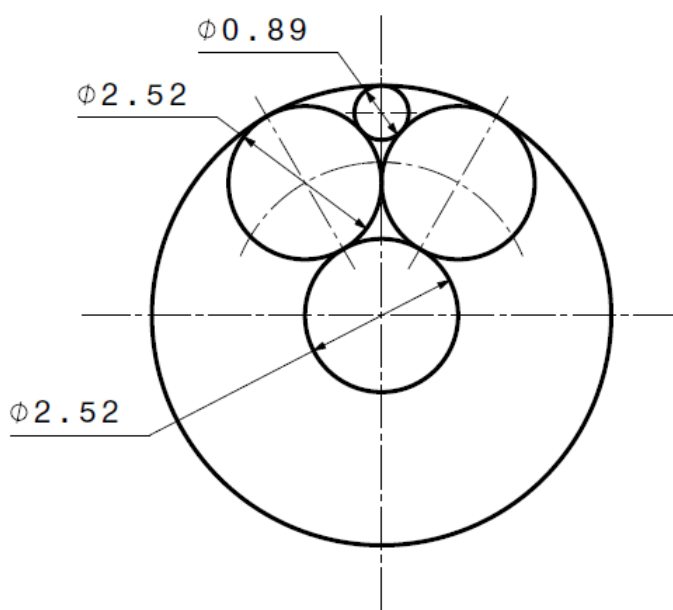
После распада остаје 12 штапића који даље сагоревају дегресивно. Због њихове сложене геометрије, ради лакшег рачуна њихове базе (розете) апроксимирају се круговима који су уписани у дате розете (слика 3.3). Полупречници уписаних кругова су r_2 . Они су потребни за добијање вредности u_k за крај сагоревања.



Слика 3.3. Круг уписан у розету, крај прогресивне фазе сагоревања

Након прорачуна коришћењем софтвера CATIA V5R21, добија се вредност пречника круга уписаног у розету (слика 3.4):

$$\begin{aligned} 2r_2 &= 0,893 \cdot r_0 \\ \Rightarrow r_2 &= 0,4465 \cdot r_0 \end{aligned} \quad (3.21)$$



Слика 3.4. Прорачун вредности u_k на крају прогресивне фазе сагоревања

Вредност y на крају сагоревања (y_k) рачуна се као:

$$y_k = \frac{r_0 + r_2}{r_0} \quad (3.22)$$

$$y_k = \frac{r_0 + 0,4465 \cdot r_0}{r_0}$$

$$y_k = 1,4465 \quad (3.23)$$

За сагоревање остатака усвајају се двочлане формуле за Ψ и σ , тако да се добија:

$$\psi = \psi_1 + \kappa_2 \cdot (y-1) \cdot [1 + \lambda_2 \cdot (y-1)] \quad (3.24)$$

$$\sigma = \sigma_1 + 2 \cdot \lambda_2 \cdot (y-1) \quad (3.25)$$

Коефицијенти облика κ_2 и λ_2 из ове две једначине, стављајући услове за крај сагоревања ($y=y_k$, $\Psi=1$, $\sigma=1$), су:

$$\lambda_2 = -\frac{1}{2 \cdot (y_k - 1)} \quad (3.26)$$

$$\lambda_2 = -\frac{1}{2 \cdot (1,4465 - 1)}$$

$$\lambda_2 = -1,11982 \quad (3.27)$$

$$\kappa_2 = \frac{2 \cdot (1 - \psi_1)}{y_k - 1} \quad (3.28)$$

Релативно сагорела маса барута на крају прве фазе:

$$\psi_1 = 1 - \frac{Wz_1}{Wz_0} \quad (3.29)$$

Вредност Wz_1 добијамо када у израз за Wz унесемо следећу релацију:

$$r = r_0$$

Дакле:

$$Wz = 937,629 \cdot r_0^3 - 694,074 \cdot r_0^2 \cdot r - 168,178 \cdot r_0 \cdot r^2 + 37,68 \cdot r^3$$

$$Wz_1 = 937,629 \cdot r_0^3 - 694,074 \cdot r_0^2 \cdot r_0 - 168,178 \cdot r_0 \cdot r_0^2 + 37,68 \cdot r_0^3$$

$$Wz_1 = 113,057 \cdot r_0^3 \quad (3.30)$$

Даље следи:

$$\psi_1 = 1 - \frac{Wz_1}{Wz_0} \quad (3.31)$$

$$\psi_1 = 1 - \frac{113,057 \cdot r_0^3}{937,629 \cdot r_0^3}$$

$$\psi_1 = 0,87942 \quad (3.32)$$

Када је израчуната вредност ψ_1 , може се приступити израчунавању коефицијента κ_2 :

$$\kappa_2 = \frac{2 \cdot (1 - \psi_1)}{y_k - 1} \quad (3.33)$$

$$\kappa_2 = \frac{2 \cdot (1 - 0,87942)}{1,4465 - 1}$$

$$\kappa_2 = 0,54011 \quad (3.34)$$

3.1.1.1. Програмско решење

Након одређивања коефицијената облика, приступа се извршењу програма. Програмско решење користи следеће улазне податке [16, 18] :

Подаци за топ/пројектил:

- дужина цеви, $l_u = 2,2665 \text{ m}$
- површина попречног пресека цеви, $S = 0,000729 \text{ m}^2$
- запремина барутне коморе, $W_0 = 0,000127 \text{ m}^3$
- маса пројектила, $q = 0,4 \text{ kg}$
- притисак форсирања, $p_0 = 50 \text{ bar}$
- коефицијент фиктивности, $fi = 1,114$

Подаци о баруту:

- маса барута, $m_b = 0,125 \text{ kg}$
- специфичан рад барутних гасова, $f_b = 870 \text{ KJ/kg}$
- јединична брзина сагоревања барута, $u_{z0} = 9,2E(-10) \text{ m/s}$
- коволумен барутних гасова, $\alpha = 0,00097 \text{ m}^3 / \text{kg}$
- запреминска маса барута, $\rho = 1600 \text{ kg} / \text{m}^3$
- однос специфичних топлота, $\kappa = 1,24$
- половина дебљине барутног зрна, $r_0 = 0,000345 \text{ mm}$
- пречник канала, $d = 0,00018 \text{ mm}$
- пречник барутног зрна, $D = 0,0033 \text{ mm}$
- дужина барутног зрна, $L = 0,0046 \text{ mm}$
- вредност у на крају сагоревања, $y_k = 1,4465$
- коефицијенти облика, $\kappa, \lambda, \mu, \kappa_1, \lambda_1, \kappa_2, \lambda_2$

Табела 3. Улазна датотека *ULK30*; Програмско решење *JKMKUT*

0,000127	0,000729	2.2665	0,4	0,125	1600	0,00097
0,000345	0,00018	0,0033	0,0046	1,114		
870	50	9,2E(-10)	0	0	0	1,4465
0,74024	0,24224	-0,05427	0,76033	0,31521	0,54011	-1,11982
'PA TOP 30 mm'	'NC-48'					

За потребе анализе процеса сагоревања барутног зрна програмско решење *JKMKUT* је модификовано и прилагођено, што се може видети у следећој синтакси:

```

PROGRAM JKMUT
CHARACTER OR*16,BARUT*8
DIMENSION AK(5),AKT(5)
COMMON EM,FI,AIK,H,VL,SC,AMB,FB,A,XD,Y0,YK
COMMON AKAP1,ALAM1,AMI1,PSIK,AKAP2,ALAM2
OPEN (60,FILE='ULK30')
OPEN (61,FILE='ILK30')
READ(60,*)
READ(60,*)
READ(60,*)
READ(60,*)
READ(60,*)

```

W0,SC,XU,EM,AMB,ROB,ALFA R0,DM,DV,C,FI FB,P0,UZ0,V0,X0,T0,YK AKAP1,ALAM1,AMI1,AKAP,ALAM,AKAP2,ALAM2 OR, BARUT
--

Приликом испитивања муниције 30 mm са панцирно-обележавајућим пројектилом добијају се следеће вредности [18]:

- Средња почетна брзина пројектила, $v_0 = (970 \pm 15) m/s$ и
- Максимални притисак барутних гасова, $P_m = 3800 bar$.

Након извршења програма добијају се резултати прорачуна који су дати у излазној датотеци *ILK30* која се налази у прилогу 1. Најважнији подаци који се добијају анализом процеса сагоревања барутног зрна приликом опаљења су почетна брзина пројектила, односно брзина на устима цеви, и максимални притисак барутних гасова. Почетна брзина пројектила се дефинише као брзина кретања коју пројектил постигне у тренутку лансирања из цеви, односно у моменту одвајања дна пројектила од „уста“ цеви. Прорачуном је добијена вредност од $962 m/s$, што се слаже са табличним вредностима за пројектил овог калибра. Такође, и вредност максималног притиска барутних гасова се налази у дозвољеним границама. Наравно, вредности почетне брзине и максималног притиска барутних гасова зависе од великог броја фактора и могу варирати у одређеном опсегу, али се дати опсег мора испоштовати. Уколико се вредности умногоме разликују од табличних, приступа се анализи процеса и утврђивању нежељених појава.

Пошто вредност почетне брзине пројектила задовољава табличне вредности, може се са датом вредношћу од $v_0 = 970 m/s$ приступити спољно-балистичком прорачуну где ће бити извршена анализа кретања пројектила почев од „уста“ цеви до падне тачке.

3.2. Анализа кретања пројектила – СБ прорачун

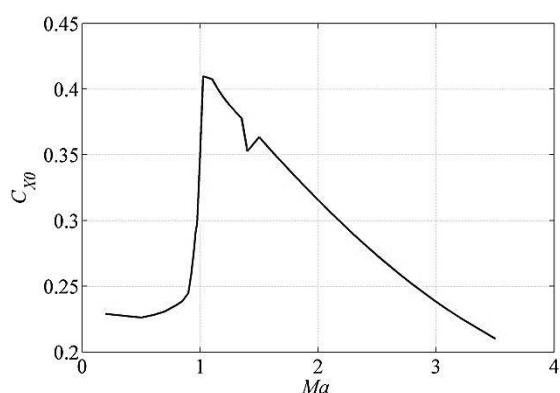
3.2.1. Прорачун аеродинамичких коефицијената при симетричном опструјавању пројектила

Прорачун аеродинамичких коефицијената при симетричном опструјавању пројектила за сва три струјна режима се врши коришћењем програмског решења ADK0 [19].

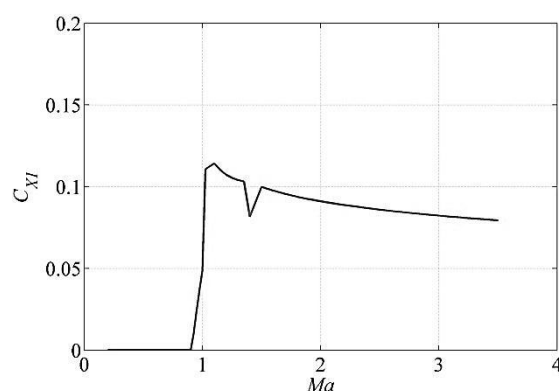
Табела 4. Улазна датотека ADK0U.DAT

Калибар пројектила	Дужина пројектила	Дужина предњег дела	Однос полупр. оживала	Дужина задњег конуса	Пречник дна	Пречник врха	Пречник водећег прстена	Положај ЦМ од врха
<i>mm</i>	<i>cal</i>	<i>cal</i>	–	<i>cal</i>	<i>cal</i>	<i>cal</i>	<i>cal</i>	<i>cal</i>
30	4,633	2,8	0,45	0,766	1,0	0,1466	1,048	3,006

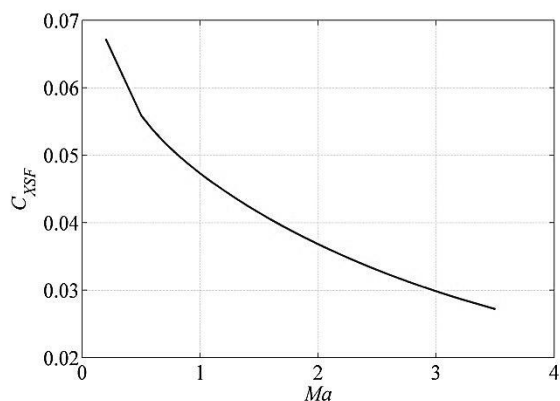
На основу излазне датотеке ADK0R1.DAT, (прилог 2), добија се графички приказ резултата аеродинамичких коефицијената отпора.



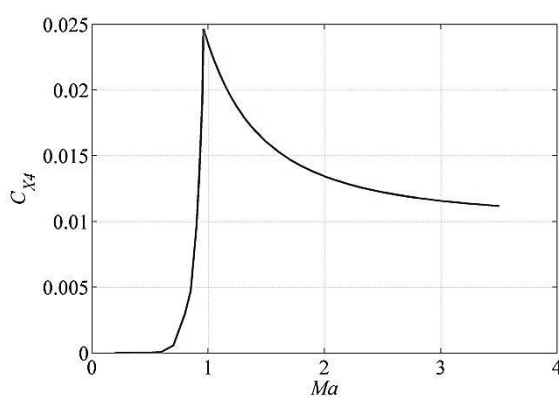
Слика 3.5. Укупни аеродинамички коефицијент отпора аксијалне силе



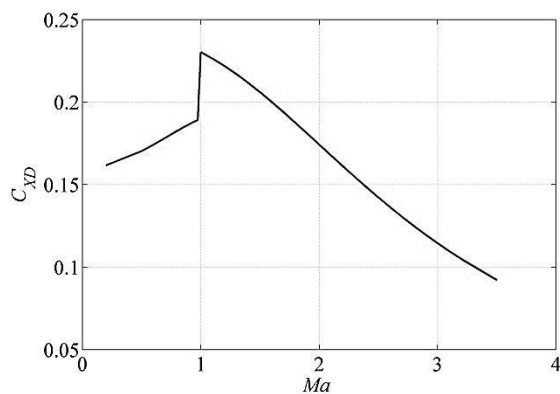
Слика 3.6. Коефицијент таласног отпора предњег дела



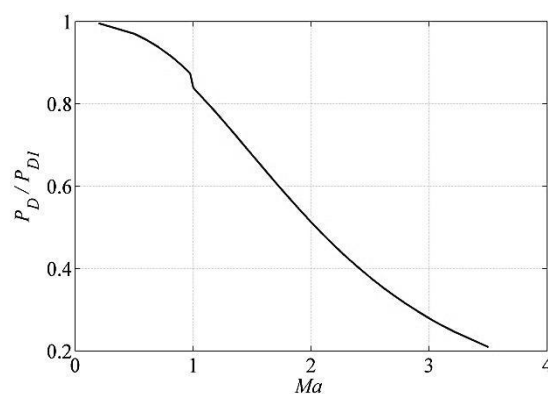
Слика 3.7. Коефицијент отпора трења



Слика 3.8. Коефицијент отпора водећег прстена



Слика 3.9. Коефицијент отпора дна пројектила

Слика 3.10. Однос P_D/P_{D1}

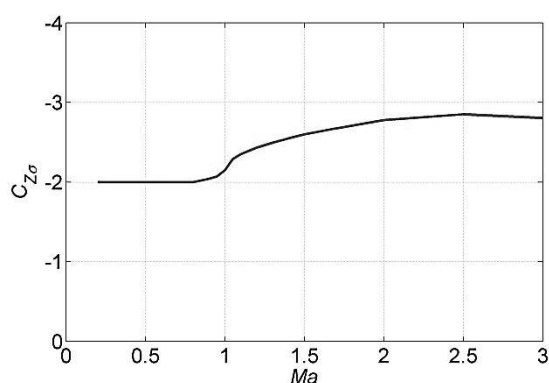
3.2.2. Прорачун аеродинамичких коефицијената при несиметричном опструјавању пројектила

Прорачун аеродинамичких коефицијената при несиметричном опструјавању пројектила за сва три струјна режима се врши коришћењем програмског решења ADK1 [19].

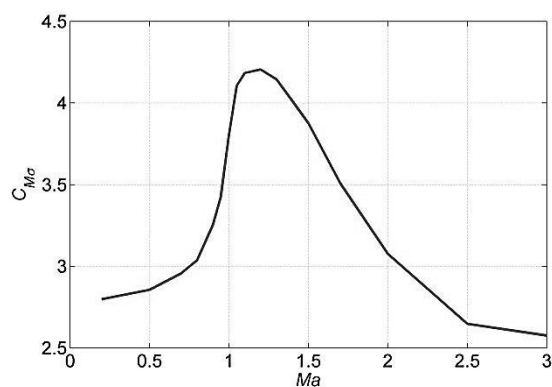
Табела 5. Улазна датотека CONFIG.DAT

Калибар пројектила	Дужина пројектила	Дужина конуса предњег дела	Дужина оживала	Угао тангенте оживала и цилиндричног дела		
<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	°		
0,03	0,139	0	0,084	5		
Радијус оживала	Пречник предњег затупљења	Дужина предњег затупљења	Пречник дна	Дужина задњег конуса	Растојање тежишта од врха	Напа- дни угао
<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	°
0,4	0	0	0,03	0	0,09017	0

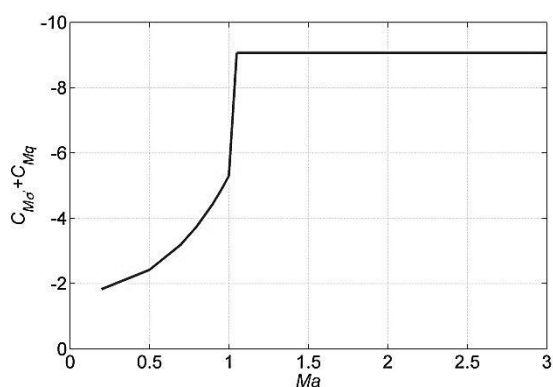
На основу излазних датотека *ADCHAR.DAT* (прилог 2) *KOEFIC.DAT*, *DERIV.DAT*, *STGFAD.DAT* добија се графички приказ резултата.



