

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



Назив студијског програма: Војноиндустријско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Наоружање

Предмет: Конструкција аутоматског наоружања

Број индекса: 539/2011

Марко Ж. Васовић

Анализа уздужне стабилности митраљеза на треножном постољу

Дипломски рад

Крагујевац, октобар 2016.

У дипломском раду, помоћу предложене литературе, студент треба да:

- Опише митраље́зе као врсту аутоматског оружја и дефинише њихове специфичности,
- Потребно је поставити одговарајући математичко – механички модел стабилности митраље́за при гађању са различитим угловима елевације и различитим висинама постоља,
- На основу постављеног модела формирати софтверско решење проблема и за усвојени пример оружја (Митраље́з 7,62 mm М84) извршити симулацију. Резултате приказати дијаграмима и табеларно. Анализирати добијене резултате.

Препоручена литература:

[1] George M Chinn, The Machine Gun, Washington 1955.

[2] М. Петровић, Механика аутоматског оружја, ВА, Београд 2007. година

[3] Милан Васиљевић, Аутоматско оружје И и ИИ, Технички школски центар КоВ ЈНА, Загреб, 1971. године

[4] Правило – Пушкомитраље́з 7,62 мм М84

Ментор:

Крагујевац, октобар 2016

доцент др Александар Кари, дипл. инж.

РЕЗИМЕ РАДА

У раду је приказана анализа стабилности митраљеза 7,62 mm M84. Приказан је поступак анализе уздужне и попречне стабилности при гађању са постоља одређивањем релевантних сила. Циклус аутоматског оружја, по којем се делио прорачун, састоји се из четири периода: од опаљења до тренутка када пројектил пређе пут до позајмице; други је од тренутка када пројектил прође позајмицу до престанка дејства барутних гасова; трећи од престанка дејства барутних гасова до краја трзања; четврти је период враћања у почетни положај. Програмским решењем добијене су приближне вредности сила, које одређују уздужну стабилност, које су приказане табеларно и кроз дијаграме.

Кључне речи: **уздужна стабилност, попречна стабилност, силе, постоље**

ABSTRACT

This paper presents an analysis of the stability of the 7.62 mm M84 machine guns. The procedure for the analysis of longitudinal and transverse stability when shooting from the tripod is shown by determining the relevant forces. The cycle of automatic weapons, which is used to separate analysis, consists of four periods: from firing by the time the missile to travel to gas block; the other is from the moment when the projectile passes gas block until the termination of the influence of powder gases; the third of the fact of termination of the influence of powder gases to the end of recoil; the fourth period of returning to the starting position. Software solutions are obtained by using approximate value of the force, which determine the longitudinal stability, and results are presented in tables and graphs.

Keywords: **longitudinal stability, transverse stability, force, tripod**

Садржај

1. Увод.....	5
1.1. Намена митраљеза. О проблему стабилности при гађању митраљеза са постоља.....	5
1.2. Историјски развој митраљеза.....	5
2. Силе које делују на оружје.....	7
2.1. Сила притиска барутних гасова у цеви.....	7
2.2. Сила у уређајима за одвођење барутних гасова.....	8
2.3. Сила трења.....	10
2.4. Сила отпора опруга.....	10
2.5. Сила отпора еластичног постоља.....	11
3. Постоља и стабилност оружја.....	12
3.1. Постоља.....	12
3.2. Делови и механизми постоља.....	12
3.3. Еластична постоља.....	13
3.4. Уздужна стабилност при трзању и враћању.....	16
3.4.1. Уздужна стабилност при трзању.....	16
3.4.2. Уздужна стабилност при враћању.....	20
3.5. Попречна стабилност при трзању и враћању.....	21
3.5.1. Попречна стабилност при трзању.....	21
3.5.2. Попречна стабилност при враћању.....	24
4. Прорачун стабилности при гађању са постоља митраљеза 7,62мм М84.....	25
4.1. Митраљез 7,62мм М84.....	25
4.2. Тактичко – техничке карактеристике митраљеза М84 (ПКТ).....	25
4.3. Циклограм рада.....	26
4.4. Опис постоља митраљеза 7,62мм М84.....	27
4.5. Анализа сила.....	28
4.5.1. Сила тежине.....	28
4.5.2. Сила притиска барутних гасова у цеви.....	28
4.5.3. Сила притиска барутних гасова у уређају за одвођење барутних гасова.....	30
4.5.4. Сила отпора повратне опруге.....	33
4.6. Анализа стабилности.....	36
4.6.1. Уздужна стабилност.....	36
4.6.2. Попречна стабилност.....	38
5. Анализа уздужне стабилности у критичним условима.....	42
5.1. Висина постоља 200 mm.....	42
5.2. Висина постоља 300 mm.....	49
5.3. Висина постоља 400 mm.....	56
5.4. Анализа добијених резултата.....	64
6. Закључак.....	65
Литература.....	66

1. Увод

1.1 Намена митраљеза. О проблему стабилности при гађању митраљеза са постоља

Митраљез је оружје намењено за гађање људства, технике, откривених и лако оклопљених циљева. Њиме се може гађати са постоља, или се може уградити на борбено возило.

Митраљез је оружје које своју функцију обавља аутоматизованом сменом радњи од опаљења метка, преко извлачења и избацивања до смештања новог метка у лежиште, забрављења и поновног опаљења. Сваки циклус засебно има за последицу тежњу да се ово оруђе преврне преко задњих ногица постоља при трзају, а предњих при враћању. С обзиром да се при гађању овог оружја неколико циклуса смени у веома кратком периоду оружје и његово постоље осцилују. При томе проблем настаје када се осцилације постоља ускладе са циклусом оружја и може доћи до превртања. Прорачун стабилности подразумева проналажење односа сила које се јављају као последица опаљења и сила које теже да то оружје одрже у равнотежи.

1.2 Историјски развој митраљеза

Од првог ватреног оружја, арапске модфе, преко фитиљача, од којих је најпознатија мускета, усавршавањем су настајале колашице, па кременаче, до капислара. Средином 19. века официр белгијске војске је конструисао први озбиљан модел вишецевне каписларе, која се састојала од 50 цеви, састављених паралелно једне у односу на друге, чинећи призматичну структуру. На први поглед је ово оруђе личило на топ, а било је и те масе. Тада је већ показивана потреба да се обезбеди што већа брзина паљбе и већи домет, па је ово оруђе имало необичне карактеристике за то време. Брзина гађања је износила преко 100 метака у минута, а домет је био 2000 метара. У међувремену, у Лондону, Џејмс Лил је конструисао вишецевно оруђе револверског типа. Године 1854. Хенри Бесемер је патентирао први вид аутоматске пушке, тада већ конструисане, острагуше. Аутоматизован је био процес храњења, брављења и опаљења. Проблем недовољне брзине гађања је узрокован и спорим пуњењем, из разлога што се оно састојало од засебног убацивања пројектила и барутног пуњења. Развој ватреног оружја прати и развој метка. [1]

Први модел митраљеза, иако не налик данашњем, конструисао је Езра Рипли 1861. године. Године 1855. Колт је покушао да убрза паљбу пушака претварајући револвер, додавањем кундака и продужењем цеви. Овај модел није био прихваћен због низа својих недостатака. Савршеније оруђе, настало мало касније, носило је назив реквијум, а оно се састојало од 25 цеви поређано у линији. Забрављивање се вршило клизећим затвараčem којим се управљало преко полуге. Ово оруђе, код којег је примењен магацине за храњење, брзо и лако забрављивања и одбрављивања, оставило је велики значај.