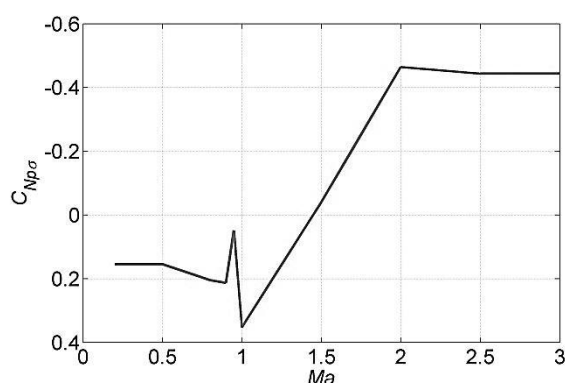
Слика 3.11. Зависност дериватива АДК нормалне силе



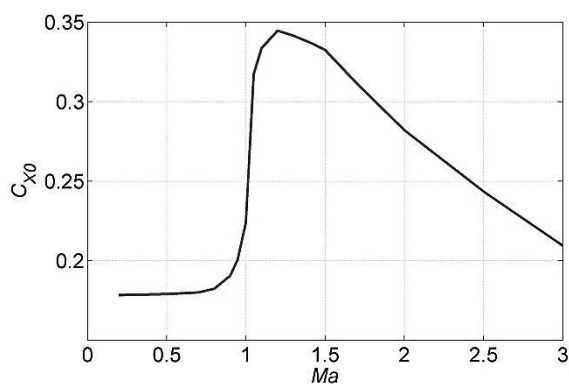
Слика 3.12. Зависност статичког дериватива АДК момента пропињања



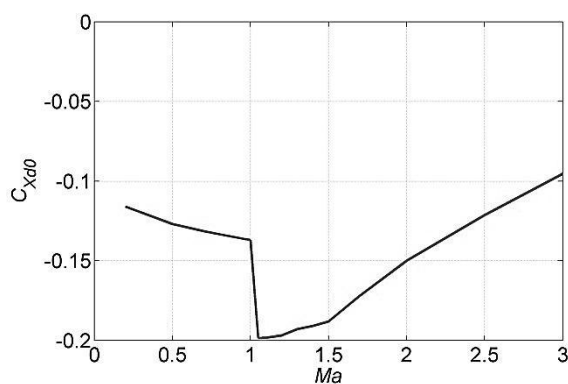
Слика 3.13. Зависност динамичког дериватива АДК момента пропињања



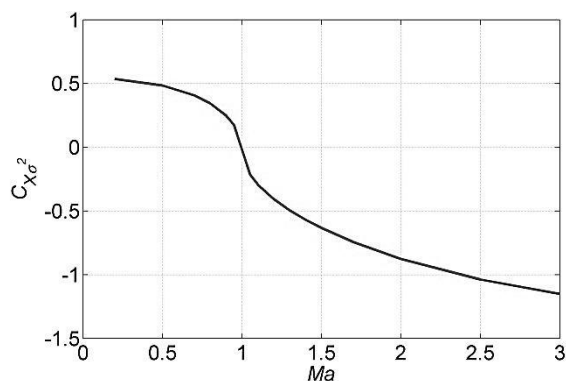
Слика 3.14. Зависност дериватива АДК момента скретања



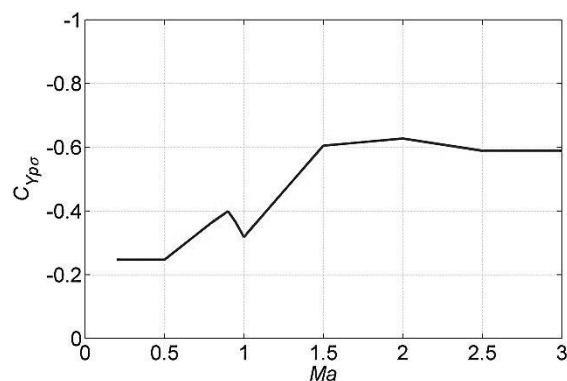
Слика 3.15. Зависност АДК аксијалне силе



Слика 3.16. Зависност АДК аксијалне силе дна



Слика 3.17. Зависност дериватива АДК аксијалне силе



Слика 3.18. Зависност дериватива АДК бочне силе

3.2.3. Прорачун елемената путање

Прорачун елемената путање пројектила се врши коришћењем програмског решења SB6 [19].

Табела 6. Улазна датотека SB6U.DAT

Почетно време	Прорачунски корак	Начин заустављања прорачуна – гранични подаци	Интервал и корак прорачуна параметара стабилности	
s	—	m	—	
0	0,0005	15000	10;1	
Компоненте ветра	Почетни положај пројектила	Почетна брзина пројектила	Почетна угаона брзина	Угловни почетни положај пројектила – став
m / s	m	m / s	$1 / s$	$^{\circ}$
0;0;0	0;0;0	970	7253	3

Угаона брзина p се рачуна:

$$\beta_c = 6^{\circ} 24'$$

$$p = \frac{2 \cdot V \cdot \operatorname{tg} \beta_c}{d} \quad (3.35)$$

$$p = \frac{2 \cdot 970 \cdot \operatorname{tg}(6^{\circ} 24')}{0,03}$$

$$p = 7253 s^{-1}$$

Табела 7. Подаци из потпрограма MXCI

Положај центра масе	Главни моменти инерције	Пречник пројектила	Маса пројектила
m	$kg \cdot m^2$	m	kg
0,09017	$I_x=4,757 E(-05)$ $I_y=2,83 E(-04)$	0,03	0,4

Табела 8. Подаци из потпрограма SAK, део 1

Ma	0,2	0,5	0,7	0,9	1,0	1,05	1,1
C_{xo}	-0,229	-0,226	-0,231	-0,245	-0,349	-0,409	-0,407
$C_{yp\sigma}$	-0,247	-0,247	-0,325	-0,399	-0,318	-0,347	-0,375
$C_{z\sigma}$	-2,000	-2,000	-1,970	-2,040	-2,150	-2,290	-2,350
$C_{M\sigma}$	2,800	2,860	2,960	3,250	3,800	4,110	4,180
$C_{Np\sigma}$	0,150	0,150	0,190	0,210	0,350	0,310	0,270
C_{Mq}	-0,800	-1,000	-1,300	-1,800	-2,200	-3,800	-3,800
$C_{X\sigma^2}$	0,536	0,484	0,407	0,249	-0,018	-0,212	-0,292

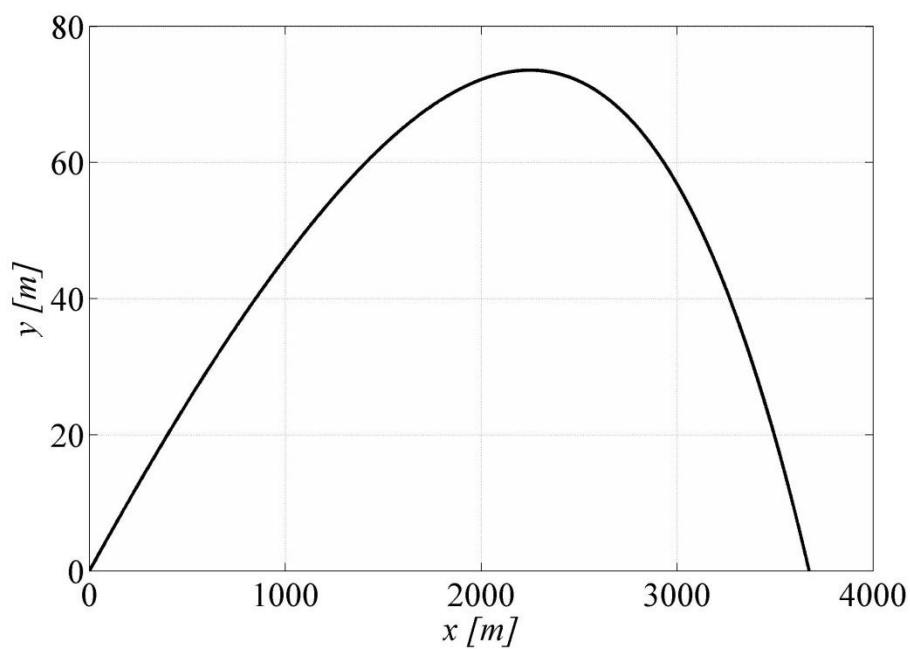
Табела 9. Подаци из потпрограма SAK, део 2

Ma	1,2	1,3	1,5	2,0	2,5	3,0
C_{xo}	-0,393	-0,382	-0,363	-0,315	-0,273	-0,238
$C_{yp\sigma}$	-0,433	-0,490	-0,605	-0,627	-0,589	-0,589
$C_{z\sigma}$	-2,430	-2,490	-2,600	-2,780	-2,850	-2,800
$C_{M\sigma}$	4,210	4,140	3,880	3,080	2,650	2,580
$C_{Np\sigma}$	0,200	0,120	-0,040	-0,460	-0,440	-0,440
C_{Mq}	-3,800	-3,800	-3,800	-3,800	-3,800	-3,800
$C_{X\sigma^2}$	-0,406	-0,494	-0,633	-0,876	-1,038	-1,151

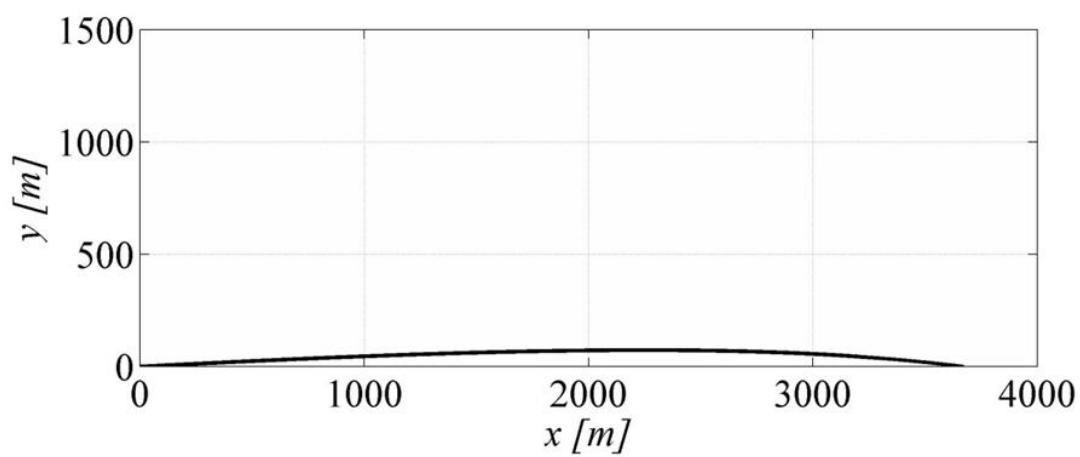
Табела 10. Излазна датотека SB61.DAT, делимичан приказ

$T[s]$	$X[m]$	$Y[m]$	$Z[m]$	$V[m/s]$	$\gamma[^\circ]$	$p[s^{-1}]$
0,000	0	0,00	0,00	970,0	3,0	7253,0
0,265	250	12,69	0,01	905,5	2,8	6963,4
0,555	500	24,81	0,04	841,0	2,7	6681,5
0,862	750	35,91	0,10	780,0	2,4	6414,8
1,195	1000	46,00	0,19	719,0	2,2	6159,3
1,560	1250	55,00	0,31	660,0	1,9	5911,7
1,955	1500	62,51	0,47	604	1,5	5676,0
2,390	1750	68,35	0,67	551,0	1,1	5448,8
2,865	2000	72,20	0,93	500,0	0,6	5232,0
3,390	2250	73,57	1,24	452,9	0,0	5023,5
3,970	2500	71,96	1,61	408,5	-0,8	4823,9
4,615	2750	66,67	2,07	366,9	-1,7	4631,7
5,335	3000	56,79	2,64	331,9	-2,9	4446,4
6,120	3250	41,37	3,35	307,8	-4,2	4268,5
6,960	3500	19,50	4,26	288,9	-5,8	4097,3
7,578	3673	0,00	5,02	276,7	-7,0	3981,8

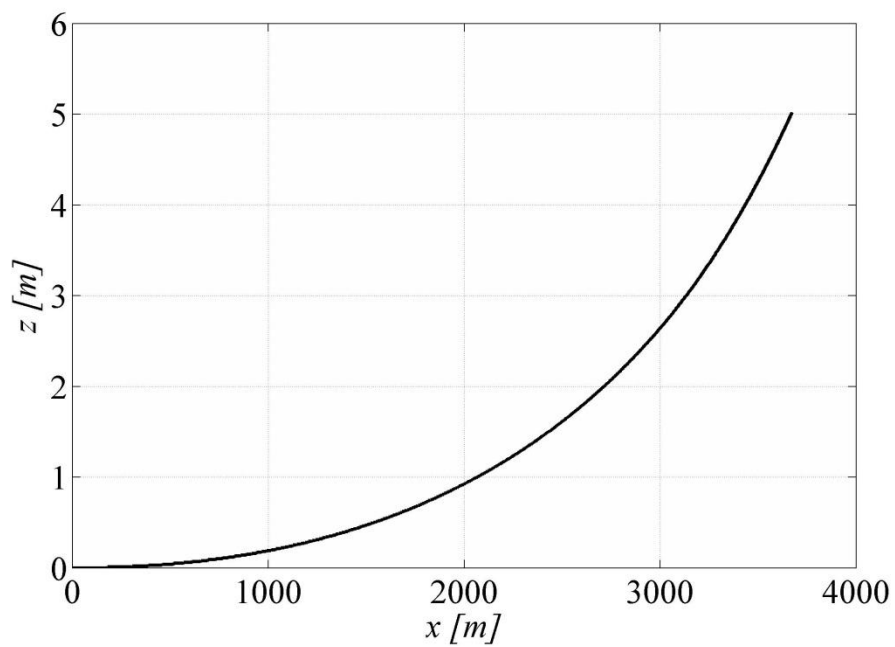
На основу излазне датотеке *SB61.DAT* добија се графички приказ резултата за полазни угао од 3° .



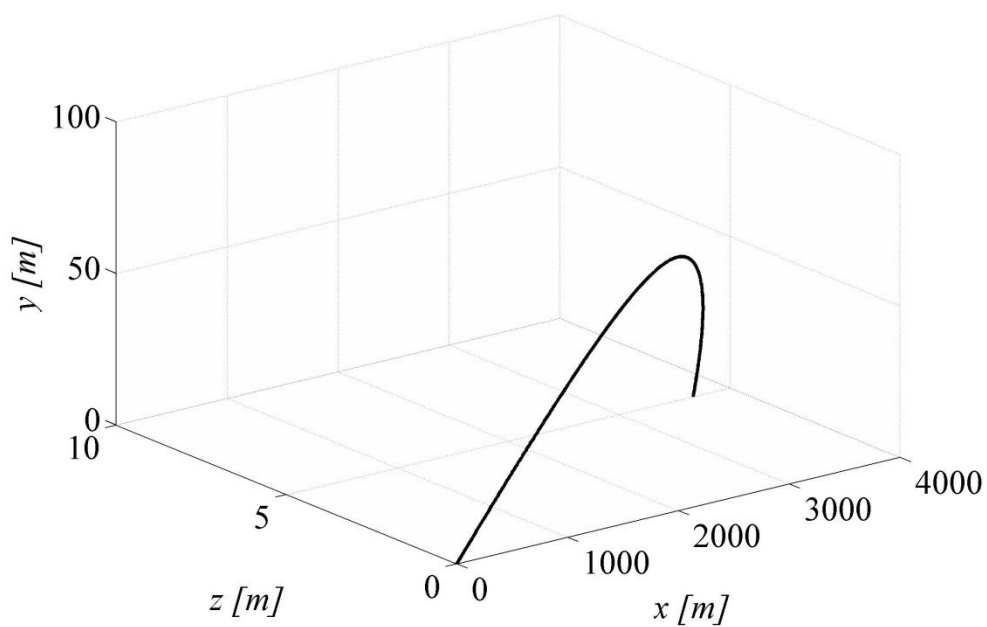
Слика 3.19. Путања пројектила у вертикалној равни, $y = f(x)$, неједнака подела на осама



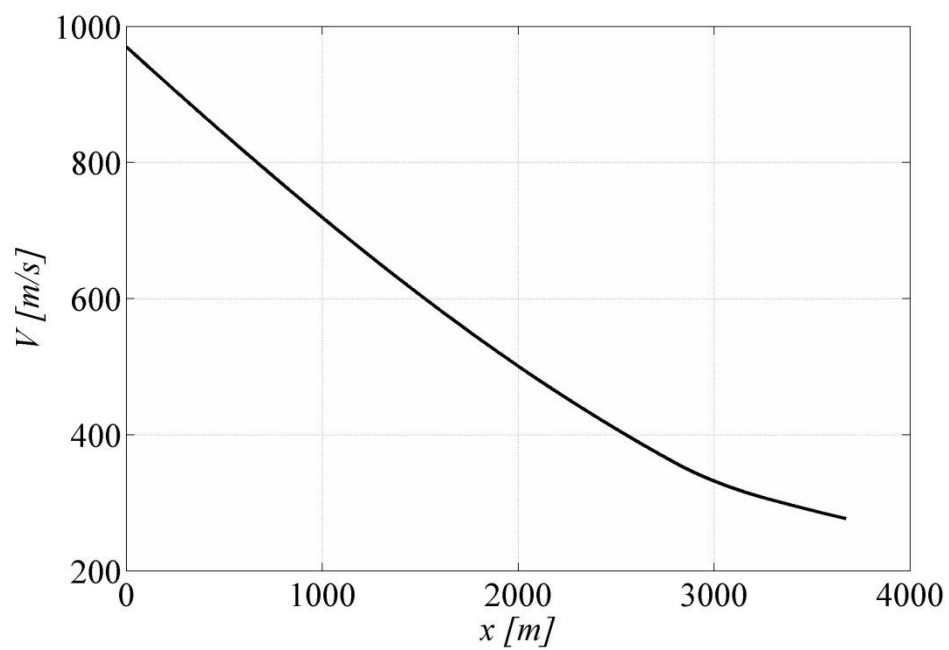
Слика 3.20. Путања пројектила у вертикалној равни, $y = f(x)$, једнака подела на осама