Као последица америчког грађанског рата, током којег је конструисан велики број оружја различитих намена и карактеристика, одабиром најбољих особина претходница

митраљеза које су произведене пре и у току рата, излази митраљез који је оставио битан утицај у историји овог оружја, а то је Гатлинг.

У периоду претходно наведеном митраљезима је био неопходан спољни извор енергије за обављање одређених делова циклуса. Први митраљез који је функционисао потпуно аутоматски је Максим, чији се аутоматизам заснивао на искоришћењу енергије барутних гасова за одражавање циклуса. [2]

2. Силе које делују на оружје

Стабилност оружја је битна карактеристика која утиче на тачност и прецизност погодака, а она, при гађању из оруђа са постоља, зависи од стабилности постоља. Да би почели са разматрањем стабилности, неопходно је одређивање сила које делују на оружје.

2.1 Сила притиска барутних гасова у цеви

Сила притиска барутних гасова у цеви оружја се добија као резултат унутрашње-балистичких прорачуна. Постоје различите методе прорачуна, аналитичке, нумеричке или табличне. Најпрецизније методе су нумеричке, али су сложене и обимне. Зато се чешће примењују приближне методе код којих се променљиве могу изразити аналитичким изразима. [3]

При састављању система једначина за притисак гаса у цеви и у уређајима за одвођење гасова из цеви примењују се методи затворених термодинамичких система, са основним законима гасодинамике са квазистационарном претпоставком и једначине кретања пројектила или члана за дати физички модел уређаја.

Сила притиска барутних гасова се даје изразом:

$$P = pS_c \quad (2.1)$$

p – притисак барутних гасова,

S_c – површина попречног пресека цеви.

Притисак барутних гасова добија се према једначинама унутрашње балистике док се пројектил креће кроз цев, а по његовом изласку односно у периоду истицања барутних гасова или у периоду накнадно дејства се изражава аналитички.

Притисак у периоду истицања барутних гасова се изражава користећи приближну формулу:

$$p = p_u e^{-\frac{t}{b}} \quad (2.2)$$

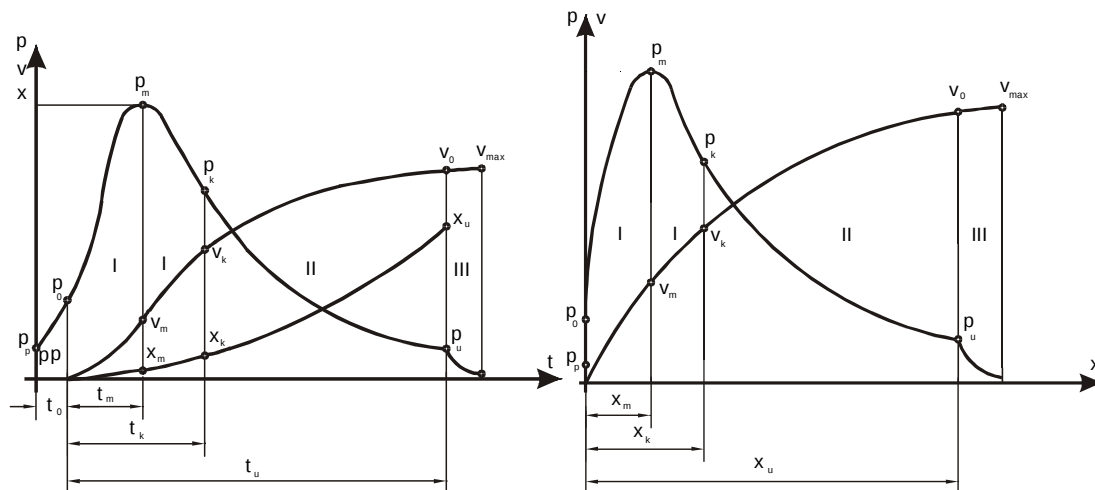
$$b = \frac{(\beta-0,5)}{p_u S_c} \mu V_0 \quad (2.3)$$

β – коефицијент потпуног деловања масе гасова на цев оружја,

p_u – притисак барутних гасова на устима цеви,

V_0 – брзина пројектила на устима цеви.

Проблеми унутрашње балистике се решавају на два начина: класичном теоријом унутрашње балистике и теоријом двофазног струјања. Као резултат прорачуна унутрашње балистике добију се подаци о кретању пројектила кроз цев и о развоју гасодинамичких карактеристика. Резултати се могу приказати дијаграмом зависности, који се могу прикати у функцији времена или пређеног пута. Они ће бити приказани на **Слици 2.1**:

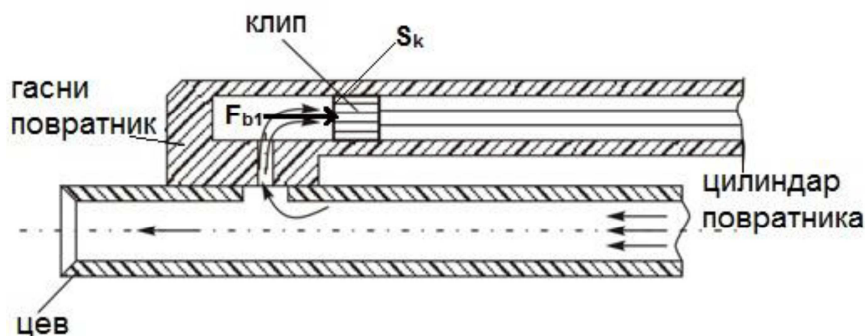


Слика 2.1. Крива промене притиска барутних гасова у зависности од времена(лево) и пређеног пута пројектила(десно)

2.2 Сила у уређајима за одвођење барутних гасова

Гасни повратник служи као извор кинетичке енергије за покретање делова аутоматике. Он се састоји од цилиндра у ком се налази клип са клипњачом. Гас долази у цилиндар кроз отвор и канал у зиду цеви. Канал и део цилиндра у коме се налази гас често се назива комора гасног повратника. [3]

На **Слици 2.2** биће приказана сила која делује на клип у цилиндру:



Слика 2.2. Деловање силе притиска барутних гасова на клип у цилиндру гасног повратника

Често се узима упрошћена зависност заснована на експериментално утврђеној чињеници о пропорционалности импулса притиска у цеви и повратнику. Добре резултате даје формула Ваљеа:

$$p_k = p_{km} e^{1-z} \quad (2.4)$$

,где су:

p_{km} - максимални притисак у комори гасног повратника;

t_k - време од почетка улаза гасова у комору гасног повратника

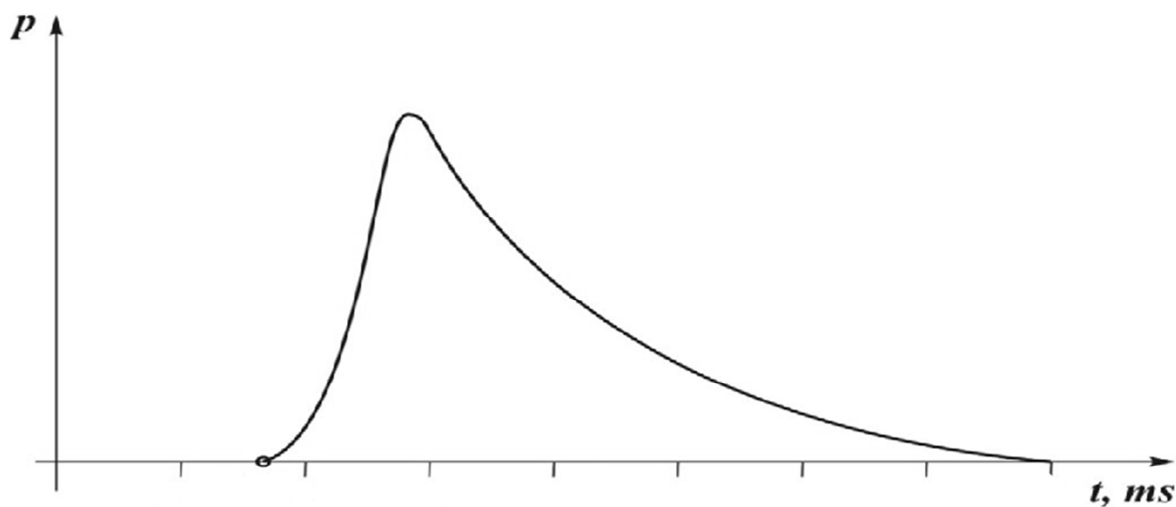
t_{km} - време од почетка улаза гасова у комору гасног повратника до момента кад притисак у комори гасног повратника достигне максималну вредност.

Сила притиска барутних гасова на клип гасног повратника дата је изразом

$$P_k = p_k S_k \quad (2.5)$$

S_k – површина клипа на који делује притисак у комори гасног повратника.

На **Слици 2.3** ће бити приказан дијаграм притиска у функцији времена.



Слика 2.3. Крива промене притиска у гасном повратнику у функцији времена

2.3 Сила трења

Сила трења у оружју представља веома сложен динамички проблем. Постоје различите врсте трења, али се најчешће разматрају механичке врсте, трење клизања и трење котрљања. С обзиром да је трење котрљања ретко код оружја, у тексту који следи биће описано само трење клизања. [3]

Величина силе трења F_k се карактерише коефицијентом трења f , који зависи од својства материјала, брзине кретања делова који су у контакту и других фактора. Он представља однос силе које покреће тело, које се креће по неком другом телу константном брзином, и нормалне силе.

Образац којим се рачуна сила трења је:

$$F_k = fN \quad (2.6)$$

Вредности коефицијента трења се разликују због већ наведених зависности. Коефицијент трења при клизању месинга по челику је, на пример, $f = 0,07$. Када постоје вибрације узима се повећана вредност.

2.4 Сила отпора опруге

У већини врста аутоматског оружја враћање покретних делова врши се деловањем повратне опруге, а при трзању опруга се, услед сабијања, супротставља кретању. Опруга може деловати не само на основне већ и на побочне чланове. У једначинама кретања сила опруге се јавља као активна сила или као реакција. Сила опруге углавном зависи од брзине оптерећења. При брзини деформације $\dot{x} > a$ (a је брзина распрострања таласа поремећаја) треба узети у обзир таласно кретање. [3]

Сила отпора опруге се одређује по зависности:

$$F = F_0 + cx \quad (2.7)$$

где је F_0 – почетна сила опруге, c - крутост опруге, x - деформација опруге.

Крутост опруге се рачуна по формули:

$$c = \frac{F_{max} - F_0}{x_{max}} \quad (2.8)$$

При томе се обично занемарује маса опруге а маси покретних делова, који се померају под деловањем опруге додаје се $1/3$ масе опруге.

При одбијању таласа деформације у последњем навоју јавља се додатна сила

$$\Delta F = \frac{v_0}{\sqrt{mk}} \quad (2.9)$$

Због тога навоји на крајевима опруге раде у тежим условима.

2.5 Сила отпора еластичног постоља

Сила еластичног отпора трзања ће бити детаљније описана кроз тачку 3.3. У оквиру ове главе, сила је споменута као једна од битнијих, иако њен интензитет нема значајног утицаја на промену стабилности постоља. [4]

$$R_{ek} = cx_k = wSp_1t_1e(1 - \frac{1+z_4}{e^{z_4}}) \quad (2.10)$$

$$x = \frac{I}{WM^I} \sin Wt \quad (2.11)$$

$$I = \int_0^{t_4} P dt \quad (2.12)$$

$$W = \sqrt{\frac{C}{M^I}} \quad (2.13)$$

$$z_4 = \frac{t_4}{t_1}$$

$$P = Sp_1ze^{1-z} \quad (2.14)$$

R_{ek} – максимална сила кочења на крају трзања

S – површина попречног канала цеви

p_1 – максимални притисак у цеви z ,

$$z = \frac{t}{t_1}$$

c – крутост постоља

t_1 – време од почетка кретања до тренутка максималног притиска

t_4 – време од почетка кретања зрна у цеви па до момента завршетка истицања гасова

3. Постоља и стабилност оруђа

3.1 Постоља

Постављањем оружја на носач – постоље оружје може да се помера по правцу и висини, али се линија гађања не мења.

Разликују се постоља и лафети. Када је у питању пешадијско оружје, гађање калибром до 12,7 мм врши се са постоља, а већим калибром са лафета.

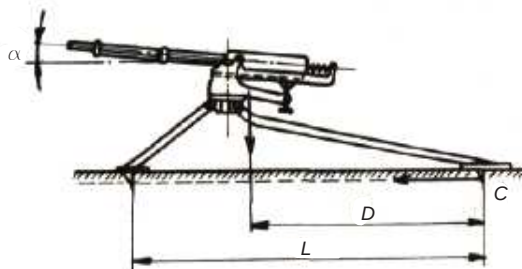
Кочење трзања при гађању са постоља врши се помоћу опружног амортизера или помоћу силе еластичности постоља. На основу овога, разматрање стабилности при гађању са постоља се може поделити на:

- прорачун стабилности постоља са опружним амортизерима и,
- прорачун стабилности еластичних постоља.

3.2 Делови и механизми постоља

Постоља са опружним амортизером за митраљез, у највећем броју случајева, састоји се од:

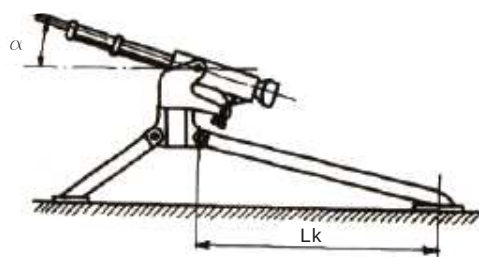
- носача који учвршћује митраљез,
- опружних амортизера који успоравају кретање оружја са носачем,
- колевке у којој се креће носач са митраљезом,
- механизма за померање колевке с оружјем по правцу и висини и
- рама постоља са ногама.