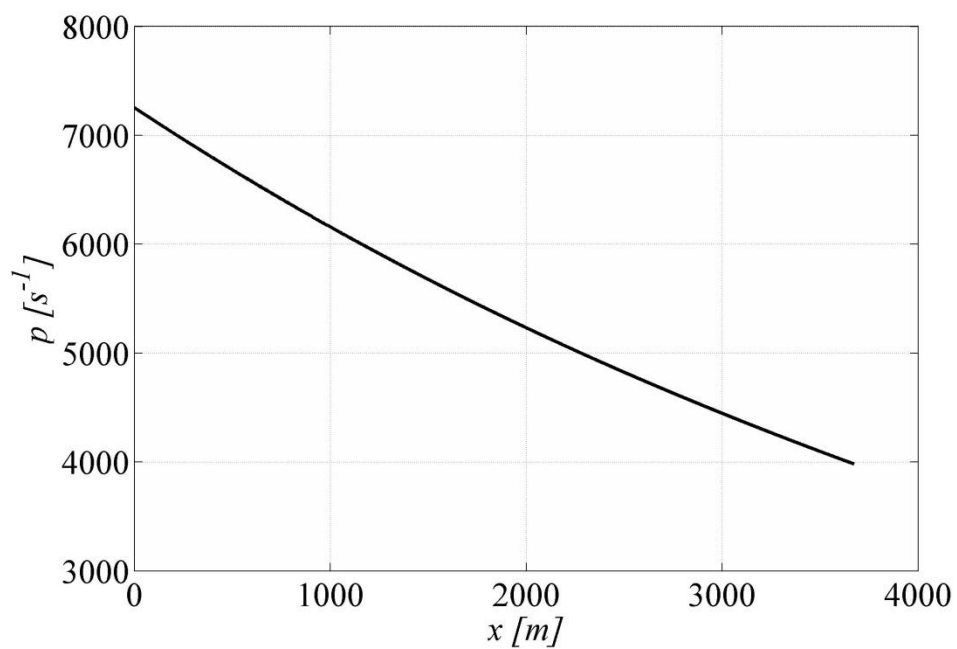
Слика 3.21. Путања пројектила у хоризонталној равни, $z = f(x)$



Слика 3.22. Путања пројектила у простору



Слика 3.23. Промена брзине пројектила дуж путање, $v = f(x)$



Слика 3.24. Промена уздужне угаоне брзине пројектила дуж путање, $p = f(x)$

3.3. Прорачун пенетрације

Прорачун пенетрације панцирног пројектила калибра 30 mm (цртеж прилог 4) биће извршен према емпиријској формули *J. de Marre*–а. На основу овог обрасца одређује се брзина балистичког лимита (v_L), уколико су познате карактеристике пенетратора и препреке:

- K – опитни коефицијент који се у зависности од материјала препреке и облика пенетратора одређује експерименталним путем,
- e – дебљина препреке у dm ,
- d – калибар пројектила у dm ,
- m – маса пројектила у kg и
- p и n – параметри који се разликују у зависности од концепта, табела 10.

Лимитна брзина, v_L , која је потребна за пробијање препреке дебљине e , рачуна се на следећи начин:

$$v_L = K \frac{e^n d^p}{m^{0,5}}$$

Израз важи за случај нормалног удара пенетратора у преперку ($\theta = 90^\circ$). У случају косог удара ($\theta < 90^\circ$), десну страну ових једначина потребно је помножити фактором b при чему је:

$$b = \frac{1}{\sin^c \theta}$$

где је c параметар који зависи од облика пенетратора и припада интервалу $[1, 2]$.

Табела 11. Параметри p и n у генерализованој формули *J. de Marre*–а

Аутор	p	n
<i>J. de Marre</i>	0,75	0,7
<i>Euler</i>	1,0	0,5
<i>Nobble</i>	0,5	1,0
<i>Krupp</i>	5/6	2/3

Како се бездимензиони коефицијент K зависи од великог броја фактора, потребно је извршити његов прорачун на основу одређених експерименталних података, као и података произвођача о пробојности одређене врсте панцирних пројектила на челичним плочама.

Коефицијент K се рачуна инверзно, односно на основу података о ударној брзини пројектила одређених габарита и подацима о дебљини препреке коју пробија. Након овога биће извршен прорачун пробојности панцирних плоча дебљина 10 mm , 20 mm , 30 mm , 40 mm и 50 mm са коефицијентом K који је добијен рачуном.

У табели 11 дате су вредности пробојности плоча одређене дебљине панцирним пројектиlima различитог калибра који се користе код противавионских топова са вредностима њихових лимитних брзина.

Табела 12. Подаци о пробојности одређених врста пројектила [12, 14, 18]

Пројектил	Калибар пројектила, [dm]	Маса пројектила, [kg]	Лимитна брзина, [m / s]	Дебљина плоче, [dm]	Нападни угао, [°]
APDS-T	0,25	0,149	874	0,25	60
SAPHEI-T	0,25	0,185	825	0,13	30
AP-T	0,30	0,400	750	0,40	90
AP-T L/60	0,40	0,960	645	0,40	90

Коефицијент K се рачуна на основу изведеног обрасца:

$$K = \frac{v_L m^{0,5} \sin^c \theta}{e^n d^p}.$$

У табели 12 су дате вредности коефицијента K добијених након прорачуна са различитим вредностима експонената p и n (табела 10) за случајеве испитивања пробојности са пројектиlima описаним у табели 11.

Табела 13. Вредности коефицијента K добијени прорачуном

Пројектил	K			
	<i>J. de Marre</i>	<i>Euler</i>	<i>Nobble</i>	<i>Krupp</i>
APDS-T	2181	2337	2337	2337
SAPHEI-T	2093	1968	2730	2195
AP-T	2222	2500	2165	2383
AP-T L/60	2386	2498	2498	2498

Када су израчунате вредности коефицијента K приступа се прорачуну лимитне брзине пројектила за различите вредности K . Како се према литератури [9], коефицијент K креће у опсегу 2000 до 2400, а као што се се може закључити из табеле 13 да то потпуно задовољава само прорачун према параметрима *J. de Marre*-а, након рачуна биће приказана могућност пробојности панцирног пројектила калибра 30 mm уз помоћ дијаграма.

Табела 14. Прорачун лимитне брзине пројектила, v_L

K				$e[dm]$	$d[dm]$	$m[kg]$	$v_L [m / s]$			
K_J	K_E	K_N	K_K				$v_{L,Marre}$	$v_{L,Euler}$	$v_{L,Nobbe}$	$v_{L,Krupp}$
2181	2337	2337	2337	0,1	0,3	0,4	264	202	351	244
				0,2			444	405	496	434
				0,3			602	607	607	607
				0,4			747	810	701	771
				0,5			883	1012	784	928
2093	1968	2730	2195	0,1	0,3	0,4	253	170	410	229
				0,2			426	341	579	407
				0,3			578	511	709	570
				0,4			717	682	819	724
				0,5			847	852	916	871
2222	2500	2500	2383	0,1	0,3	0,4	269	217	325	249
				0,2			452	433	459	442
				0,3			613	650	562	619
				0,4			761	866	650	786
				0,5			899	1083	726	946
2386	2498	2498	2498	0,1	0,3	0,4	289	216	375	261
				0,2			486	433	530	464
				0,3			658	649	649	649
				0,4			817	865	749	824
				0,5			966	1082	838	992

У табели 14 су дати коефицијенти K_J , K_E , K_N и K_K који редом представљају опитне коефицијенте добијене прорачуном према експонентима *J. de Marre*-а, *Euler*-а, *Nobbe*-а и *Krupp*-а.

Након извршене спољнобалистичке анализе кретања панцирног пројектила калибра $30mm$, поседујемо податке о брзини пројектила у свим тачкама путање, од „уста“ цеви до падне тачке. Како ефикасан домет код већине противавионских пројектила износи до $2000m$, тако ће и прорачун пробојности бити извршен за дате домете. У прилогу 2 се налази табеларан приказ вредности брзине пројектила у одређеним тачкама путање, а у табели 15 се налазе подаци о карактеристичним тачкама за које ће бити анализирана пробојност панцирних плоча.

Табела 15. Брзина пројектила у карактеристичним тачкама путање

$X [m]$	$V [m / s]$
500	841
750	780
1000	719
1250	660
1500	604
1750	551
2000	500

Упоређивањем вредности лимитне брзине (табела 14) потребне да се изврши пробијање панцирне плоче одређене дебљине и вредности брзине коју пројектил поседује у карактеристичним тачкама путање (табела 15), лако се може закључити да ли ће доћи до пробоја или не. Уколико је вредност брзине пројектила у одређеној тачки путање већа од вредности лимитне брзине, долази до пробоја и обратно.

Табела 16. Табеларни приказ ефекта на циљу према експонентима *J. de Marre*–а за $K=2181$

$K=2181$		v_{500} [m / s]	v_{750} [m / s]	v_{1000} [m / s]	v_{1250} [m / s]	v_{1500} [m / s]	v_{1750} [m / s]	v_{2000} [m / s]
Дебљина плоче [dm]	v_L [m / s]	841	780	719	660	604	551	500
		Учинак	Учинак	Учинак	Учинак	Учинак	Учинак	Учинак
0,1	264	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија
0,2	444	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија
0,3	602	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија	не пробија	не пробија
0,4	747	пробија	пробија	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија
0,5	883	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија

Табела 17. Табеларни приказ ефекта на циљу према експонентима *J. de Marre*–а за $K=2093$

$K=2093$		v_{500} [m / s]	v_{750} [m / s]	v_{1000} [m / s]	v_{1250} [m / s]	v_{1500} [m / s]	v_{1750} [m / s]	v_{2000} [m / s]
Дебљина плоче [dm]	v_L [m / s]	841	780	719	660	604	551	500
		Учинак	Учинак	Учинак	Учинак	Учинак	Учинак	Учинак
0,1	253	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија
0,2	426	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија
0,3	578	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија	не пробија	не пробија
0,4	717	пробија	пробија	пробија	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија
0,5	847	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија

Табела 18. Табеларни приказ ефекта на циљу према експонентима *J. de Marre*–а за $K=2222$

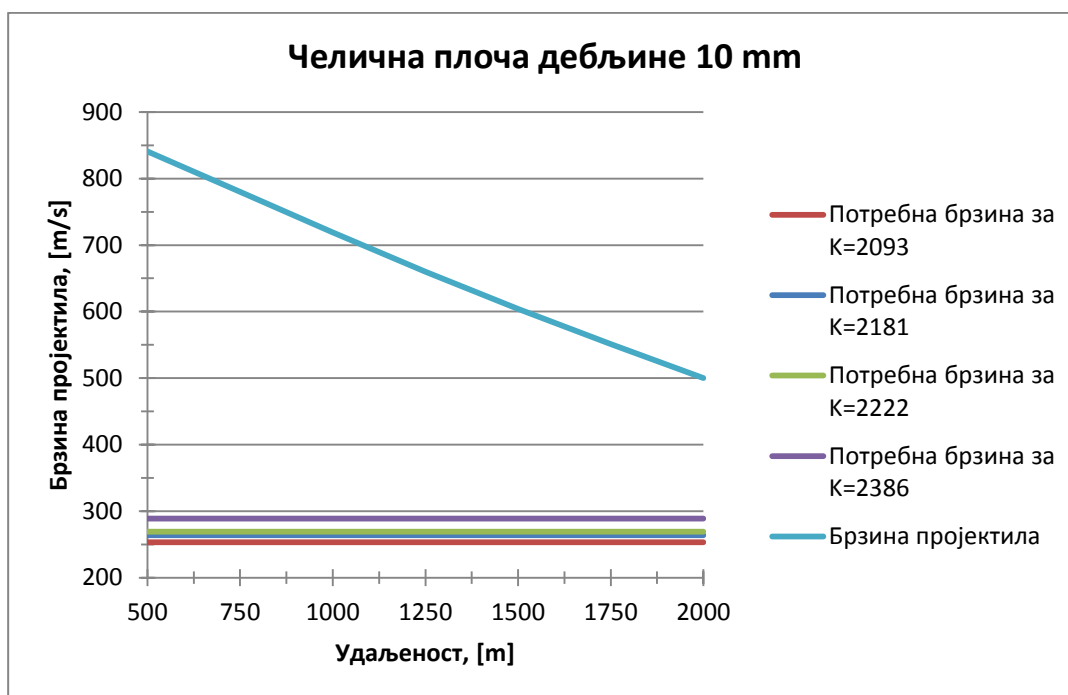
$K=2222$		v_{500} [m / s]	v_{750} [m / s]	v_{1000} [m / s]	v_{1250} [m / s]	v_{1500} [m / s]	v_{1750} [m / s]	v_{2000} [m / s]
Дебљина плоче [dm]	v_L [m / s]	841	780	719	660	604	551	500
		Учинак	Учинак	Учинак	Учинак	Учинак	Учинак	Учинак
0,1	269	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија
0,2	452	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија
0,3	613	пробија	пробија	пробија	пробија	не пробија	не пробија	не пробија
0,4	761	пробија	пробија	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија
0,5	899	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија

Табела 19. Табеларни приказ ефекта на циљу према експонентима *J. de Marre*-а за $K=2386$

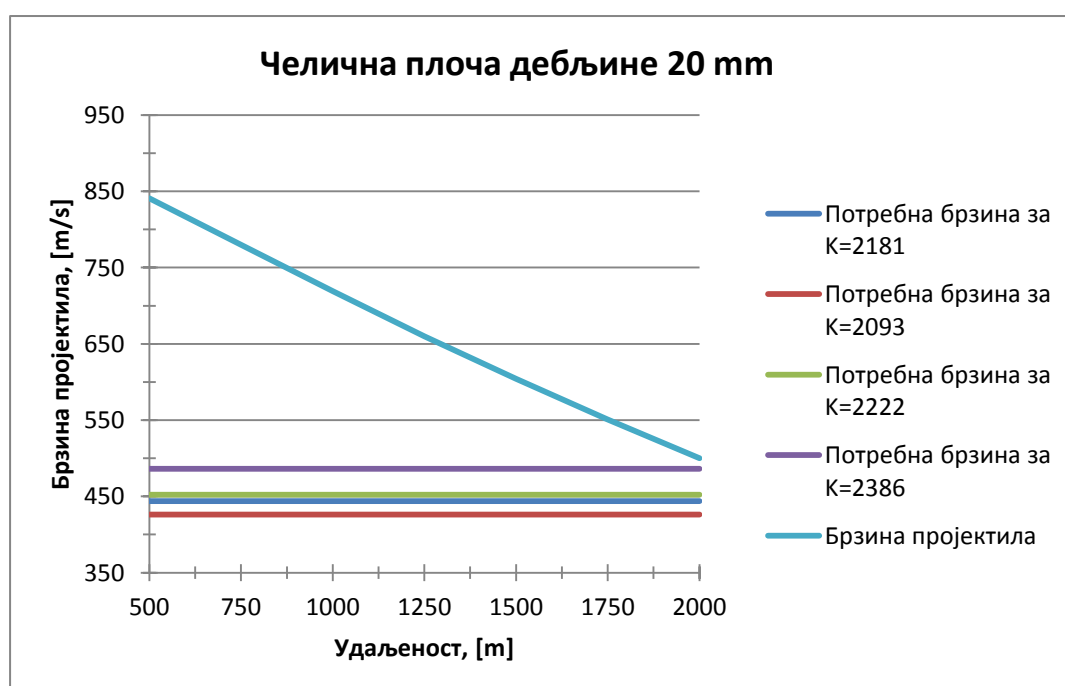
$K=2386$		v_{500} [m / s]	v_{750} [m / s]	v_{1000} [m / s]	v_{1250} [m / s]	v_{1500} [m / s]	v_{1750} [m / s]	v_{2000} [m / s]
Дебљина плоче [dm]	v_L [m / s]	841	780	719	660	604	551	500
		Учинак	Учинак	Учинак	Учинак	Учинак	Учинак	Учинак
0,1	289	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија
0,2	486	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија
0,3	658	пробија	пробија	пробија	пробија	не пробија	не пробија	не пробија
0,4	817	пробија	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија
0,5	966	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија

Идентична анализа пробојности панцирних плоча је извршена и према експонентима *Euler*-а, *Nobble*-а и *Krupp*-а, с тим што се табеларан приказ резултата налази у прилогу 3.