Слика 3.1. Шема митраљеза на постољу са опружним амортизером

Еластична постоља су лаке конструкције и састоје се најчешће од треношца са стојером или колевком у којој се учвршћује митраљез.

Оваква постоља се најчешће користе за оружје које функционише по принципу кратког трзања цеви, јер код њих сила притиска барутних гасова делује само на покретни део аутоматике, а на сандук механизма оружја односно на везу између оружја и постоља делује само сила повратних опруга цеви и затварача и силе амортизера трзања цеви и затварача. Те силе су знатно мање од силе притиска барутних гасова. [4]

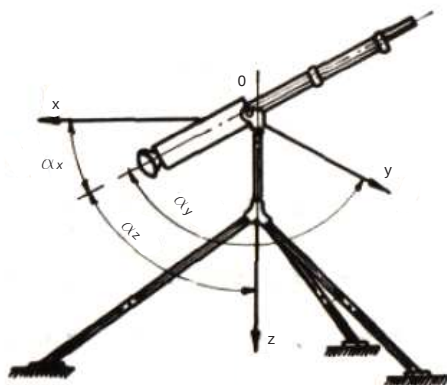


Слика 3.2. Шема митраљеза на еластичном постољу

3.3 Еластична постоља

При гађању митраљезом са еластичног постоља, оружје се помера транслаторно и обртно са делом постоља које је везано за оружје:

- сва три правца су међусобно управна,
- при деловању силе дуж било којег од ових праваца, на другим правцима деформација је једнака 0,
- осе елипсоида деформација поклапају се са главним правцима деформације постоља.



Слика 3.3. Шема еластичног постоља са уцртаним координатним осама

У смеру сваког главног правца деформације постоље има одређену крутост.

Свако митраљеско постоље углавном има вертикалну раван симетрије у којој лежи главни правац гађања. У равни симетрије леже два главна правца деформације, а трећи управно на њих, у хоризонталној равни.

Крутост постоља може се одредити прорачуном или експериментално – статичким оптерећењем и мерењем одговарајућих померања.

Ако је сила F_x сила која делује на постоље дуж осе x правоугаоног координатног система, онда је крутост:

$$C_x = \frac{F_x}{X}$$

Када се кретање оружја на еластичном постољу поклапа са смером главних правца деформације, онда се оно може представити диференцијалним једначинама:

$$M_x^I \ddot{x} + C_x x X = P \cos \alpha_x \quad (3.1)$$

$$M_y^I \ddot{y} + C_y Y = P \cos \alpha_y$$

$$M_z^I \ddot{z} + C_z Z = P \cos \alpha_z$$

M_x^I, M_y^I, M_z^I – редуковане масе на осе x, y и z ,

C_x, C_y, C_z – крутост постоља у смеру x, y и z ,

$\alpha_x, \alpha_y, \alpha_z$ – угао између осе канала цеви и оса Ox, Oy и Oz и

P – сила притиска барутних гасова на чело затварача.

Редуковане масе се одређују на следећи начин:

$$M_x^I = M + \beta_x M_p \quad (3.2)$$

$$M_y^I = M + \beta_y M_p$$

$$M_z^I = M + \beta_z M_p$$

M – маса оружја,

M_p – маса постоља,

$\beta_x, \beta_y, \beta_z$ – коефицијенти редуковања за сваки од главних правца деформације.

Вредност коефицијента редуковања се одређује прорачуном или експериментално, а обично износи $\beta = 0,25 \div 0,5$.

Узимајући да је решење претходних једначина доста сложено, користе се једноставнији обрасци за прорачун карактеристика постоља.

За оријентациони прорачун дужине трзања оружја на еластичном постољу користи се образац Кривога, у случају дејства динамичке силе на еластични систем, при чему је време деловања силе мање од $\frac{1}{10}$ периода слободног осциловања:

$$X = \frac{I}{WM} \sin \omega t$$

I – импулс силе притиска барутних гасова,

W – кружна фреквенција слободних осцилација.

Импулс силе барутних гасова се рачуна по обрасцу:

$$I = \int_0^{t_4} P dt$$

$$P = Sp_1 z e^{1-z}$$

Употребом претходног обрасца за силу притиска барутних гасова у једначини за прорачун импулса добија се:

$$I = Sp_1 e t_1 \left(1 - \frac{1 + z_4}{e^{z_4}}\right)$$

При томе је:

$$z_4 = \frac{t_4}{t_1}$$

Кружна фреквенција слободних осцилација је једнака:

$$W = \sqrt{\frac{C}{M}}$$

Укупно време трзања назад једнако је времену враћања у почетни положај, односно четвртини периода осциловања:

$$t_k = t_{vp} = \frac{T}{4} = \frac{\pi}{2W}$$

Укупно померање при $t = t_k$ износи:

$$X_k = \frac{I}{W_x M^I}$$

Максимална сила кочења на крају трзања се рачуна по обрасцу:

$$R_{ek} = cx_k = wSp_1 t_1 e(1 - \frac{1+z_4}{e^{z_4}}) \quad (2.10)$$

С обзиром да је $W = \sqrt{\frac{C}{M^I}}$ и $T = 2\pi\sqrt{\frac{M^I}{C}}$ пројекције на главне осе деформације биће:

$$W_x = \sqrt{\frac{C_x}{M_x^I}}, \quad W_y = \sqrt{\frac{C_y}{M_y^I}}, \quad W_z = \sqrt{\frac{C_z}{M_z^I}}$$

$$T_x = 2\pi\sqrt{\frac{M_x^I}{C_x}}, \quad T_y = 2\pi\sqrt{\frac{M_y^I}{C_y}}, \quad T_z = 2\pi\sqrt{\frac{M_z^I}{C_z}}$$

Да би се смањио утицај силе притиска барутних гасова на осцилације постоља, треба одабрати карактеристике постоља M^I и C такве да је задовољен услов:

$$t_4 \leq 0,1T$$

Услов се може написати и као:

$$t_c \leq 0,5T$$

Ако је задовољен овај услов, биће онемогућена појава подрхтавања и резонанције. До појаве резонанције постоља може доћи ако је време трајања циклуса оружја једнако периоду осциловања постоља. До појаве подрхтавања долази када су разлике између ова два времена мале. [4]

3.4 Уздужна стабилност при трзању и враћању

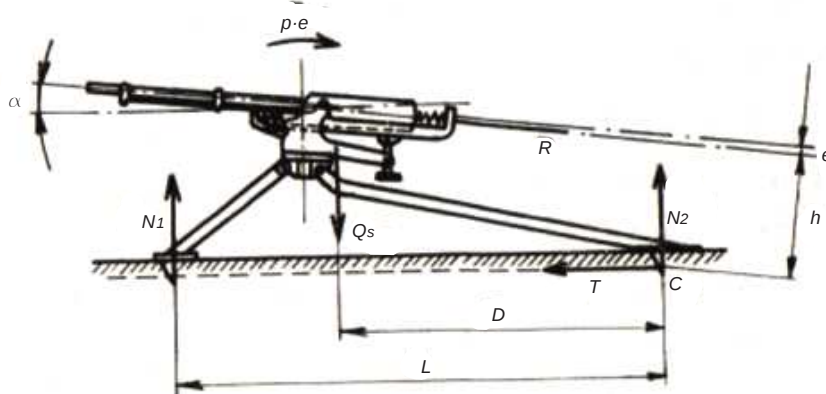
3.4.1 Уздужна стабилност при трзању

Уздужна стабилност подразумева стабилност система при гађању у правцу који лежи у равни симетрије постоља.

При прорачуну стабилности полази се од следећих претпоставки:

- Систем – оружје са постољем је постављено на хоризонталној подлози са углом елевације α ;
- Оружје се при опаљењу трза назад дуж вођица паралелних оси канала цеви;
- Ослоне тачке система при опаљењу остају непокретне;
- Све силе које при опаљењу делују на систем леже у вертикалној равни симетрије постоља.

На Слици 3.1 приказано је оруђе на постољу са уцртаним силама.



Слика 3.4. Шема митраљеза на постољу са уцртаним силама и моментима сила

Сума момената у односу на тачку С биће једнака:

$$Pe + Rh - Q_s D + N_1 L = 0 \quad (3.3)$$

P – сила притиска барутних гасова,

e – растојање тежишта од осе цеви,

R – сила отпора трзању,

h – најкраће растојање између правца деловања силе R и задње ослоне тачке,

Q_s – тежина система – митраљеза са постољем,

D – растојање између тежишта система и задње ослоне тачке,

L – растојање између предње и задње ослоне тачке,

N_1 – вертикална реакција подлоге на предњој ослоној површини,

N_2 – вертикална реакција подлоге на задњој ослоној површини,

T – укупна хоризонтална реакција подлоге на све ослоне површине ногу постоља.

Да би стабилност била обезбеђена, мора бити задовољен услов стабилности, а то је да вертикална реакција подлоге N_1 буде већа или једнака нули, односно:

$$N_1 \geq 0$$

Вертикална реакција подлоге N_1 из претходне једначине се одређује:

$$N_1 = \frac{-Pe - Rh + Q_s D}{L}$$

Може се написати и као:

$$-Pe - Rh + Q_s D \geq 0 \quad (3.4)$$

$$Pe + Rh \leq Q_s D$$

Израз са леве стране ове неједнакости је дестабилишући момент сила који тежи да обрне систем око непомичне тачке C , па се овај момент назива момент превртања. Самим тим, овај услов стабилности се назива услов непревртања. Овом моменту се супротставља момент тежине система који се налази са десне стране израза и назива се још и стабилишући момент.

Све наведене силе, сем силе тежине, су променљиве током времена.

Промена силе притиска барутних гасова у функцији времена, се одређује методама унутрашње балистике док је зрно у цеви, а у периоду накнадног дејства посебним обрасцима.

Сила отпора R се мења са дужином трзања и максималну вредност достиже на крају трзања.

Растојање у датом обрасцу h зависи од угла елевације α . Повећањем угла елевације опада крак h док у једном тренутку достигну нулу, па након тога постаје стабилишући момент.

Стабилишући момент се такође мења за време опаљења, а израз за његов прорачун може се добити из неједнакости:

$$Q_s D_0 = Q_p D_1 + Q_0 D_2 \quad (3.5)$$

D_0 – почетна хоризонтална удаљеност тежишта система од тачке С,

D_1 - хоризонтална удаљеност тежишта постоља од тачке С,

Q_p – тежина постоља,

Q_0 – тежина трзајуће масе.

При померању трзајуће масе по вођицама за дужину X_s удаљеност њеног тежишта од тачке С се смањује:

$$D_2 = D_{02} - X_s \cos \alpha \quad (3.6)$$

За време трзања израз за стабилишући момент има облик:

$$Q_s D = Q_p D_1 + Q_0 (D_{02} - X_s \cos \alpha),$$

$$Q_s D = Q_s D_0 - Q_0 X_s \cos \alpha.$$

Ово смањење се код митраљеских постоља може занемарити, с обзиром да се момент тежине смањује за само 2-3%.

Минимални угао елевације при којем је обезбеђена стабилност система назива се граничним углом стабилности система α_{gr} и он треба да буде мањи или једнак минималном углу елевације који се користи при гађању са системом.

$$\alpha_{gr} = \arcsin \frac{Q_s D_0}{R_{ek} \sqrt{H^2 + L_k^2}} - \arctg \frac{L_k}{H} \quad (3.7)$$

L_k – нормално растојање од ослоне површине задње ноге постоља до зглоба ноге.

Гранична вредност силе еластичног отпора постоља на крају трзања рачуна се по обрасцу:

$$R_{gr} = \frac{Q_s D_0 - Q_0 X_{sk} \cos \alpha_{gr}}{H \cos \alpha_{gr} - L_k \sin \alpha_{gr}} \quad (3.8)$$

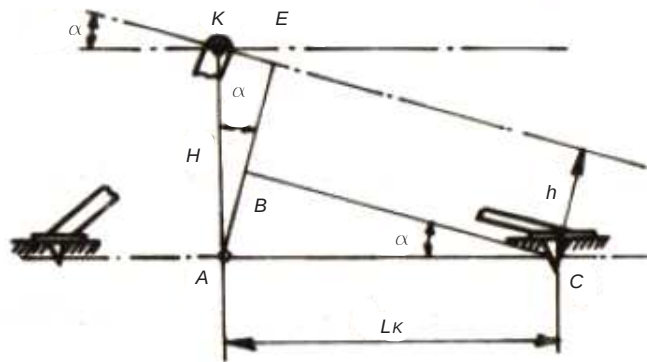
Гранична вредност силе еластичног отпора постоља у току кретања зрна у цеви рачуна се по обрасцу:

$$R_{gr} = \frac{Q_s D_0 - P_{sre}}{H \cos \alpha_{gr} - L_k \sin \alpha_{gr}} \quad (3.9)$$

P_{sr} – средња сила притиска барутних гасова у периоду кретања зрна у цеви.

Крак h силе R се може изразити у зависности од угла елевације α и димензија постоља:

$$h = H \cos \alpha - L_k \sin \alpha \quad (3.10)$$



Слика 3.5. Прорачун крака h силе R

Реакције подлога N_1 и N_2 се, на основу претходних једначина, рачунају по изразима:

$$N_1 = \frac{Q_s D_0 + R L_k \sin \alpha - R H \cos \alpha - P e}{L} \quad (3.11)$$

$$N_2 = \frac{Q_s (L - D_0) + R (L - L_k) \sin \alpha + R H \cos \alpha + P e}{L} \quad (3.12)$$

Да би се обезбедила стабилност постоља при минималним угловима елевације, при одређивању дозвољене вредности за ову силу узима се коефицијент сигурности 0,9. [4]

$$R_{kgr} = 0,9 R_{gr} \quad (3.13)$$

3.4.2 Уздужна стабилност при враћању

По завршеном трзању, оружје се враћа у почетни положај под дејством силе еластичности постоља.