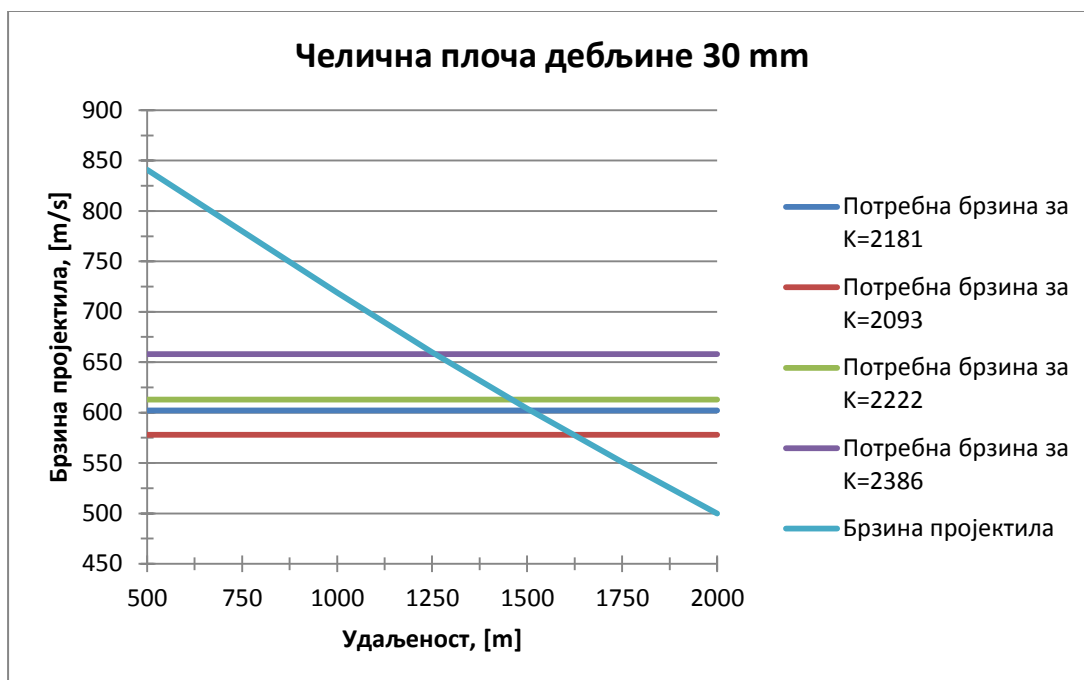
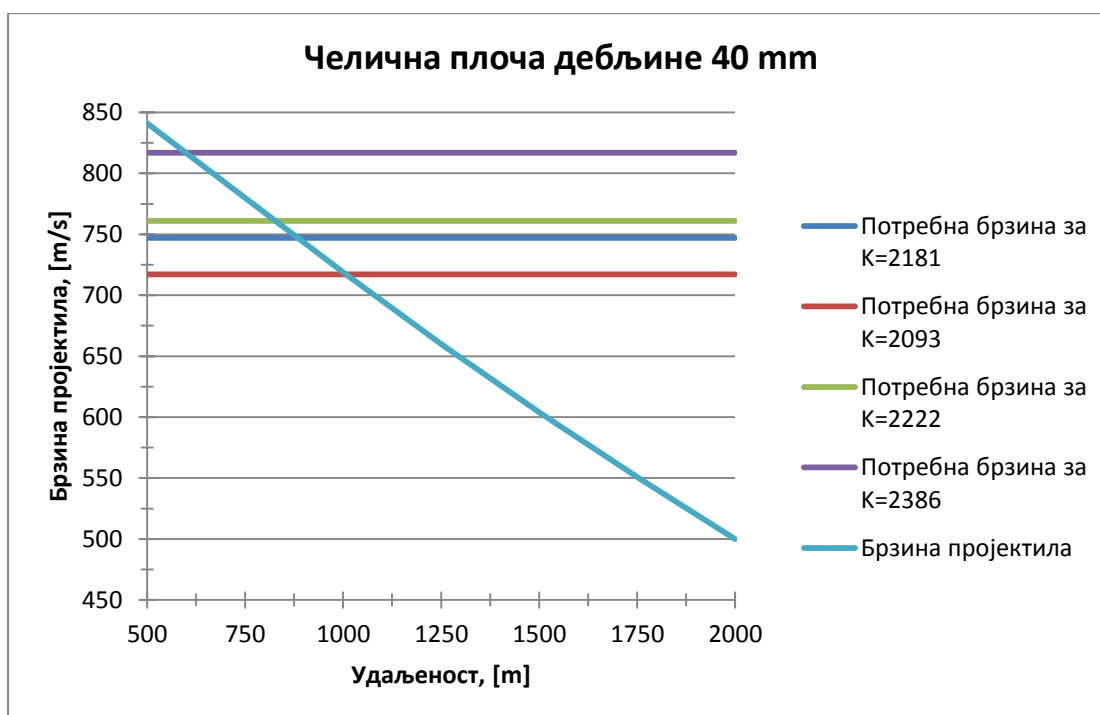
На сликама 3.25, 3.26, 3.27, 3.28. и 3.29. је представљена могућност пробојности челичних плоча дебљина 10 mm , 20 mm , 30 mm , 40 mm и 50 mm пројектилом калибра 30 mm за различите вредности коефицијента K . Са дијаграма се лако може закључити у којим тачкама путање пројектил поседује брзину довољну да изврши пробијање челичних плоча одређене дебљине.

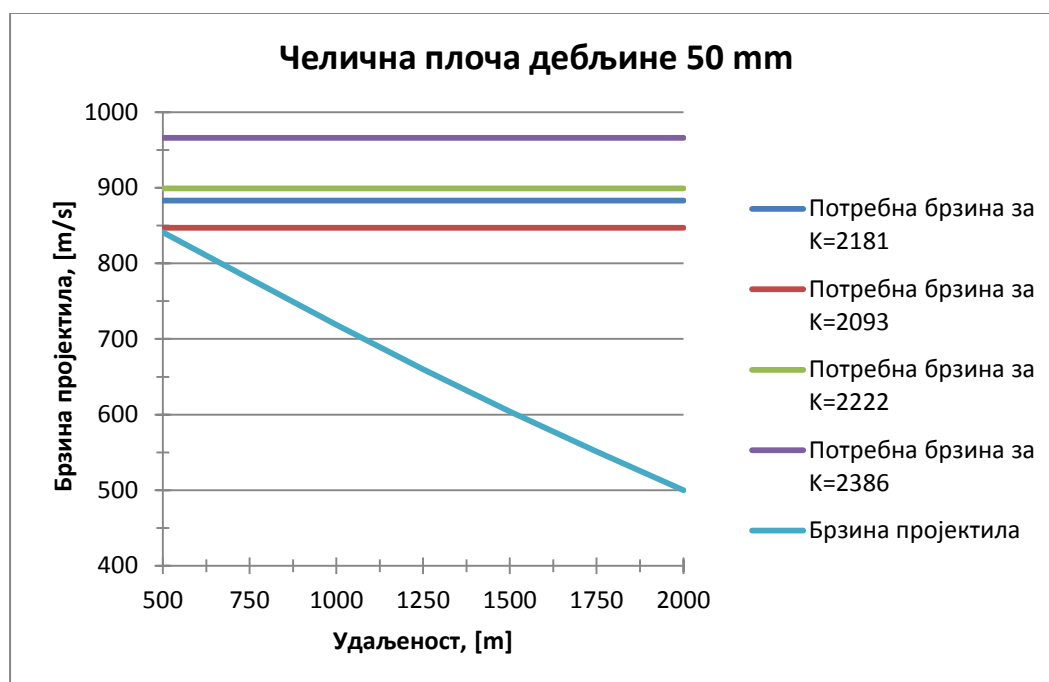


Слика 3.25. Графички приказ пробојности челичне плоче дебљине $e = 10\text{ mm}$



Слика 3.26. Графички приказ пробојности челичне плоче дебљине $e = 20\text{ mm}$

Слика 3.27. Графички приказ пробојности челичне плоче дебљине $e = 30 \text{ mm}$ Слика 3.28. Графички приказ пробојности челичне плоче дебљине $e = 40 \text{ mm}$



Слика 3.29. Графички приказ пробојности челичне плоче дебљине $e = 50 \text{ mm}$

4. Закључак

Панцирни пројектили су намењени за уништавање оклопних циљева. Они продиру у оклоп захваљујући огромној кинетичкој енергији којом располажу у моменту судара са оклопом и великој издржљивости свога тела. Ова врста пројектила се среће код противавионских топова од калибра 20 mm , па до оних најтежих, односно код свих топова где је пројектилу могуће дати такву почетну брзину да путања буде положена, а ударна брзина толика да је кинетичка енергија пројектила довољна да савлада отпор тврде препреке, панцира.

У раду је представљена фамилија муниције калибра 30 mm , као и оруђа код којих се ова муниција користи. Дефинисан је модел пројектила на основу података о постојећим врстама панцирних пројектила истог калибра.

На основу података добијених експерименталним путем, од произвођача или из одређене литературе, извршена је анализа кретања и дејства на циљу панцирног пројектила калибра 30 mm .

Анализа процеса сагоревања барутног пуњења у цеви оруђа је извршена за барутно пуњење које се састоји од седмоканалног барута зрна које се користи код панцирно–пробојног метка калибра $30\times 165\text{ mm}$. Подаци добијени прорачуном су веома задовољавајући пошто се налазе у опсегу прописаних табличних вредности. Приликом одређивања почетне брзине пројектила одступање њене вредности у односу на табличну износи само 1% што нам говори о коректности резултата прорачуна и квалитету употребљене методе.

Након унутрашње–балистичког прорачуна, извршена је анализа кретања модела панцирног пројектила. Најпре су одређени аеродинамички коефицијенти отпора, а затим је дефинисана и читава трајекторија којом се пројектил креће од „уста“ цеви до падне тачке коришћењем модела кретања са шест степени слободе. Излазни подаци се налазе у облику табела и дијаграма са којих се може оценити карактер путање, али и дефинисати вредност брзине и положај пројектила у свим тачкама путање.

Коришћењем емпиријских релација и на основу података произвођача добијених експерименталним истраживањима, анализирано је дејство панцирног пројектила калибра 30 mm на циљеве одређених карактеристика. Упоредивањем величине пробојности добијених коришћењем неколико различитих емпиријских теорија може се установити да не постоје велика одступања између њих.

Са дијаграма пробојности може се закључити да панцирни пројектил калибра 30 mm веома ефикасно врши пробијање челичних плоча дебљине 20 mm на растојањима до 2000 m , односно на којима већина противавионских топова овог калибра остварује ефикасан домет. Такође, овај пројектил је у стању да изврши ефикасно пробијање појединих челичних плоча дебљине 40 mm на растојању до 1000 m . Уједно та дебљина плоче и дато растојање представљају лимит пробојности, јер овај пројектил не поседује енергију како би извршио пробијање челичне плоче дебљине 50 mm .

Упркос томе што нам емпиријске методе прорачуна могу дати веома коректне податке о карактеру одређених феномена, потребно је пре свега извршити експериментална истраживања, а затим урадити и нумеричке прорачуне како бисмо прецизније и конкретније описали проблем и добили што тачније резултате.

Литература

- [1] <https://sr.wikipedia.org/sr/Топ>, август 2015.
- [2] https://en.wikipedia.org/wiki/30_mm_automatic_cannon_2A42, август 2015.
- [3] https://en.wikipedia.org/wiki/2A42_Cobra, август 2015.
- [4] <http://www.army-guide.com/eng/product3223.html>, август 2015.
- [5] <https://en.wikipedia.org/wiki/АК-230>, август 2015.
- [6] <https://en.wikipedia.org/wiki/АК-630>, август 2015.
- [7] https://en.wikipedia.org/wiki/Artemis_30, август 2015.
- [8] Правило Противавионски топ 30/2 mm M53/59/70 (опис, одржавање и послуживање), Војноиздавачки завод, Београд, 1980.
- [9] Стаматовић, А. *Основи конструисања пројектила*, Ивеху, Београд, 1995.
- [10] ТS1-1-1, М-715, *Муниција*, део 1., књига 1., 1974
- [11] ТS1-1-1, М-715, *Муниција*, део 2., књига 1., 1974
- [12] *AMMUNITION SUITE*, каталог
- [13] <http://www.yugoimport.com/en/proizvodi/ammunition-30mm-x-165-ap-t-anti-aircraft-gun-30mm-2a72>, септембар 2015.
- [14] *АТК 30 mm*, каталог
- [15] Елек, П. *Балистика на циљу*, радни материјал, Машински факултет, Београд, 2014.
- [16] Цветковић, М. *Унутрашња балистика*, Војноиздавачки завод, Београд, 1998.
- [17] Регодић, Д. *Спољна балистика*, Војна академија, Београд, 2006.
- [18] *Интерни извештај*, Компанија "Слобода" А.Д. – Чачак
- [19] Регодић, Д. *Збирка задатака из спољне балистике*, Војна академија, Београд, 2003.

Прилог 1

Табела 20. Излазна датотека ILK30; Програмско решење JKMKUT

ПРЕТХОДНИ ПЕРИОД					
$y_0=0,00295$		$\psi_0=0,00225$		$\sigma_0=1,00186$	
ПРВИ ПЕРИОД					
ПРВА ФАЗА					
I	ψ	$v[m/s]$	$X[m]$	$P[bar]$	$t[s]$
1	0,039581	30,58	0,005	831,37970	0,0000
2	0,077836	61,17	0,013	1506,10266	0,0000
3	0,116921	91,75	0,021	2077,34961	0,0012
4	0,156805	122,34	0,029	2552,06177	0,0013
5	0,19746	152,92	0,038	2937,65747	0,0014
6	0,238855	183,51	0,049	3241,69092	0,0014
7	0,28096	214,09	0,06	3471,70459	0,0015
8	0,323746	244,68	0,072	3635,13550	0,0015
9	0,367182	275,26	0,085	3739,23950	0,0016
10	0,41124	305,84	0,099	3791,02588	0,0016
11	0,455888	336,43	0,115	3797,19897	0,0017
12	0,501097	367,01	0,132	3764,10815	0,0017
13	0,546837	397,60	0,152	3697,71387	0,0018
14	0,593078	428,18	0,173	3603,55151	0,0018
15	0,639791	458,77	0,196	3486,71704	0,0019
16	0,686946	489,35	0,222	3351,85352	0,0019
17	0,734512	519,94	0,251	3203,14966	0,0020
18	0,78246	550,52	0,283	3044,34619	0,0021
19	0,83076	581,10	0,319	2878,74780	0,0021
20	0,879383	611,69	0,359	2709,24268	0,0022
ДРУГА ФАЗА					
21	0,902293	639,08	0,399	2468,72876	0,0023
22	0,922792	666,47	0,446	2228,39697	0,0023
23	0,940878	693,87	0,500	1991,78259	0,0024
24	0,956554	721,26	0,563	1761,96777	0,0025
25	0,969818	748,65	0,638	1541,59070	0,0026
26	0,98067	776,04	0,727	1332,85925	0,0027
27	0,98911	803,44	0,834	1137,56750	0,0029
28	0,995139	830,83	0,965	957,11578	0,0030
29	0,998757	858,22	1,128	792,5296	0,0032
30	0,999963	885,62	1,332	644,4812	0,0034
ДРУГИ ПЕРИОД					
I	$X[m]$	$v[m/s]$	$P[bar]$	$t[s]$	
31	1,426	896,21	591,96991	0,0035	
32	1,519	905,86	546,62994	0,0036	
33	1,612	914,70	507,15781	0,0037	
34	1,706	922,84	472,51767	0,0039	
35	1,799	930,38	441,90042	0,0040	
36	1,893	937,39	414,66519	0,0041	
37	1,986	943,92	390,29837	0,0042	
38	2,080	950,04	368,38376	0,0042	
39	2,173	955,79	348,58054	0,0043	
40	2,266	961,21	330,60739	0,0044	

Прилог 2

Табела 21. Излазна датотека ADK0R1.DAT

Ma	C_{X1}	C_{Xsf}	C_{X4}	C_{X3}	C_{XD}	C_{X0}	$\frac{P_D}{P_{D1}}$
0,2	0	0,06720	0	0	0,16166	0,22887	0,99547
0,5	0	0,05588	0,00001	0	0,17027	0,22616	0,97020
0,6	0	0,05371	0,00008	0	0,17420	0,22799	0,95610
0,7	0	0,05184	0,00056	0	0,17836	0,23076	0,93882
0,8	0	0,05019	0,00295	0	0,18253	0,23566	0,91823
0,85	0	0,04942	0,00470	0	0,18454	0,23866	0,90667
0,9	0	0,04868	0,00967	0	0,18648	0,24483	0,89427
0,925	0,00998	0,04833	0,01366	0	0,18741	0,25937	0,88776
0,95	0,02385	0,04798	0,01913	0	0,18831	0,27927	0,88104
0,96	0,02911	0,04784	0,02466	0	0,18865	0,29026	0,87830
0,975	0,03670	0,04763	0,02422	0	0,18917	0,29772	0,87412
1	0,04864	0,04729	0,02352	0	0,23018	0,34964	0,83888
1,025	0,11065	0,04696	0,02287	0	0,22925	0,40973	0,83141
1,05	0,11190	0,04664	0,02227	0	0,22828	0,40909	0,82383
1,1	0,11425	0,04600	0,02119	0	0,22625	0,40769	0,80837
1,15	0,11027	0,04538	0,02024	0	0,22410	0,39999	0,79254
1,2	0,10731	0,04478	0,01941	0	0,22183	0,39333	0,77640
1,25	0,1054	0,04419	0,01868	0	0,21945	0,38772	0,75998
1,3	0,10410	0,04362	0,01803	0	0,21695	0,38270	0,74335
1,35	0,10316	0,04306	0,01745	0	0,21435	0,37803	0,72655
1,4	0,08165	0,04251	0,01694	0	0,21165	0,35275	0,70962
1,5	0,09993	0,04146	0,01605	0	0,20598	0,36342	0,67559
1,6	0,09756	0,04045	0,01533	0	0,19999	0,35333	0,64162
1,7	0,09559	0,03948	0,01473	0	0,19376	0,34356	0,60803
1,8	0,09390	0,03855	0,01423	0	0,18734	0,33402	0,57512
1,9	0,09241	0,03766	0,0138	0	0,18081	0,32469	0,54311
2	0,09108	0,03681	0,01344	0	0,17422	0,31555	0,51220
2,1	0,08988	0,03598	0,01313	0	0,16763	0,30662	0,48254
2,2	0,08878	0,03519	0,01286	0	0,16109	0,29792	0,45424
2,3	0,08777	0,03443	0,01262	0	0,15464	0,28946	0,42737
2,4	0,08683	0,03369	0,01241	0	0,14833	0,28127	0,40194
2,5	0,08596	0,03298	0,01223	0	0,14218	0,27335	0,37798
2,6	0,08514	0,03230	0,01207	0	0,13621	0,26572	0,35547
2,7	0,08436	0,03165	0,01192	0	0,13044	0,25838	0,33436
2,8	0,08363	0,03102	0,01179	0	0,12489	0,25134	0,31462
2,9	0,08294	0,03041	0,01168	0	0,11956	0,24459	0,29617
3	0,08229	0,02982	0,01157	0	0,11445	0,23814	0,27897
3,1	0,08166	0,02926	0,01148	0	0,10957	0,23197	0,26293
3,2	0,08107	0,02871	0,01139	0	0,10491	0,22608	0,24800
3,5	0,07943	0,02719	0,01118	0	0,09223	0,21003	0,20911