При гађању из оружја које је чврсто везано за еластично постоље, после престанка деловања силе притиска барутних гасова и заустављања оружја, оружје се под дејством

силе еластичности постоља креће напред. Ако се занемаре унутрашњи губици, може се узети да је сила еластичности која делује на постоље на крају враћања једнака сили еластичности на крају трзања.

Уздузна стабилност еластичног постоља при враћању може се одредити помоћу обрасца (3.9):

$$Q_s(L - D_0) = R_{ek}[H\cos\alpha + (L - L_k)\sin\alpha] \quad (3.14)$$

Дозвољена гранична вредност силе еластичности постоља се рачуна по обрасцу (3.10):

$$R_{ekgr} = 0,9 \frac{Q_s(L - D_0)}{H\cos\alpha + (L - L_k)\sin\alpha} \quad (3.15)$$

3.5 Попречна стабилност при трзању и враћању

3.5.1 Попречна стабилност при трзању

С обзиром да постоље омогућава померање по правцу при гађању, тако се и оружје помера од равни симетрије постоља.

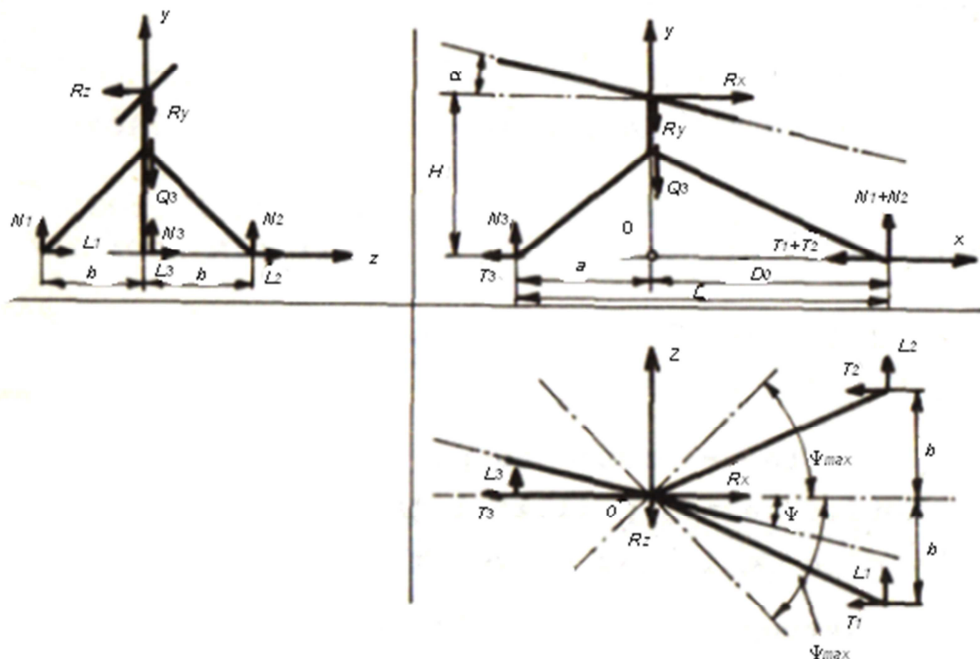
Када се оружје помери од равни симетрије за неки угао ψ , поред компоненте силе кочења трзања која тежи да обрне оружје око задње ослоне површине, јавља се и компонента силе кочења која тежи да преврне оружје на бок.

У прорачун поперечне стабилности полази се уз следеће претпоставке:

- систем – оружје са постољем, је постављено на хоризонталну подлогу и задати су му угао елевације α и угао правца ψ ;
- под дејством сопствене тежине систем остаје цело време стабилан и ослоне тачке непокретне;
- тежиште трзајуће масе се налази на оси канала цеви, односно $e=0$;
- момент реакције обртања зрна у каналу цеви се занемарује јер је његова вредност мала у односу на момент тежине система.

Компоненте силе кочења при било којим угловима елевације и правца су:

$$\begin{aligned} R_x &= R\cos\alpha\cos\psi \\ R_y &= R\sin\alpha \\ R_z &= R\cos\alpha\sin\psi \end{aligned} \quad (3.16)$$



Слика 3.6. Шема оружја са постољем са уцртаним које делују на систем

Реакције подлоге се одређују из следећих услова:

$$\begin{aligned}
 \sum X &= 0 & \sum Y &= 0 & \sum Z &= 0 \\
 \sum M_x &= 0 & \sum M_y &= 0 & \sum M_z &= 0
 \end{aligned} \tag{3.17}$$

$$\begin{aligned}
 L_1 &= L_2; T_1 = T_2; \\
 \frac{T_3}{T_1} &= \frac{T_3}{T_2} = C
 \end{aligned}$$

C - однос вертикалних пројекција ослоних површина предње и задње ноге

Како би се израчунале вредности компонената сила поставља се систем једначина равнотеже за систем приказан на **Слици 3.6**:

$$\sum X = 0; \quad R_x - T_1 - T_2 - T_3 = 0; \tag{3.18}$$

$$\sum Y = 0; \quad N_1 + N_2 + N_3 - Q_s - R_y = 0; \tag{3.19}$$

$$\sum Z = 0; \quad L_1 + L_2 + L_3 - R_z = 0 \tag{3.20}$$

$$\sum M_x = 0; \quad R_z H + N_2 b - N_1 b = 0 \tag{3.21}$$

$$\sum M_y = 0; \quad L_3 a - L_1 D_0 - L_2 D_0 + T_1 b - T_2 b = 0 \tag{3.22}$$

$$\sum M_z = 0; \quad R_x H + N_3 a - (N_1 + N_2) D_0 = 0 \tag{3.22}$$

Решавањем система, добијају се вредности сила:

$$T_1 = T_2 = \frac{R_x}{2+c} \quad (3.23)$$

$$T_3 = cT_1 = \frac{cR_x}{2+c} \quad (3.24)$$

$$L_1 = L_2 = \frac{R_z a}{2L} \quad (3.25)$$

$$L_3 = \frac{R_z D_0}{L} \quad (3.26)$$

$$N_1 = \frac{(Q_s + R_y)a + R_x H}{2L} + \frac{R_z H}{2b} \quad (3.27)$$

$$N_2 = \frac{(Q_s + R_y)a + R_x H}{2L} - \frac{R_z H}{2b} \quad (3.28)$$

$$N_3 = \frac{(Q_s + R_y)D_0 - R_x H}{L} \quad (3.29)$$

Гранични угао елевације се рачуна по обрасцу:

$$\alpha_{gr} = \arccos \frac{Q_s a}{R_{ek} \sqrt{H^2 \left(\frac{L}{b} \sin \psi - \cos \psi \right)^2 + a^2}} \quad (3.30)$$

3.5.2 Попречна стабилност при враћању

Реакције подлога се одређују на исти начин као и при трзању.

$$N_1 = \frac{(Q_s - R_{py})a - R_{px}H}{2L} - \frac{R_{pz}H}{2b} \quad (3.31)$$

$$N_2 = \frac{(Q_s - R_{py})a - R_{px}H}{2L} + \frac{R_{pz}H}{2b} \quad (3.32)$$

$$N_3 = \frac{R_{px}H + (Q_s - R_{py})D_0}{L} \quad (3.33)$$

$$R_{px} = R_p \cos \alpha \cos \psi$$

$$R_{py} = R_p \sin \alpha$$

$$R_{pz} = R_p \cos \alpha \sin \psi$$

У овим обрасцима, R_p представља силу кочења повратника при враћању.