Табела 22. Излазна датотека ADCHAR.DAT

Ma	C_{X0}	$C_{N\sigma}$	X_{CE}	$C_{m\sigma} \cdot \sigma$	C_{lp}	$C_{m\sigma} \cdot \sigma^* + C_{mq} \cdot q^*$	$C_{yp\sigma}$	X_{KE}	$C_{np\sigma}$
0,2	0,178	2	1,606	2,799	-0,038	-1,832	-0,247	3,632	0,155
0,5	0,179	2	1,578	2,855	-0,038	-2,42	-0,247	3,632	0,155
0,7	0,18	2	1,527	2,957	-0,038	-3,205	-0,325	3,584	0,188
0,8	0,182	2	1,487	3,036	-0,038	-3,760	-0,364	3,567	0,205
0,9	0,190	2,04	1,411	3,253	-0,038	-4,450	-0,399	3,540	0,213
0,95	0,201	2,071	1,350	3,429	-0,038	-4,853	-0,364	3,140	0,049
1	0,224	2,147	1,235	3,801	-0,038	-5,299	-0,318	4,115	0,353
1,05	0,317	2,289	1,211	4,106	-0,038	-9,062	-0,347	3,910	0,314
1,1	0,334	2,350	1,225	4,183	-0,038	-9,062	-0,375	3,736	0,274
1,2	0,345	2,432	1,277	4,205	-0,038	-9,062	-0,433	3,458	0,196
1,3	0,341	2,494	1,344	4,144	-0,038	-9,062	-0,49	3,245	0,117
1,4	0,337	2,548	1,431	4,012	-0,038	-9,062	-0,548	3,076	0,039
1,5	0,332	2,599	1,514	3,876	-0,038	-9,062	-0,605	2,940	-0,040
1,7	0,311	2,675	1,694	3,510	-0,038	-9,062	-0,614	2,664	-0,210
2	0,282	2,778	1,899	3,076	-0,038	-9,062	-0,627	2,266	-0,464
2,5	0,244	2,850	2,077	2,648	-0,038	-9,062	-0,589	2,253	-0,444
3	0,210	2,805	2,087	2,576	-0,038	-9,062	-0,589	2,253	-0,444

Табела 23. Излазна датотека SB61.DAT

$T[s]$	$X[m]$	$Y[m]$	$Z[m]$	$V[m/s]$	$\gamma[^\circ]$	$p[s^{-1}]$
0	0	0	0	970	3	7253
0,01	9,7	0,51	0	967,5	3	7241,5
0,021	20,3	1,06	0	964,7	3	7228,9
0,031	29,9	1,56	0	962,2	3	7217,5
0,041	39,5	2,06	0	959,7	3	7206,2
0,05	48,1	2,51	0	957,4	3	7196
0,06	57,7	3	0	954,9	3	7184,7
0,07	67,2	3,5	0	952,4	3	7173,5
0,08	76,7	3,99	0	950	3	7162,3
0,09	86,2	4,48	0	947,5	2,9	7151,2
0,1	95,6	4,96	0	945	2,9	7140,1
0,11	105	5,45	0	942,6	2,9	7129,1
0,12	114,4	5,93	0	940,2	2,9	7118,1
0,13	123,8	6,41	0	937,7	2,9	7107,2
0,141	134,1	6,93	0	935	2,9	7095,2
0,151	143,4	7,41	0	932,6	2,9	7084,4
0,161	152,7	7,88	0	930,2	2,9	7073,6
0,171	162	8,35	0	927,8	2,9	7062,9
0,181	171,3	8,82	0	925,4	2,9	7052,1
0,191	180,5	9,28	0,01	923	2,9	7041,5
0,201	189,7	9,75	0,01	920,7	2,9	7030,9
0,211	198,9	10,21	0,01	918,3	2,9	7020,3
0,221	208	10,67	0,01	915,9	2,9	7009,8
0,231	217,2	11,13	0,01	913,6	2,9	6999,3
0,241	226,3	11,58	0,01	911,2	2,9	6988,8
0,251	235,4	12,03	0,01	908,9	2,9	6978,4
0,261	244,5	12,48	0,01	906,5	2,8	6968,1
0,271	253,5	12,93	0,01	904,2	2,8	6957,8
0,281	262,5	13,38	0,01	901,9	2,8	6947,5
0,291	271,5	13,82	0,01	899,6	2,8	6937,3
0,301	280,5	14,27	0,01	897,3	2,8	6927,1

0,311	289,4	14,71	0,01	895	2,8	6916,9
0,321	298,4	15,15	0,01	892,7	2,8	6906,8
0,331	307,3	15,58	0,02	890,4	2,8	6896,8
0,341	316,2	16,02	0,02	888,2	2,8	6886,7
0,351	325	16,45	0,02	885,9	2,8	6876,7
0,361	333,8	16,88	0,02	883,7	2,8	6866,8
0,371	342,7	17,3	0,02	881,4	2,8	6856,9
0,381	351,5	17,73	0,02	879,2	2,8	6847
0,391	360,2	18,15	0,02	876,9	2,8	6837,2
0,401	369	18,58	0,02	874,7	2,8	6827,4
0,411	377,7	18,99	0,02	872,5	2,7	6817,7
0,421	386,4	19,41	0,02	870,3	2,7	6808
0,431	395,1	19,83	0,03	868,1	2,7	6798,3
0,441	403,7	20,24	0,03	865,9	2,7	6788,7
0,451	412,4	20,65	0,03	863,7	2,7	6779,1
0,461	421	21,06	0,03	861,5	2,7	6769,5
0,471	429,6	21,47	0,03	859,3	2,7	6760
0,481	438,2	21,87	0,03	857,2	2,7	6750,5
0,491	446,7	22,28	0,03	855	2,7	6741,1
0,501	455,2	22,68	0,03	852,9	2,7	6731,7
0,511	463,8	23,08	0,04	850,7	2,7	6722,3
0,521	472,2	23,48	0,04	848,6	2,7	6713
0,531	480,7	23,87	0,04	846,5	2,7	6703,7
0,541	489,2	24,27	0,04	844,4	2,7	6694,4
0,551	497,6	24,66	0,04	842,2	2,7	6685,2
0,561	506	25,05	0,04	840,1	2,7	6676
0,571	514,4	25,43	0,05	838	2,6	6666,9
0,581	522,7	25,82	0,05	835,9	2,6	6657,8
0,591	531,1	26,2	0,05	833,8	2,6	6648,7
0,61	546,9	26,93	0,05	829,9	2,6	6631,5
0,62	555,1	27,31	0,05	827,8	2,6	6622,6
0,63	563,4	27,68	0,05	825,8	2,6	6613,6
0,64	571,6	28,06	0,06	823,7	2,6	6604,7
0,65	579,9	28,43	0,06	821,7	2,6	6595,8
0,66	588	28,8	0,06	819,6	2,6	6587
0,67	596,2	29,17	0,06	817,6	2,6	6578,2
0,68	604,4	29,53	0,06	815,6	2,6	6569,4
0,69	612,5	29,9	0,07	813,5	2,6	6560,7
0,7	620,6	30,26	0,07	811,5	2,6	6552
0,71	628,7	30,62	0,07	809,5	2,5	6543,3
0,72	636,8	30,98	0,07	807,5	2,5	6534,7
0,73	644,9	31,34	0,07	805,5	2,5	6526,1
0,74	652,9	31,69	0,07	803,5	2,5	6517,5
0,75	660,9	32,05	0,08	801,5	2,5	6509
0,76	668,9	32,4	0,08	799,6	2,5	6500,5
0,77	676,9	32,75	0,08	797,6	2,5	6492
0,78	684,9	33,1	0,08	795,6	2,5	6483,6
0,79	692,8	33,44	0,09	793,7	2,5	6475,2
0,8	700,7	33,79	0,09	791,7	2,5	6466,8
0,81	708,6	34,13	0,09	789,8	2,5	6458,4
0,82	716,5	34,47	0,09	787,8	2,5	6450,1
0,83	724,4	34,81	0,09	785,9	2,5	6441,8
0,84	732,2	35,15	0,1	784	2,5	6433,6
0,85	740	35,48	0,1	782	2,5	6425,4
0,86	747,8	35,82	0,1	780,1	2,4	6417,2
0,87	755,6	36,15	0,1	778,2	2,4	6409
0,88	763,4	36,48	0,1	776,3	2,4	6400,9
0,89	771,1	36,81	0,11	774,4	2,4	6392,8

0,9	778,9	37,13	0,11	772,5	2,4	6384,7
0,91	786,6	37,46	0,11	770,7	2,4	6376,7
0,92	794,3	37,78	0,11	768,8	2,4	6368,7
0,93	801,9	38,1	0,12	766,9	2,4	6360,7
0,94	809,6	38,42	0,12	765,1	2,4	6352,8
0,95	817,2	38,74	0,12	763,2	2,4	6344,9
0,96	824,8	39,05	0,12	761,3	2,4	6337
0,97	832,4	39,37	0,13	759,5	2,4	6329,1
0,98	840	39,68	0,13	757,7	2,4	6321,3
0,99	847,6	39,99	0,13	755,8	2,3	6313,5
1	855,1	40,3	0,13	754	2,3	6305,7
1,01	862,6	40,61	0,14	752,2	2,3	6298
1,02	870,1	40,91	0,14	750,4	2,3	6290,2
1,03	877,6	41,22	0,14	748,6	2,3	6282,5
1,04	885,1	41,52	0,14	746,8	2,3	6274,9
1,05	892,6	41,82	0,15	745	2,3	6267,3
1,06	900	42,12	0,15	743,2	2,3	6259,7
1,07	907,4	42,42	0,15	741,4	2,3	6252,1
1,08	914,8	42,71	0,16	739,6	2,3	6244,5
1,09	922,2	43	0,16	737,8	2,3	6237
1,1	929,5	43,3	0,16	736,1	2,3	6229,5
1,11	936,9	43,59	0,16	734,3	2,3	6222
1,12	944,2	43,87	0,17	732,6	2,3	6214,6
1,13	951,5	44,16	0,17	730,8	2,2	6207,2
1,14	958,8	44,45	0,17	729,1	2,2	6199,8
1,15	966,1	44,73	0,18	727,3	2,2	6192,4
1,16	973,4	45,01	0,18	725,6	2,2	6185,1
1,17	980,6	45,29	0,18	723,9	2,2	6177,8
1,18	987,8	45,57	0,18	722,2	2,2	6170,5
1,19	995	45,85	0,19	720,4	2,2	6163,3
1,2	1002,2	46,12	0,19	718,7	2,2	6156
1,21	1009,4	46,4	0,19	717	2,2	6148,8
1,22	1016,6	46,67	0,2	715,3	2,2	6141,7
1,23	1023,7	46,94	0,2	713,6	2,2	6134,5
1,24	1030,8	47,21	0,2	712	2,2	6127,4
1,25	1037,9	47,48	0,21	710,3	2,1	6120,3
1,261	1045,7	47,77	0,21	708,4	2,1	6112,5
1,271	1052,8	48,03	0,21	706,8	2,1	6105,4
1,281	1059,9	48,29	0,21	705,1	2,1	6098,4
1,291	1066,9	48,55	0,22	703,5	2,1	6091,4
1,301	1073,9	48,81	0,22	701,8	2,1	6084,4
1,311	1080,9	49,07	0,22	700,2	2,1	6077,5
1,321	1087,9	49,33	0,23	698,5	2,1	6070,6
1,331	1094,9	49,58	0,23	696,9	2,1	6063,7
1,341	1101,8	49,83	0,23	695,3	2,1	6056,8
1,351	1108,8	50,09	0,24	693,7	2,1	6049,9
1,361	1115,7	50,34	0,24	692	2,1	6043,1
1,371	1122,6	50,58	0,24	690,4	2,1	6036,3
1,381	1129,5	50,83	0,25	688,8	2	6029,5
1,391	1136,4	51,07	0,25	687,2	2	6022,8
1,401	1143,2	51,32	0,25	685,6	2	6016
1,411	1150,1	51,56	0,26	684	2	6009,3
1,421	1156,9	51,8	0,26	682,5	2	6002,6
1,431	1163,7	52,04	0,26	680,9	2	5995,9
1,441	1170,5	52,28	0,27	679,3	2	5989,3
1,451	1177,3	52,51	0,27	677,7	2	5982,7
1,461	1184,1	52,75	0,28	676,2	2	5976,1
1,471	1190,8	52,98	0,28	674,6	2	5969,5

1,481	1197,5	53,21	0,28	673,1	2	5963
1,491	1204,3	53,44	0,29	671,5	2	5956,4
1,501	1211	53,67	0,29	670	1,9	5949,9
1,511	1217,7	53,9	0,29	668,4	1,9	5943,4
1,521	1224,3	54,12	0,3	666,9	1,9	5937
1,531	1231	54,34	0,3	665,4	1,9	5930,5
1,541	1237,6	54,57	0,3	663,9	1,9	5924,1
1,551	1244,3	54,79	0,31	662,3	1,9	5917,7
1,561	1250,9	55,01	0,31	660,8	1,9	5911,3
1,571	1257,5	55,22	0,31	659,3	1,9	5905
1,581	1264	55,44	0,32	657,8	1,9	5898,6
1,591	1270,6	55,66	0,32	656,3	1,9	5892,3
1,601	1277,2	55,87	0,33	654,8	1,9	5886
1,611	1283,7	56,08	0,33	653,3	1,9	5879,8
1,621	1290,2	56,29	0,33	651,9	1,8	5873,5
1,631	1296,7	56,5	0,34	650,4	1,8	5867,3
1,641	1303,2	56,71	0,34	648,9	1,8	5861,1
1,651	1309,7	56,91	0,35	647,4	1,8	5854,9
1,661	1316,2	57,12	0,35	646	1,8	5848,7
1,671	1322,6	57,32	0,35	644,5	1,8	5842,6
1,681	1329,1	57,52	0,36	643,1	1,8	5836,5
1,691	1335,5	57,72	0,36	641,6	1,8	5830,4
1,701	1341,9	57,92	0,36	640,2	1,8	5824,3
1,711	1348,3	58,12	0,37	638,7	1,8	5818,2
1,721	1354,6	58,32	0,37	637,3	1,8	5812,2
1,731	1361	58,51	0,38	635,9	1,7	5806,1
1,741	1367,4	58,7	0,38	634,4	1,7	5800,1
1,751	1373,7	58,9	0,38	633	1,7	5794,2
1,761	1380	59,09	0,39	631,6	1,7	5788,2
1,771	1386,3	59,28	0,39	630,2	1,7	5782,2
1,781	1392,6	59,46	0,4	628,8	1,7	5776,3
1,791	1398,9	59,65	0,4	627,4	1,7	5770,4
1,801	1405,2	59,83	0,41	626	1,7	5764,5
1,811	1411,4	60,02	0,41	624,6	1,7	5758,7
1,821	1417,6	60,2	0,41	623,2	1,7	5752,8
1,831	1423,9	60,38	0,42	621,8	1,7	5747
1,841	1430,1	60,56	0,42	620,4	1,6	5741,2
1,851	1436,3	60,74	0,43	619,1	1,6	5735,4
1,861	1442,4	60,91	0,43	617,7	1,6	5729,6
1,871	1448,6	61,09	0,43	616,3	1,6	5723,8
1,881	1454,8	61,26	0,44	615	1,6	5718,1
1,891	1460,9	61,44	0,44	613,6	1,6	5712,4
1,901	1467	61,61	0,45	612,2	1,6	5706,7
1,911	1473,1	61,78	0,45	610,9	1,6	5701
1,921	1479,2	61,94	0,46	609,6	1,6	5695,4
1,931	1485,3	62,11	0,46	608,2	1,6	5689,7
1,941	1491,4	62,28	0,46	606,9	1,6	5684,1
1,951	1497,5	62,44	0,47	605,5	1,5	5678,5
1,961	1503,5	62,6	0,47	604,2	1,5	5672,9
1,971	1509,5	62,77	0,48	602,9	1,5	5667,3
1,981	1515,6	62,93	0,48	601,6	1,5	5661,8
1,991	1521,6	63,09	0,49	600,3	1,5	5656,2
2,001	1527,6	63,24	0,49	599	1,5	5650,7
2,011	1533,6	63,4	0,5	597,7	1,5	5645,2
2,021	1539,5	63,55	0,5	596,4	1,5	5639,7
2,031	1545,5	63,71	0,5	595,1	1,5	5634,2
2,041	1551,4	63,86	0,51	593,8	1,5	5628,8
2,051	1557,3	64,01	0,51	592,5	1,5	5623,4

2,061	1563,3	64,16	0,52	591,2	1,4	5617,9
2,071	1569,2	64,31	0,52	589,9	1,4	5612,5
2,081	1575,1	64,46	0,53	588,6	1,4	5607,2
2,091	1580,9	64,6	0,53	587,4	1,4	5601,8
2,101	1586,8	64,75	0,54	586,1	1,4	5596,4
2,111	1592,7	64,89	0,54	584,8	1,4	5591,1
2,121	1598,5	65,03	0,55	583,6	1,4	5585,8
2,131	1604,3	65,17	0,55	582,3	1,4	5580,5
2,141	1610,1	65,31	0,55	581,1	1,4	5575,2
2,151	1615,9	65,45	0,56	579,8	1,4	5570
2,161	1621,7	65,59	0,56	578,6	1,3	5564,7
2,171	1627,5	65,72	0,57	577,4	1,3	5559,5
2,181	1633,3	65,86	0,57	576,1	1,3	5554,3
2,191	1639	65,99	0,58	574,9	1,3	5549
2,201	1644,8	66,12	0,58	573,7	1,3	5543,9
2,211	1650,5	66,25	0,59	572,4	1,3	5538,7
2,221	1656,2	66,38	0,59	571,2	1,3	5533,5
2,231	1661,9	66,51	0,6	570	1,3	5528,4
2,241	1667,6	66,64	0,6	568,8	1,3	5523,3
2,251	1673,3	66,76	0,61	567,6	1,3	5518,2
2,261	1679	66,89	0,61	566,4	1,3	5513,1
2,271	1684,6	67,01	0,62	565,2	1,2	5508
2,281	1690,3	67,13	0,62	564	1,2	5503
2,291	1695,9	67,25	0,63	562,8	1,2	5497,9
2,301	1701,5	67,37	0,63	561,6	1,2	5492,9
2,311	1707,1	67,49	0,64	560,4	1,2	5487,9
2,321	1712,7	67,61	0,64	559,3	1,2	5482,9
2,331	1718,3	67,72	0,65	558,1	1,2	5477,9
2,341	1723,9	67,84	0,65	556,9	1,2	5472,9
2,351	1729,4	67,95	0,66	555,8	1,2	5468
2,361	1735	68,06	0,66	554,6	1,2	5463
2,371	1740,5	68,17	0,66	553,4	1,1	5458,1
2,381	1746,1	68,28	0,67	552,3	1,1	5453,2
2,391	1751,6	68,39	0,67	551,1	1,1	5448,3
2,401	1757,1	68,5	0,68	550	1,1	5443,4
2,411	1762,6	68,61	0,68	548,8	1,1	5438,6
2,421	1768,1	68,71	0,69	547,7	1,1	5433,7
2,431	1773,5	68,81	0,7	546,6	1,1	5428,9
2,441	1779	68,92	0,7	545,4	1,1	5424
2,451	1784,4	69,02	0,71	544,3	1,1	5419,2
2,461	1789,9	69,12	0,71	543,2	1	5414,4
2,471	1795,3	69,22	0,72	542	1	5409,7
2,481	1800,7	69,32	0,72	540,9	1	5404,9
2,491	1806,1	69,41	0,73	539,8	1	5400,1
2,501	1811,5	69,51	0,73	538,7	1	5395,4
2,511	1816,9	69,6	0,74	537,6	1	5390,7
2,521	1822,3	69,69	0,74	536,5	1	5386
2,531	1827,6	69,79	0,75	535,4	1	5381,3
2,541	1833	69,88	0,75	534,3	1	5376,6
2,551	1838,3	69,97	0,76	533,2	1	5371,9
2,561	1843,6	70,05	0,76	532,1	0,9	5367,3
2,571	1848,9	70,14	0,77	531	0,9	5362,6
2,581	1854,2	70,23	0,77	529,9	0,9	5358
2,591	1859,5	70,31	0,78	528,9	0,9	5353,4
2,601	1864,8	70,4	0,78	527,8	0,9	5348,8
2,611	1870,1	70,48	0,79	526,7	0,9	5344,2
2,621	1875,4	70,56	0,79	525,7	0,9	5339,6
2,631	1880,6	70,64	0,8	524,6	0,9	5335,1

2,641	1885,8	70,72	0,8	523,5	0,9	5330,5
2,651	1891,1	70,8	0,81	522,5	0,8	5326
2,661	1896,3	70,87	0,81	521,4	0,8	5321,5
2,671	1901,5	70,95	0,82	520,4	0,8	5317
2,681	1906,7	71,02	0,83	519,3	0,8	5312,5
2,691	1911,9	71,1	0,83	518,3	0,8	5308
2,701	1917,1	71,17	0,84	517,2	0,8	5303,5
2,711	1922,2	71,24	0,84	516,2	0,8	5299,1
2,721	1927,4	71,31	0,85	515,2	0,8	5294,6
2,731	1932,5	71,38	0,85	514,1	0,8	5290,2
2,741	1937,7	71,45	0,86	513,1	0,8	5285,8
2,751	1942,8	71,52	0,86	512,1	0,7	5281,4
2,761	1947,9	71,58	0,87	511,1	0,7	5277
2,771	1953	71,65	0,87	510	0,7	5272,6
2,781	1958,1	71,71	0,88	509	0,7	5268,2
2,791	1963,2	71,77	0,89	508	0,7	5263,9
2,801	1968,3	71,83	0,89	507	0,7	5259,5
2,811	1973,3	71,89	0,9	506	0,7	5255,2
2,821	1978,4	71,95	0,9	505	0,7	5250,9
2,831	1983,4	72,01	0,91	504	0,7	5246,6
2,841	1988,5	72,07	0,91	503	0,6	5242,3
2,851	1993,5	72,12	0,92	502	0,6	5238
2,861	1998,5	72,18	0,92	501	0,6	5233,7
2,871	2003,5	72,23	0,93	500	0,6	5229,4
2,881	2008,5	72,28	0,94	499,1	0,6	5225,2
2,891	2013,5	72,33	0,94	498,1	0,6	5221
2,901	2018,5	72,39	0,95	497,1	0,6	5216,7
2,911	2023,4	72,43	0,95	496,1	0,6	5212,5
2,921	2028,4	72,48	0,96	495,2	0,6	5208,3
2,931	2033,3	72,53	0,96	494,2	0,5	5204,1
2,941	2038,3	72,58	0,97	493,2	0,5	5199,9
2,951	2043,2	72,62	0,97	492,3	0,5	5195,8
2,961	2048,1	72,66	0,98	491,3	0,5	5191,6
2,971	2053	72,71	0,99	490,3	0,5	5187,5
2,981	2057,9	72,75	0,99	489,4	0,5	5183,4
2,991	2062,8	72,79	1	488,4	0,5	5179,2
3,001	2067,7	72,83	1	487,5	0,5	5175,1
3,011	2072,6	72,87	1,01	486,6	0,4	5171
3,021	2077,4	72,91	1,01	485,6	0,4	5166,9
3,031	2082,3	72,94	1,02	484,7	0,4	5162,9
3,041	2087,1	72,98	1,03	483,7	0,4	5158,8
3,051	2091,9	73,01	1,03	482,8	0,4	5154,7
3,061	2096,8	73,05	1,04	481,9	0,4	5150,7
3,071	2101,6	73,08	1,04	481	0,4	5146,7
3,081	2106,4	73,11	1,05	480	0,4	5142,6
3,091	2111,2	73,14	1,06	479,1	0,4	5138,6
3,101	2116	73,17	1,06	478,2	0,3	5134,6
3,111	2120,8	73,2	1,07	477,3	0,3	5130,6
3,121	2125,5	73,22	1,07	476,4	0,3	5126,7
3,131	2130,3	73,25	1,08	475,5	0,3	5122,7
3,141	2135	73,27	1,09	474,6	0,3	5118,7
3,151	2139,8	73,3	1,09	473,7	0,3	5114,8
3,161	2144,5	73,32	1,1	472,8	0,3	5110,9
3,171	2149,2	73,34	1,1	471,9	0,3	5106,9
3,181	2153,9	73,36	1,11	471	0,2	5103
3,191	2158,6	73,38	1,11	470,1	0,2	5099,1
3,201	2163,3	73,4	1,12	469,2	0,2	5095,2
3,211	2168	73,42	1,13	468,3	0,2	5091,3

3,221	2172,7	73,44	1,13	467,4	0,2	5087,5
3,231	2177,4	73,45	1,14	466,6	0,2	5083,6
3,241	2182	73,47	1,14	465,7	0,2	5079,7
3,251	2186,7	73,48	1,15	464,8	0,2	5075,9
3,261	2191,3	73,5	1,16	463,9	0,2	5072,1
3,271	2196	73,51	1,16	463,1	0,1	5068,2
3,281	2200,6	73,52	1,17	462,2	0,1	5064,4
3,291	2205,2	73,53	1,18	461,3	0,1	5060,6
3,301	2209,8	73,54	1,18	460,5	0,1	5056,8
3,311	2214,4	73,55	1,19	459,6	0,1	5053,1
3,321	2219	73,55	1,19	458,8	0,1	5049,3
3,331	2223,6	73,56	1,2	457,9	0,1	5045,5
3,341	2228,2	73,56	1,21	457,1	0,1	5041,8
3,351	2232,7	73,57	1,21	456,2	0	5038
3,361	2237,3	73,57	1,22	455,4	0	5034,3
3,371	2241,8	73,57	1,22	454,5	0	5030,6
3,381	2246,4	73,57	1,23	453,7	0	5026,8
3,391	2250,9	73,57	1,24	452,9	0	5023,1
3,401	2255,4	73,57	1,24	452	0	5019,4
3,411	2260	73,57	1,25	451,2	0	5015,8
3,421	2264,5	73,57	1,26	450,4	0	5012,1
3,431	2269	73,56	1,26	449,5	-0,1	5008,4
3,441	2273,5	73,56	1,27	448,7	-0,1	5004,8
3,451	2277,9	73,55	1,27	447,9	-0,1	5001,1
3,461	2282,4	73,55	1,28	447,1	-0,1	4997,5
3,471	2286,9	73,54	1,29	446,3	-0,1	4993,8
3,481	2291,3	73,53	1,29	445,4	-0,1	4990,2
3,491	2295,8	73,52	1,3	444,6	-0,1	4986,6
3,501	2300,2	73,51	1,31	443,8	-0,1	4983
3,511	2304,7	73,5	1,31	443	-0,2	4979,4
3,521	2309,1	73,48	1,32	442,2	-0,2	4975,8
3,531	2313,5	73,47	1,32	441,4	-0,2	4972,3
3,541	2317,9	73,46	1,33	440,6	-0,2	4968,7
3,551	2322,3	73,44	1,34	439,8	-0,2	4965,1
3,561	2326,7	73,43	1,34	439	-0,2	4961,6
3,571	2331,1	73,41	1,35	438,2	-0,2	4958
3,581	2335,5	73,39	1,36	437,4	-0,2	4954,5
3,591	2339,9	73,37	1,36	436,7	-0,3	4951
3,601	2344,2	73,35	1,37	435,9	-0,3	4947,5
3,611	2348,6	73,33	1,38	435,1	-0,3	4944
3,621	2352,9	73,31	1,38	434,3	-0,3	4940,5
3,631	2357,3	73,28	1,39	433,5	-0,3	4937
3,641	2361,6	73,26	1,39	432,8	-0,3	4933,5
3,651	2365,9	73,24	1,4	432	-0,3	4930
3,661	2370,2	73,21	1,41	431,2	-0,3	4926,6
3,671	2374,5	73,18	1,41	430,4	-0,4	4923,1
3,681	2378,8	73,15	1,42	429,7	-0,4	4919,7
3,691	2383,1	73,13	1,43	428,9	-0,4	4916,3
3,701	2387,4	73,1	1,43	428,1	-0,4	4912,8
3,711	2391,7	73,07	1,44	427,4	-0,4	4909,4
3,721	2396	73,04	1,45	426,6	-0,4	4906
3,731	2400,2	73	1,45	425,9	-0,4	4902,6
3,741	2404,5	72,97	1,46	425,1	-0,5	4899,2
3,751	2408,7	72,94	1,47	424,4	-0,5	4895,8
3,761	2413	72,9	1,47	423,6	-0,5	4892,5
3,771	2417,2	72,86	1,48	422,9	-0,5	4889,1
3,781	2421,4	72,83	1,49	422,1	-0,5	4885,7
3,791	2425,6	72,79	1,49	421,4	-0,5	4882,4

3,801	2429,9	72,75	1,5	420,7	-0,5	4879
3,811	2434,1	72,71	1,51	419,9	-0,5	4875,7
3,821	2438,2	72,67	1,51	419,2	-0,6	4872,4
3,831	2442,4	72,63	1,52	418,4	-0,6	4869,1
3,841	2446,6	72,59	1,53	417,7	-0,6	4865,7
3,851	2450,8	72,54	1,53	417	-0,6	4862,4
3,861	2455	72,5	1,54	416,3	-0,6	4859,1
3,871	2459,1	72,45	1,55	415,5	-0,6	4855,9
3,881	2463,3	72,41	1,55	414,8	-0,6	4852,6
3,891	2467,4	72,36	1,56	414,1	-0,7	4849,3
3,901	2471,5	72,31	1,57	413,4	-0,7	4846
3,911	2475,7	72,27	1,57	412,7	-0,7	4842,8
3,921	2479,8	72,22	1,58	411,9	-0,7	4839,5
3,931	2483,9	72,17	1,59	411,2	-0,7	4836,3
3,941	2488	72,11	1,59	410,5	-0,7	4833,1
3,951	2492,1	72,06	1,6	409,8	-0,7	4829,8
3,961	2496,2	72,01	1,61	409,1	-0,7	4826,6
3,971	2500,3	71,95	1,61	408,4	-0,8	4823,4
3,981	2504,4	71,9	1,62	407,7	-0,8	4820,2
3,991	2508,5	71,84	1,63	407	-0,8	4817
4,001	2512,5	71,79	1,63	406,3	-0,8	4813,8
4,011	2516,6	71,73	1,64	405,6	-0,8	4810,7
4,021	2520,6	71,67	1,65	404,9	-0,8	4807,5
4,031	2524,7	71,61	1,65	404,2	-0,8	4804,3
4,041	2528,7	71,55	1,66	403,5	-0,9	4801,2
4,051	2532,8	71,49	1,67	402,8	-0,9	4798
4,061	2536,8	71,43	1,68	402,1	-0,9	4794,9
4,071	2540,8	71,37	1,68	401,5	-0,9	4791,8
4,081	2544,8	71,3	1,69	400,8	-0,9	4788,6
4,091	2548,8	71,24	1,7	400,1	-0,9	4785,5
4,101	2552,8	71,17	1,7	399,4	-0,9	4782,4
4,111	2556,8	71,11	1,71	398,7	-1	4779,3
4,121	2560,8	71,04	1,72	398,1	-1	4776,2
4,131	2564,8	70,97	1,72	397,4	-1	4773,1
4,141	2568,7	70,9	1,73	396,7	-1	4770
4,151	2572,7	70,83	1,74	396	-1	4766,9
4,161	2576,6	70,76	1,74	395,4	-1	4763,9
4,171	2580,6	70,69	1,75	394,7	-1	4760,8
4,181	2584,5	70,62	1,76	394,1	-1,1	4757,8
4,191	2588,5	70,55	1,77	393,4	-1,1	4754,7
4,201	2592,4	70,47	1,77	392,7	-1,1	4751,7
4,211	2596,3	70,4	1,78	392,1	-1,1	4748,6
4,221	2600,2	70,32	1,79	391,4	-1,1	4745,6
4,231	2604,2	70,24	1,79	390,8	-1,1	4742,6
4,241	2608,1	70,17	1,8	390,1	-1,1	4739,6
4,251	2612	70,09	1,81	389,4	-1,2	4736,6
4,261	2615,8	70,01	1,82	388,8	-1,2	4733,6
4,271	2619,7	69,93	1,82	388,1	-1,2	4730,6
4,281	2623,6	69,85	1,83	387,5	-1,2	4727,6
4,291	2627,5	69,77	1,84	386,9	-1,2	4724,6
4,301	2631,3	69,68	1,84	386,2	-1,2	4721,7
4,311	2635,2	69,6	1,85	385,6	-1,2	4718,7
4,321	2639,1	69,52	1,86	384,9	-1,3	4715,7
4,331	2642,9	69,43	1,87	384,3	-1,3	4712,8
4,341	2646,7	69,35	1,87	383,7	-1,3	4709,8
4,351	2650,6	69,26	1,88	383	-1,3	4706,9
4,361	2654,4	69,17	1,89	382,4	-1,3	4704
4,371	2658,2	69,08	1,89	381,8	-1,3	4701