Систем је стабилан ако су реакције подлоге $N_1 > 0$, $N_2 > 0$, $N_3 > 0$ и специфични притисак не прелази дозвољено напрезање тла. [4]

4. Прорачун стабилности при гађању са постоља митраљеза 7,62мм М84

4.1 Митраљез М84

Митраљез 7,62 мм М84 је развијен у фабрици „Застава Оружје“ из Крагујевца. Развијен је по узору на руски митраљез ПКМ и у односу на тај нема много разлика битних за функционисање оружја. Намењен је за: неутралисање и уништавање откривених и маскираних групних и важних појединачних циљева, неутралисање ватрених средстава непријатеља која дејствују кроз пушкарнице бункера или утврђених зграда, уништавање и онеспособљавање моторних и слабије оклопних возила и уништавање циљева у ваздуху. [6]



Слика 4.1. Митраљез М84

4.2 Тактичко – техничке карактеристике митраљеза М84 (ПКТ)

Тактичко – техничке карактеристике митраљеза М84 биће приказане у **Табели 4. 1.**

Табела 4.1. Тактичко-техничке карактеристике митраљеза М 84

Калибар	7,62 mm
Метак	7,62x54R
Укупна дужина	1173 mm
Дужина цеви	603 mm
Маса митраљеза	10 kg
Маса митраљеза са постољем	15 kg
Маса цеви	3,23 kg

Број жљебова	4
Корак увијања	240 mm
Теоријска брзина гађања	700 – 800 met./min
Практична брзина гађања	250 met./min
Брзина зрна на устима цеви	800 m/s
Максимални ефективни домет	1000 m
Век цеви	20000 метака

4.3 Циклограм рада митраљеза М84

Циклограм рада ће бити представљен табеларно, при чему је његова намена да се прикажу појаве у циклусу аутоматике у зависности од положаја носача затварача у односу на неку референтну тачку. Циклограм ће бити приказан за период трзања и период враћања у **Табели 4.2.**

Табела 4.2. Циклограм рада митраљеза М 84

	Назив операције	Померај затварача x (mm)
Период трзања	Почетак извлачења метка из реденика	0
	Почетак рада доносача метка	9
	Почетак одбрављивања затварача	9
	Крај одбрављивања затварача	19
	Крај ротације затварача после одбрављивања	22
	Клип излази из цилиндра	38
	Почетак отварања поклопца за избацивање чауре	48
	Крај спуштања метка пред чело затварача	77
	Крај отварања поклопца за избацивање чауре	98
	Избацивање чауре	103
	Почетак затварања поклопца за избацивање чауре	110
	Крај рада доносача метка	127
	Крај затварања поклопца за избацивање чауре	127
	Запињање носача затварача	134
	Крај трзања носача затварача	136
Период враћања	Почетак уношења метка	127
	Почетак отварања поклопца за избацивање чауре	127
	Почетак рада доносача метка	127
	Крај отварања поклопца за избацивање чауре	110
	Почетак затварања поклопца за избацивање чауре	98
	Крај затварања поклопца за избацивање чауре	48
	Крај враћања тела затварача	22
	Почетак забрављивања затварача	19
	Крај забрављивања затварача	9
	Крај рада доносача метка	9

4.4 Опис постолја М84

Постоље митраљеза М84 се састоји од:

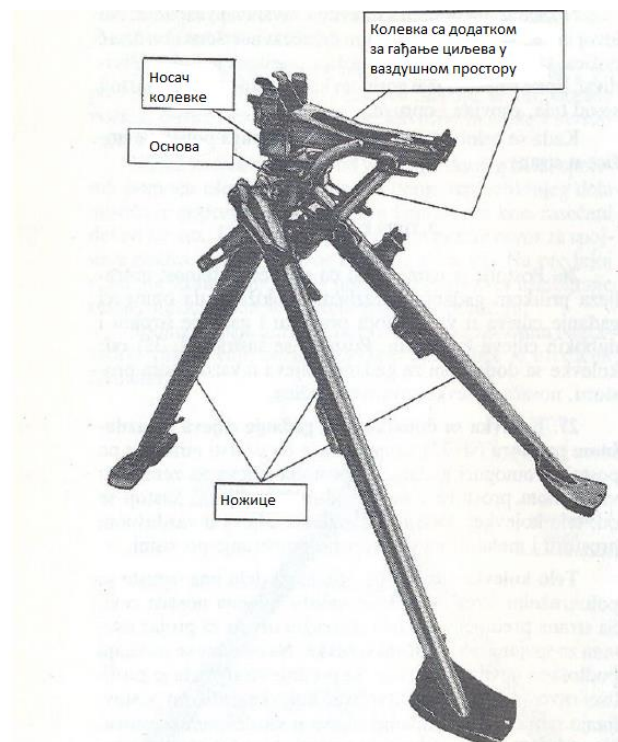
- колевке са додатком за гађање циљева у ваздушном простору,
- носача колевке,
- основе и
- ножица.

Намена колевке је да учврсти митраљез на постолју, омогући гађање са постолја циљева на земљи и у ваздушном простору и гађање дубоких циљева. Састоји се од: тела колевке, додатка за гађање циљева у ваздушном простору и механизма за прецизно померање по висини.

Носач колевке је намењен да споји колевку са основом и омогући управљање митраљезом по правцу.

Основа спаја све делове постолја.

Ножице су намењене да омогуће стабилност постолја приликом гађања митраљезом и заузимање различитих ставова. [7]



Слика 4.2. Постоље митраљеза М84

4.5 Анализа сила М84

Кретање оруђа под дејством сила се посматра кроз неколико периода, у којима се интензитет тих сила мења, мења се положај делова оруђа, па самим тим и моменти неопходни за прорачун стабилности.

Код овог митраљеза за извршење аутоматике користи се позамница барутних гасова, па је кретање оруђа на подељено на четири периода:

1. Период дејства од тренутка опаљења до тренутка када пројектил пређе отвор за позајмницу,
2. Период кретања делова аутоматике и оружја до престанка дејства притиска гасова,
3. Период кретања делова аутоматике и оружја до краја трзања,
4. Период кретања затварача и делова оружја у предњи положај(враћање).