4,381	2662	68,99	1,9	381,1	-1,3	4698,1
4,391	2665,8	68,9	1,91	380,5	-1,4	4695,2
4,401	2669,6	68,81	1,92	379,9	-1,4	4692,3
4,411	2673,4	68,72	1,92	379,2	-1,4	4689,4
4,421	2677,2	68,63	1,93	378,6	-1,4	4686,5
4,431	2681	68,54	1,94	378	-1,4	4683,6
4,441	2684,8	68,44	1,95	377,4	-1,4	4680,8
4,451	2688,5	68,35	1,95	376,8	-1,5	4677,9
4,461	2692,3	68,25	1,96	376,2	-1,5	4675
4,471	2696,1	68,16	1,97	375,5	-1,5	4672,2
4,481	2699,8	68,06	1,97	374,9	-1,5	4669,3
4,491	2703,6	67,96	1,98	374,3	-1,5	4666,5
4,5	2706,9	67,87	1,99	373,8	-1,5	4663,9
4,51	2710,7	67,77	2	373,2	-1,5	4661,1
4,52	2714,4	67,67	2	372,5	-1,6	4658,3
4,53	2718,1	67,57	2,01	371,9	-1,6	4655,4
4,54	2721,8	67,47	2,02	371,3	-1,6	4652,6
4,55	2725,5	67,36	2,03	370,7	-1,6	4649,8
4,56	2729,2	67,26	2,03	370,1	-1,6	4647
4,57	2732,9	67,15	2,04	369,5	-1,6	4644,2
4,58	2736,6	67,05	2,05	369	-1,6	4641,4
4,59	2740,3	66,94	2,05	368,4	-1,7	4638,6
4,6	2744	66,84	2,06	367,8	-1,7	4635,9
4,61	2747,7	66,73	2,07	367,2	-1,7	4633,1
4,62	2751,3	66,62	2,08	366,6	-1,7	4630,3
4,63	2755	66,51	2,08	366	-1,7	4627,6
4,64	2758,6	66,4	2,09	365,4	-1,7	4624,8
4,65	2762,3	66,29	2,1	364,8	-1,8	4622,1
4,66	2765,9	66,18	2,11	364,3	-1,8	4619,3
4,67	2769,6	66,06	2,11	363,7	-1,8	4616,6
4,68	2773,2	65,95	2,12	363,1	-1,8	4613,8
4,69	2776,8	65,84	2,13	362,5	-1,8	4611,1
4,7	2780,5	65,72	2,14	362	-1,8	4608,4
4,71	2784,1	65,6	2,15	361,4	-1,8	4605,7
4,72	2787,7	65,49	2,15	360,8	-1,9	4603
4,73	2791,3	65,37	2,16	360,2	-1,9	4600,3
4,74	2794,9	65,25	2,17	359,7	-1,9	4597,6
4,75	2798,5	65,13	2,18	359,1	-1,9	4594,9
4,76	2802,1	65,01	2,18	358,6	-1,9	4592,2
4,77	2805,6	64,89	2,19	358	-1,9	4589,5
4,78	2809,2	64,77	2,2	357,4	-2	4586,9
4,79	2812,8	64,65	2,21	356,9	-2	4584,2
4,8	2816,4	64,53	2,21	356,3	-2	4581,5
4,81	2819,9	64,4	2,22	355,8	-2	4578,9
4,82	2823,5	64,28	2,23	355,2	-2	4576,2
4,83	2827	64,15	2,24	354,7	-2	4573,6
4,84	2830,6	64,03	2,24	354,1	-2	4570,9
4,85	2834,1	63,9	2,25	353,6	-2,1	4568,3
4,86	2837,6	63,77	2,26	353,1	-2,1	4565,7
4,87	2841,1	63,64	2,27	352,6	-2,1	4563,1
4,88	2844,7	63,51	2,28	352	-2,1	4560,4
4,89	2848,2	63,38	2,28	351,5	-2,1	4557,8
4,9	2851,7	63,25	2,29	351	-2,1	4555,2
4,91	2855,2	63,12	2,3	350,5	-2,2	4552,6
4,92	2858,7	62,99	2,31	350	-2,2	4550
4,93	2862,2	62,86	2,31	349,5	-2,2	4547,4
4,94	2865,7	62,72	2,32	349	-2,2	4544,9
4,95	2869,2	62,59	2,33	348,5	-2,2	4542,3

4,96	2872,6	62,45	2,34	348	-2,2	4539,7
4,97	2876,1	62,31	2,35	347,5	-2,3	4537,1
4,98	2879,6	62,18	2,35	347,1	-2,3	4534,6
4,99	2883,1	62,04	2,36	346,6	-2,3	4532
5	2886,5	61,9	2,37	346,1	-2,3	4529,5
5,01	2890	61,76	2,38	345,6	-2,3	4526,9
5,02	2893,4	61,62	2,39	345,2	-2,3	4524,4
5,03	2896,9	61,48	2,39	344,7	-2,4	4521,8
5,04	2900,3	61,34	2,4	344,2	-2,4	4519,3
5,05	2903,7	61,2	2,41	343,8	-2,4	4516,7
5,06	2907,2	61,05	2,42	343,3	-2,4	4514,2
5,07	2910,6	60,91	2,43	342,9	-2,4	4511,7
5,08	2914	60,76	2,43	342,4	-2,4	4509,2
5,09	2917,5	60,62	2,44	342	-2,5	4506,7
5,1	2920,9	60,47	2,45	341,5	-2,5	4504,2
5,11	2924,3	60,32	2,46	341,1	-2,5	4501,7
5,12	2927,7	60,17	2,47	340,7	-2,5	4499,2
5,13	2931,1	60,03	2,47	340,2	-2,5	4496,7
5,14	2934,5	59,88	2,48	339,8	-2,5	4494,2
5,15	2937,9	59,72	2,49	339,4	-2,5	4491,7
5,16	2941,3	59,57	2,5	338,9	-2,6	4489,2
5,17	2944,6	59,42	2,51	338,5	-2,6	4486,7
5,18	2948	59,27	2,51	338,1	-2,6	4484,3
5,19	2951,4	59,11	2,52	337,7	-2,6	4481,8
5,2	2954,8	58,96	2,53	337,3	-2,6	4479,3
5,21	2958,1	58,81	2,54	336,9	-2,6	4476,9
5,22	2961,5	58,65	2,55	336,5	-2,7	4474,4
5,23	2964,9	58,49	2,55	336,1	-2,7	4472
5,24	2968,2	58,33	2,56	335,6	-2,7	4469,5
5,25	2971,6	58,18	2,57	335,2	-2,7	4467,1
5,26	2974,9	58,02	2,58	334,8	-2,7	4464,6
5,27	2978,3	57,86	2,59	334,5	-2,7	4462,2
5,28	2981,6	57,7	2,6	334,1	-2,8	4459,8
5,29	2984,9	57,53	2,6	333,7	-2,8	4457,4
5,3	2988,3	57,37	2,61	333,3	-2,8	4454,9
5,31	2991,6	57,21	2,62	332,9	-2,8	4452,5
5,32	2994,9	57,04	2,63	332,5	-2,8	4450,1
5,33	2998,2	56,88	2,64	332,1	-2,8	4447,7
5,34	3001,5	56,71	2,65	331,7	-2,9	4445,3
5,35	3004,9	56,55	2,65	331,4	-2,9	4442,9
5,36	3008,2	56,38	2,66	331	-2,9	4440,5
5,37	3011,5	56,21	2,67	330,6	-2,9	4438,1
5,38	3014,8	56,04	2,68	330,3	-2,9	4435,7
5,39	3018,1	55,88	2,69	329,9	-3	4433,3
5,4	3021,4	55,71	2,7	329,5	-3	4430,9
5,41	3024,6	55,53	2,71	329,2	-3	4428,6
5,42	3027,9	55,36	2,71	328,8	-3	4426,2
5,43	3031,2	55,19	2,72	328,4	-3	4423,8
5,44	3034,5	55,02	2,73	328,1	-3	4421,5
5,45	3037,8	54,84	2,74	327,7	-3,1	4419,1
5,46	3041	54,67	2,75	327,4	-3,1	4416,7
5,47	3044,3	54,49	2,76	327	-3,1	4414,4
5,48	3047,6	54,31	2,77	326,7	-3,1	4412
5,49	3050,8	54,14	2,77	326,3	-3,1	4409,7
5,5	3054,1	53,96	2,78	326	-3,1	4407,3
5,51	3057,3	53,78	2,79	325,6	-3,2	4405
5,52	3060,6	53,6	2,8	325,3	-3,2	4402,7
5,53	3063,8	53,42	2,81	324,9	-3,2	4400,3

5,54	3067,1	53,24	2,82	324,6	-3,2	4398
5,55	3070,3	53,06	2,83	324,3	-3,2	4395,7
5,56	3073,5	52,87	2,83	323,9	-3,2	4393,4
5,57	3076,8	52,69	2,84	323,6	-3,3	4391
5,58	3080	52,51	2,85	323,3	-3,3	4388,7
5,59	3083,2	52,32	2,86	322,9	-3,3	4386,4
5,6	3086,5	52,14	2,87	322,6	-3,3	4384,1
5,61	3089,7	51,95	2,88	322,3	-3,3	4381,8
5,62	3092,9	51,76	2,89	322	-3,3	4379,5
5,63	3096,1	51,57	2,9	321,7	-3,4	4377,2
5,64	3099,3	51,38	2,91	321,3	-3,4	4374,9
5,65	3102,5	51,19	2,91	321	-3,4	4372,6
5,66	3105,7	51	2,92	320,7	-3,4	4370,3
5,67	3108,9	50,81	2,93	320,4	-3,4	4368,1
5,68	3112,1	50,62	2,94	320,1	-3,5	4365,8
5,69	3115,3	50,43	2,95	319,8	-3,5	4363,5
5,7	3118,5	50,23	2,96	319,5	-3,5	4361,2
5,71	3121,7	50,04	2,97	319,1	-3,5	4359
5,72	3124,9	49,84	2,98	318,8	-3,5	4356,7
5,731	3128,1	49,65	2,99	318,5	-3,5	4354,4
5,741	3131,2	49,45	3	318,2	-3,6	4352,2
5,751	3134,4	49,25	3	317,9	-3,6	4349,9
5,761	3137,6	49,05	3,01	317,6	-3,6	4347,7
5,771	3140,7	48,85	3,02	317,3	-3,6	4345,4
5,781	3143,9	48,65	3,03	317	-3,6	4343,2
5,791	3147,1	48,45	3,04	316,7	-3,6	4340,9
5,801	3150,2	48,25	3,05	316,5	-3,7	4338,7
5,811	3153,4	48,05	3,06	316,2	-3,7	4336,4
5,821	3156,5	47,84	3,07	315,9	-3,7	4334,2
5,831	3159,7	47,64	3,08	315,6	-3,7	4332
5,841	3162,8	47,44	3,09	315,3	-3,7	4329,7
5,851	3166	47,23	3,1	315	-3,8	4327,5
5,861	3169,1	47,02	3,11	314,7	-3,8	4325,3
5,871	3172,3	46,82	3,11	314,4	-3,8	4323,1
5,881	3175,4	46,61	3,12	314,2	-3,8	4320,9
5,891	3178,5	46,4	3,13	313,9	-3,8	4318,7
5,901	3181,7	46,19	3,14	313,6	-3,8	4316,4
5,911	3184,8	45,98	3,15	313,3	-3,9	4314,2
5,921	3187,9	45,77	3,16	313,1	-3,9	4312
5,931	3191	45,56	3,17	312,8	-3,9	4309,8
5,941	3194,2	45,34	3,18	312,5	-3,9	4307,6
5,951	3197,3	45,13	3,19	312,2	-3,9	4305,4
5,961	3200,4	44,92	3,2	312	-3,9	4303,2
5,971	3203,5	44,7	3,21	311,7	-4	4301,1
5,981	3206,6	44,49	3,22	311,4	-4	4298,9
5,991	3209,7	44,27	3,23	311,2	-4	4296,7
6,001	3212,8	44,05	3,24	310,9	-4	4294,5
6,011	3215,9	43,83	3,25	310,6	-4	4292,3
6,021	3219	43,61	3,26	310,4	-4,1	4290,2
6,031	3222,1	43,39	3,27	310,1	-4,1	4288
6,041	3225,2	43,17	3,28	309,9	-4,1	4285,8
6,051	3228,3	42,95	3,29	309,6	-4,1	4283,7
6,061	3231,4	42,73	3,3	309,3	-4,1	4281,5
6,071	3234,5	42,51	3,31	309,1	-4,1	4279,3
6,081	3237,5	42,28	3,32	308,8	-4,2	4277,2
6,091	3240,6	42,06	3,33	308,6	-4,2	4275
6,101	3243,7	41,83	3,33	308,3	-4,2	4272,9
6,111	3246,8	41,61	3,34	308,1	-4,2	4270,7

6,121	3249,8	41,38	3,35	307,8	-4,2	4268,6
6,131	3252,9	41,15	3,36	307,6	-4,3	4266,4
6,141	3256	40,92	3,37	307,3	-4,3	4264,3
6,151	3259	40,69	3,38	307,1	-4,3	4262,2
6,161	3262,1	40,46	3,39	306,8	-4,3	4260
6,171	3265,2	40,23	3,4	306,6	-4,3	4257,9
6,181	3268,2	40	3,41	306,4	-4,3	4255,8
6,191	3271,3	39,77	3,42	306,1	-4,4	4253,6
6,201	3274,3	39,54	3,43	305,9	-4,4	4251,5
6,211	3277,4	39,3	3,44	305,6	-4,4	4249,4
6,221	3280,4	39,07	3,45	305,4	-4,4	4247,3
6,231	3283,5	38,83	3,46	305,2	-4,4	4245,2
6,241	3286,5	38,6	3,47	304,9	-4,5	4243
6,251	3289,5	38,36	3,48	304,7	-4,5	4240,9
6,261	3292,6	38,12	3,49	304,4	-4,5	4238,8
6,271	3295,6	37,88	3,5	304,2	-4,5	4236,7
6,281	3298,6	37,64	3,51	304	-4,5	4234,6
6,291	3301,7	37,4	3,52	303,7	-4,5	4232,5
6,301	3304,7	37,16	3,54	303,5	-4,6	4230,4
6,311	3307,7	36,92	3,55	303,3	-4,6	4228,3
6,321	3310,7	36,68	3,56	303	-4,6	4226,2
6,331	3313,8	36,43	3,57	302,8	-4,6	4224,1
6,341	3316,8	36,19	3,58	302,6	-4,6	4222,1
6,351	3319,8	35,94	3,59	302,3	-4,7	4220
6,361	3322,8	35,7	3,6	302,1	-4,7	4217,9
6,371	3325,8	35,45	3,61	301,9	-4,7	4215,8
6,381	3328,8	35,2	3,62	301,6	-4,7	4213,7
6,391	3331,8	34,95	3,63	301,4	-4,7	4211,7
6,401	3334,8	34,71	3,64	301,2	-4,7	4209,6
6,411	3337,8	34,46	3,65	300,9	-4,8	4207,5
6,421	3340,8	34,21	3,66	300,7	-4,8	4205,5
6,431	3343,8	33,95	3,67	300,5	-4,8	4203,4
6,441	3346,8	33,7	3,68	300,3	-4,8	4201,3
6,451	3349,8	33,45	3,69	300	-4,8	4199,3
6,461	3352,8	33,2	3,7	299,8	-4,9	4197,2
6,471	3355,8	32,94	3,71	299,6	-4,9	4195,2
6,481	3358,8	32,69	3,72	299,3	-4,9	4193,1
6,491	3361,7	32,43	3,73	299,1	-4,9	4191,1
6,501	3364,7	32,17	3,74	298,9	-4,9	4189
6,511	3367,7	31,92	3,75	298,7	-5	4187
6,521	3370,7	31,66	3,77	298,4	-5	4184,9
6,531	3373,7	31,4	3,78	298,2	-5	4182,9
6,541	3376,6	31,14	3,79	298	-5	4180,9
6,551	3379,6	30,88	3,8	297,8	-5	4178,8
6,561	3382,6	30,62	3,81	297,5	-5	4176,8
6,571	3385,5	30,35	3,82	297,3	-5,1	4174,8
6,581	3388,5	30,09	3,83	297,1	-5,1	4172,7
6,591	3391,4	29,83	3,84	296,9	-5,1	4170,7
6,601	3394,4	29,56	3,85	296,7	-5,1	4168,7
6,611	3397,3	29,3	3,86	296,4	-5,1	4166,7
6,621	3400,3	29,03	3,87	296,2	-5,2	4164,7
6,631	3403,2	28,77	3,88	296	-5,2	4162,6
6,641	3406,2	28,5	3,9	295,8	-5,2	4160,6
6,651	3409,1	28,23	3,91	295,5	-5,2	4158,6
6,661	3412,1	27,96	3,92	295,3	-5,2	4156,6
6,671	3415	27,69	3,93	295,1	-5,3	4154,6
6,681	3418	27,42	3,94	294,9	-5,3	4152,6
6,691	3420,9	27,15	3,95	294,7	-5,3	4150,6

6,701	3423,8	26,88	3,96	294,5	-5,3	4148,6
6,711	3426,8	26,6	3,97	294,2	-5,3	4146,6
6,721	3429,7	26,33	3,98	294	-5,3	4144,6
6,731	3432,6	26,06	3,99	293,8	-5,4	4142,6
6,741	3435,5	25,78	4,01	293,6	-5,4	4140,6
6,751	3438,5	25,5	4,02	293,4	-5,4	4138,7
6,761	3441,4	25,23	4,03	293,2	-5,4	4136,7
6,771	3444,3	24,95	4,04	292,9	-5,4	4134,7
6,781	3447,2	24,67	4,05	292,7	-5,5	4132,7
6,791	3450,1	24,39	4,06	292,5	-5,5	4130,7
6,801	3453	24,11	4,07	292,3	-5,5	4128,8
6,811	3455,9	23,83	4,08	292,1	-5,5	4126,8
6,821	3458,8	23,55	4,1	291,9	-5,5	4124,8
6,831	3461,7	23,27	4,11	291,7	-5,6	4122,9
6,841	3464,6	22,99	4,12	291,4	-5,6	4120,9
6,851	3467,5	22,7	4,13	291,2	-5,6	4118,9
6,861	3470,4	22,42	4,14	291	-5,6	4117
6,871	3473,3	22,13	4,15	290,8	-5,6	4115
6,881	3476,2	21,85	4,16	290,6	-5,7	4113,1
6,891	3479,1	21,56	4,18	290,4	-5,7	4111,1
6,901	3482	21,27	4,19	290,2	-5,7	4109,2
6,911	3484,9	20,98	4,2	290	-5,7	4107,2
6,921	3487,8	20,69	4,21	289,8	-5,7	4105,3
6,931	3490,7	20,41	4,22	289,5	-5,8	4103,3
6,941	3493,5	20,11	4,23	289,3	-5,8	4101,4
6,951	3496,4	19,82	4,25	289,1	-5,8	4099,4
6,961	3499,3	19,53	4,26	288,9	-5,8	4097,5
6,97	3501,9	19,27	4,27	288,7	-5,8	4095,8
6,98	3504,8	18,97	4,28	288,5	-5,8	4093,8
6,99	3507,6	18,68	4,29	288,3	-5,9	4091,9
7	3510,5	18,39	4,3	288,1	-5,9	4090
7,01	3513,4	18,09	4,31	287,9	-5,9	4088
7,02	3516,2	17,79	4,33	287,7	-5,9	4086,1
7,03	3519,1	17,5	4,34	287,5	-5,9	4084,2
7,04	3521,9	17,2	4,35	287,3	-6	4082,3
7,05	3524,8	16,9	4,36	287,1	-6	4080,4
7,06	3527,6	16,6	4,37	286,9	-6	4078,5
7,07	3530,5	16,3	4,39	286,7	-6	4076,5
7,08	3533,3	16	4,4	286,5	-6	4074,6
7,09	3536,2	15,7	4,41	286,3	-6,1	4072,7
7,1	3539	15,39	4,42	286,1	-6,1	4070,8
7,11	3541,9	15,09	4,43	285,9	-6,1	4068,9
7,12	3544,7	14,79	4,45	285,7	-6,1	4067
7,13	3547,6	14,48	4,46	285,5	-6,1	4065,1
7,14	3550,4	14,18	4,47	285,3	-6,2	4063,2
7,15	3553,2	13,87	4,48	285,1	-6,2	4061,3
7,16	3556,1	13,56	4,49	284,9	-6,2	4059,4
7,17	3558,9	13,26	4,51	284,7	-6,2	4057,5
7,18	3561,7	12,95	4,52	284,5	-6,2	4055,6
7,19	3564,6	12,64	4,53	284,3	-6,3	4053,8
7,2	3567,4	12,33	4,54	284,1	-6,3	4051,9
7,21	3570,2	12,02	4,55	283,9	-6,3	4050
7,22	3573	11,71	4,57	283,7	-6,3	4048,1
7,23	3575,8	11,39	4,58	283,5	-6,3	4046,2
7,24	3578,7	11,08	4,59	283,3	-6,4	4044,4
7,25	3581,5	10,77	4,6	283,1	-6,4	4042,5
7,26	3584,3	10,45	4,62	282,9	-6,4	4040,6
7,27	3587,1	10,14	4,63	282,7	-6,4	4038,7

7,28	3589,9	9,82	4,64	282,5	-6,4	4036,9
7,29	3592,7	9,5	4,65	282,3	-6,5	4035
7,3	3595,5	9,19	4,66	282,1	-6,5	4033,1
7,31	3598,3	8,87	4,68	281,9	-6,5	4031,3
7,32	3601,1	8,55	4,69	281,7	-6,5	4029,4
7,33	3603,9	8,23	4,7	281,5	-6,5	4027,6
7,34	3606,7	7,91	4,71	281,3	-6,5	4025,7
7,35	3609,5	7,59	4,73	281,1	-6,6	4023,9
7,36	3612,3	7,27	4,74	280,9	-6,6	4022
7,37	3615,1	6,94	4,75	280,7	-6,6	4020,2
7,38	3617,9	6,62	4,76	280,5	-6,6	4018,3
7,39	3620,7	6,3	4,78	280,3	-6,6	4016,5
7,4	3623,4	5,97	4,79	280,1	-6,7	4014,6
7,41	3626,2	5,65	4,8	280	-6,7	4012,8
7,42	3629	5,32	4,82	279,8	-6,7	4010,9
7,43	3631,8	4,99	4,83	279,6	-6,7	4009,1
7,44	3634,6	4,66	4,84	279,4	-6,7	4007,3
7,45	3637,3	4,34	4,85	279,2	-6,8	4005,4
7,46	3640,1	4,01	4,87	279	-6,8	4003,6
7,47	3642,9	3,68	4,88	278,8	-6,8	4001,8
7,48	3645,6	3,34	4,89	278,6	-6,8	4000
7,49	3648,4	3,01	4,9	278,4	-6,8	3998,1
7,5	3651,2	2,68	4,92	278,2	-6,9	3996,3
7,51	3653,9	2,35	4,93	278,1	-6,9	3994,5
7,52	3656,7	2,01	4,94	277,9	-6,9	3992,7
7,53	3659,4	1,68	4,96	277,7	-6,9	3990,9
7,54	3662,2	1,34	4,97	277,5	-6,9	3989
7,55	3665	1,01	4,98	277,3	-7	3987,2
7,56	3667,7	0,67	4,99	277,1	-7	3985,4
7,57	3670,5	0,33	5,01	276,9	-7	3983,6
7,58	3673,2	0	5,02	276,7	-7	3981,8

Прилог 3

Табела 24. Табеларни приказ ефекта на циљу према експонентима Euler–a за $K=2337$

$K=2337$		v_{500} [m / s]	v_{750} [m / s]	v_{1000} [m / s]	v_{1250} [m / s]	v_{1500} [m / s]	v_{1750} [m / s]	v_{2000} [m / s]
Дебљина плоче [dm]	v_L	841	780	719	660	604	551	500
	[m / s]	Учинак	Учинак	Учинак	Учинак	Учинак	Учинак	Учинак
0,1	202	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија
0,2	405	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија
0,3	607	пробија	пробија	пробија	пробија	не пробија	не пробија	не пробија
0,4	810	пробија	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија
0,5	1012	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија

Табела 25. Табеларни приказ ефекта на циљу према експонентима Euler–a за $K=1968$

$K=1968$		v_{500} [m / s]	v_{750} [m / s]	v_{1000} [m / s]	v_{1250} [m / s]	v_{1500} [m / s]	v_{1750} [m / s]	v_{2000} [m / s]
Дебљина плоче [dm]	v_L	841	780	719	660	604	551	500
	[m / s]	Учинак	Учинак	Учинак	Учинак	Учинак	Учинак	Учинак
0,1	170	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија
0,2	341	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија
0,3	511	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија	не пробија
0,4	682	пробија	пробија	пробија	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија
0,5	852	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија

Табела 26. Табеларни приказ ефекта на циљу према експонентима Euler–a за $K=2500$

$K=2500$		v_{500} [m / s]	v_{750} [m / s]	v_{1000} [m / s]	v_{1250} [m / s]	v_{1500} [m / s]	v_{1750} [m / s]	v_{2000} [m / s]
Дебљина плоче [dm]	v_L	841	780	719	660	604	551	500
	[m / s]	Учинак	Учинак	Учинак	Учинак	Учинак	Учинак	Учинак
0,1	217	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија
0,2	433	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија
0,3	650	пробија	пробија	пробија	пробија	не пробија	не пробија	не пробија
0,4	866	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија
0,5	1083	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија

Табела 27. Табеларни приказ ефекта на циљу према експонентима Euler–а за $K=2498$

$K=2498$		v_{500} [m / s]	v_{750} [m / s]	v_{1000} [m / s]	v_{1250} [m / s]	v_{1500} [m / s]	v_{1750} [m / s]	v_{2000} [m / s]
Дебљина плоче [dm]	v_L	841	780	719	660	604	551	500
	[m / s]	Учинак	Учинак	Учинак	Учинак	Учинак	Учинак	Учинак
0,1	216	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија
0,2	433	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија
0,3	649	пробија	пробија	пробија	пробија	не пробија	не пробија	не пробија
0,4	865	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија
0,5	1082	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија

Табела 28. Табеларни приказ ефекта на циљу према експонентима Noble–а за $K=2337$

$K=2337$		v_{500} [m / s]	v_{750} [m / s]	v_{1000} [m / s]	v_{1250} [m / s]	v_{1500} [m / s]	v_{1750} [m / s]	v_{2000} [m / s]
Дебљина плоче [dm]	v_L	841	780	719	660	604	551	500
	[m / s]	Учинак	Учинак	Учинак	Учинак	Учинак	Учинак	Учинак
0,1	351	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија
0,2	496	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија
0,3	607	пробија	пробија	пробија	пробија	не пробија	не пробија	не пробија
0,4	701	пробија	пробија	пробија	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија
0,5	784	пробија	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија

Табела 29. Табеларни приказ ефекта на циљу према експонентима Noble–а за $K=2730$

$K=2730$		v_{500} [m / s]	v_{750} [m / s]	v_{1000} [m / s]	v_{1250} [m / s]	v_{1500} [m / s]	v_{1750} [m / s]	v_{2000} [m / s]
Дебљина плоче [dm]	v_L	841	780	719	660	604	551	500
	[m / s]	Учинак	Учинак	Учинак	Учинак	Учинак	Учинак	Учинак
0,1	410	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија
0,2	579	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија	не пробија	не пробија
0,3	709	пробија	пробија	пробија	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија
0,4	819	пробија	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија
0,5	916	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија

Табела 30. Табеларни приказ ефекта на циљу према експонентима Noble-a за $K=2165$

$K=2165$		v_{500} [m / s]	v_{750} [m / s]	v_{1000} [m / s]	v_{1250} [m / s]	v_{1500} [m / s]	v_{1750} [m / s]	v_{2000} [m / s]
Дебљина плоче [dm]	v_L	841	780	719	660	604	551	500
	[m / s]	Учинак	Учинак	Учинак	Учинак	Учинак	Учинак	Учинак
0,1	325	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија
0,2	459	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија
0,3	562	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија	не пробија	не пробија
0,4	650	пробија	пробија	пробија	пробија	не пробија	не пробија	не пробија
0,5	726	пробија	пробија	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија

Табела 31. Табеларни приказ ефекта на циљу према експонентима Noble-a за $K=2498$

$K=2498$		v_{500} [m / s]	v_{750} [m / s]	v_{1000} [m / s]	v_{1250} [m / s]	v_{1500} [m / s]	v_{1750} [m / s]	v_{2000} [m / s]
Дебљина плоче [dm]	v_L	841	780	719	660	604	551	500
	[m / s]	Учинак	Учинак	Учинак	Учинак	Учинак	Учинак	Учинак
0,1	375	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија
0,2	530	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија	не пробија
0,3	649	пробија	пробија	пробија	пробија	не пробија	не пробија	не пробија
0,4	749	пробија	пробија	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија
0,5	838	пробија	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија

Табела 32. Табеларни приказ ефекта на циљу према експонентима Krupp-a за $K=2337$

$K=2337$		v_{500} [m / s]	v_{750} [m / s]	v_{1000} [m / s]	v_{1250} [m / s]	v_{1500} [m / s]	v_{1750} [m / s]	v_{2000} [m / s]
Дебљина плоче [dm]	v_L	841	780	719	660	604	551	500
	[m / s]	Учинак	Учинак	Учинак	Учинак	Учинак	Учинак	Учинак
0,1	244	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија
0,2	434	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија
0,3	607	пробија	пробија	пробија	пробија	не пробија	не пробија	не пробија
0,4	771	пробија	пробија	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија
0,5	928	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија

Табела 33. Табеларни приказ ефекта на циљу према експонентима *Krupp*-а за $K=2195$

$K=2195$		V_{500} [m / s]	V_{750} [m / s]	V_{1000} [m / s]	V_{1250} [m / s]	V_{1500} [m / s]	V_{1750} [m / s]	V_{2000} [m / s]
Дебљина плоче [dm]	V_L	841	780	719	660	604	551	500
	[m / s]	Учинак	Учинак	Учинак	Учинак	Учинак	Учинак	Учинак
0,1	229	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија
0,2	407	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија
0,3	570	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија	не пробија	не пробија
0,4	724	пробија	пробија	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија
0,5	871	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија

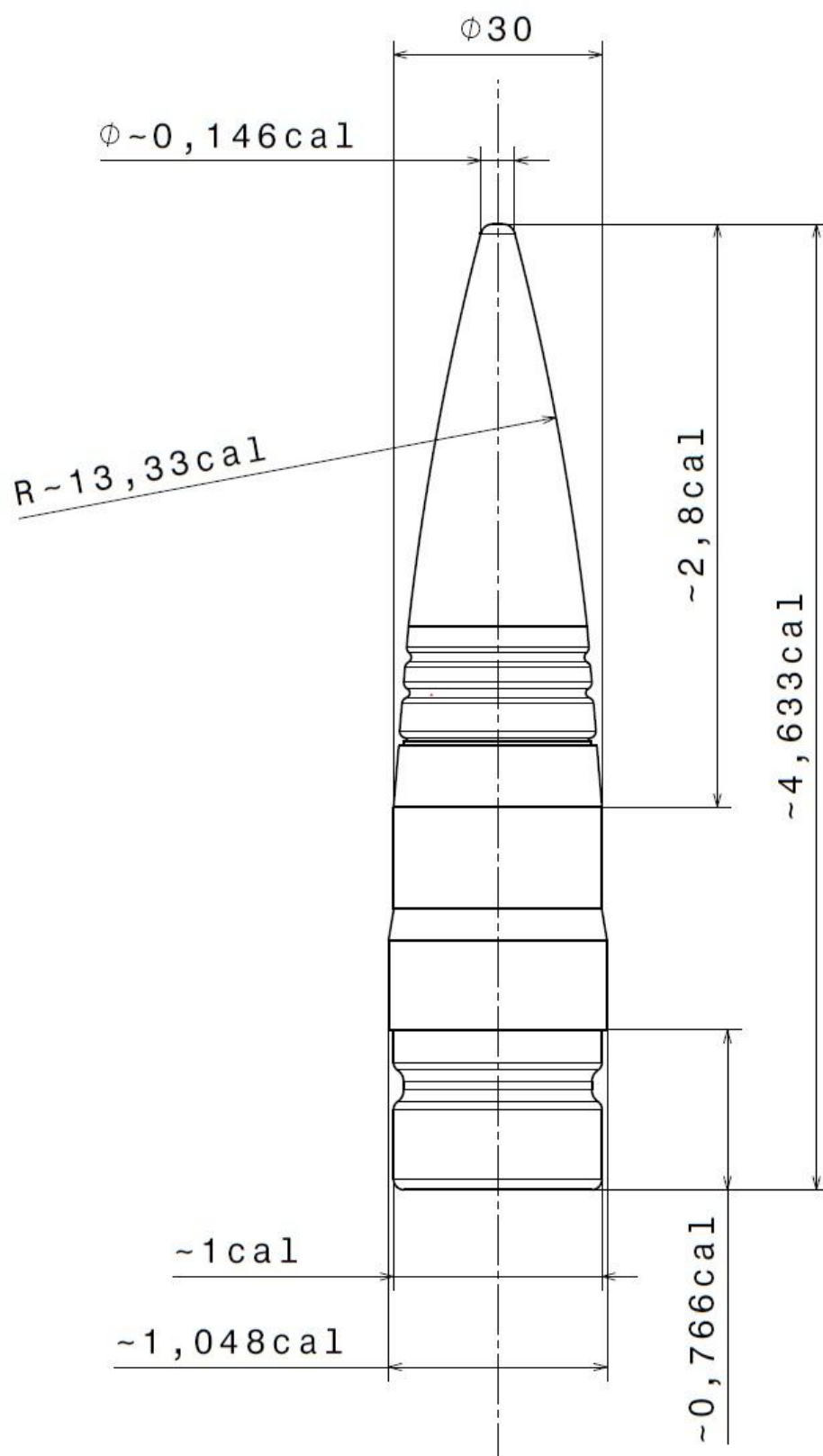
Табела 34. Табеларни приказ ефекта на циљу према експонентима *Krupp*-а за $K=2383$

$K=2383$		V_{500} [m / s]	V_{750} [m / s]	V_{1000} [m / s]	V_{1250} [m / s]	V_{1500} [m / s]	V_{1750} [m / s]	V_{2000} [m / s]
Дебљина плоче [dm]	V_L	841	780	719	660	604	551	500
	[m / s]	Учинак	Учинак	Учинак	Учинак	Учинак	Учинак	Учинак
0,1	249	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија
0,2	442	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија
0,3	619	пробија	пробија	пробија	пробија	не пробија	не пробија	не пробија
0,4	786	пробија	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија
0,5	946	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија

Табела 35. Табеларни приказ ефекта на циљу према експонентима *Krupp*-а за $K=2498$

$K=2498$		V_{500} [m / s]	V_{750} [m / s]	V_{1000} [m / s]	V_{1250} [m / s]	V_{1500} [m / s]	V_{1750} [m / s]	V_{2000} [m / s]
Дебљина плоче [dm]	V_L	841	780	719	660	604	551	500
	[m / s]	Учинак	Учинак	Учинак	Учинак	Учинак	Учинак	Учинак
0,1	261	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија
0,2	464	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија	пробија
0,3	649	пробија	пробија	пробија	пробија	не пробија	не пробија	не пробија
0,4	824	пробија	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија
0,5	992	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија	не пробија

Прилог 4



Слика 1. Димензије пројектила у калибрима

Прилог 5



Слика 1. *Панцирни пројектил, изометријски поглед*



Слика 2. *Делови панцирног пројектила, изометријски поглед*