4.5.1 Сила тежине

Сила чији се интензитет не мења по периодима је сила тежине система, која се састоји од тежине оружја и тежине постоља. Укупна маса система износи $15 \text{ kg}^{[6]}$, па је сила тежине:

$$Q_s = m_s \cdot g = 15 \cdot 9,81 = 147,15 \text{ N}$$

Сила тежине трзајуће масе износи:

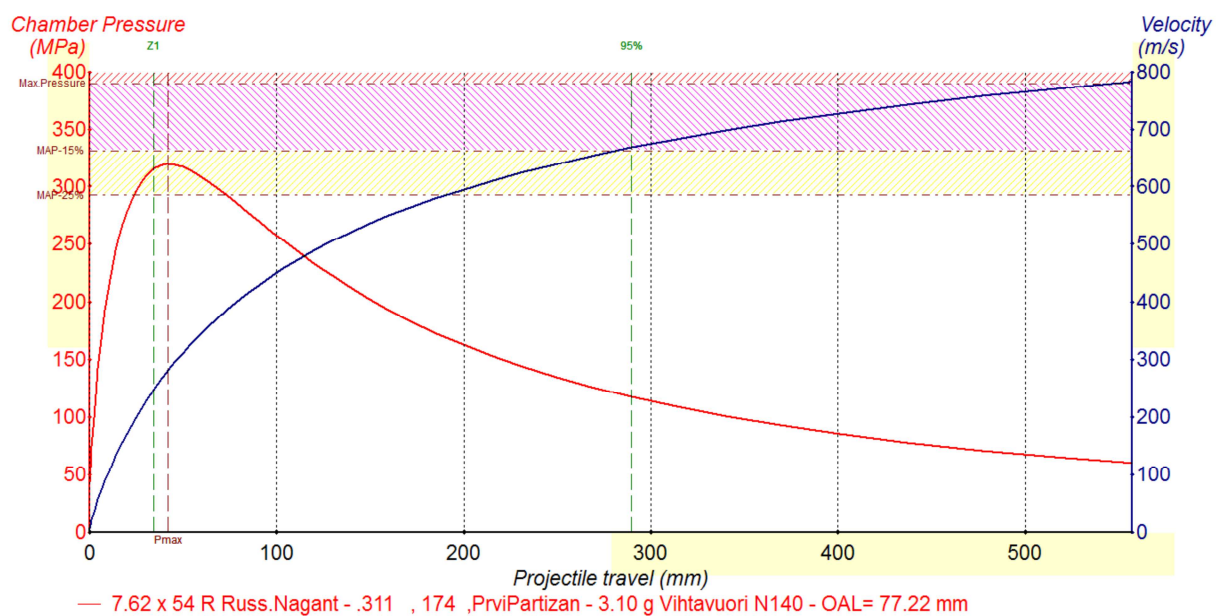
$$Q_o = m_o \cdot g = 1,01 \cdot 9,81 = 9,9081 \text{ N}$$

Сила тежине постоља износи:

$$Q_p = m_p \cdot g = 5 \cdot 9,81 = 49,05 \text{ N}$$

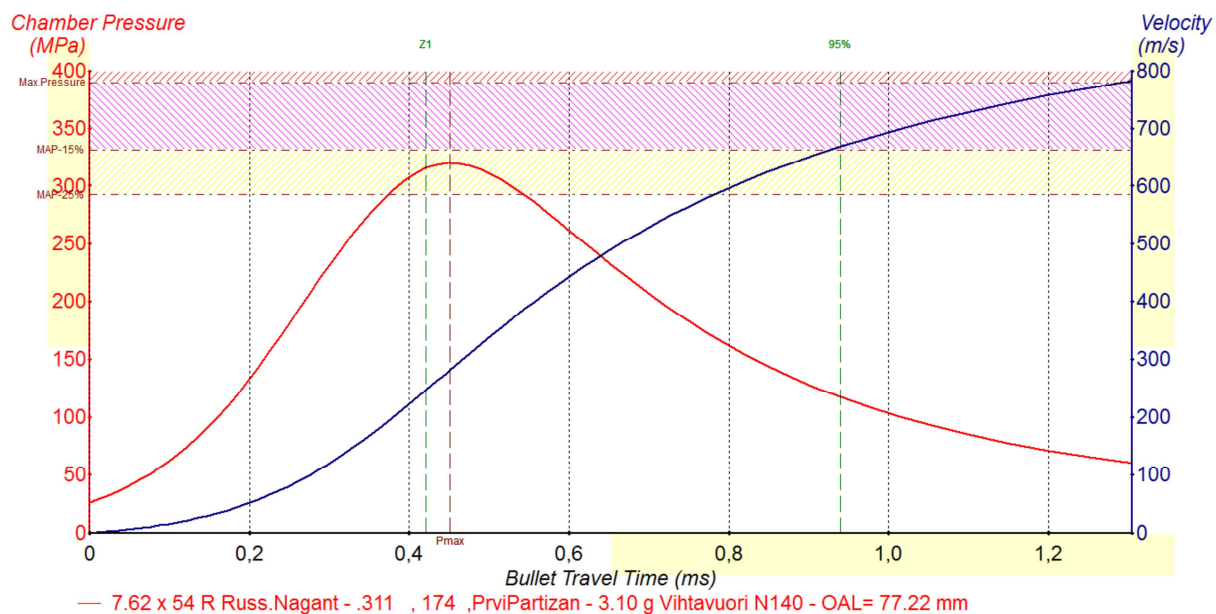
4.5.2 Сила притиска барутних гасова у цеви

На основу унутрашње балистичког прорачуна наведеног у Глави 2 и карактеристика метка, односно барута, добија се крива промене притиска барутних гасова. Промене ће бити приказане у зависности од пређеног пута пројектила на *Слици 4.3*.



Слика 4.3. Крива промене притиска барутних гасова у зависности од пређеног пута пројектила

На **Слици 4.4** биће приказана промена притиска барутних гасова у зависности од времена.



Слика 4.4. Крива промене притиска барутних гасова у односу на време лета пројектила

4.5.3 Сила притиска барутних гасова у уређају за одвођење барутних гасова

Притисак у цилиндру за одвођење барутних гасова рачуна се по моделу Е.Л. Бравина:

$$p_k = p_\phi \cdot e^{\frac{t}{b}} \cdot (1 - e^{-a\frac{t}{b}}) \quad (4.1)$$

У наведеној једначини су:

p_ϕ – притисак барутних гасова у каналу цеви испод отвора за одвођење барутних гасова у тренутку када пројектил прође отвор,

t – време деловања гаса на клип у гасној комори,

a – коефицијент позајмице барутних гасова,

b – однос јединичног импулса и притиска.

Коефицијент позајмице барутних гасова рачуна се по обрасцу:

$$a = n_1 \frac{S_\phi M_0}{S_k^2} \quad (4.2)$$

Где су:

n_1 – опитни коефицијент,

S_ϕ – површина отвора за позајмицу,

S_k – површина клипа,

M_0 – почетна маса покретних радних делова.

Површина отвора за позајмицу за њен пречник $d_\phi = 3,5 \text{ mm}$, износи:

$$S_\phi = \frac{d_\phi^2 \pi}{4} \quad (4.3)$$

$$S_\phi = \frac{0,0035^2 \pi}{4} = 0,000009621 \text{ m}^2$$

Површина клипа у комори за позајмицу за пречник $d_k = 14 \text{ mm}$, износи:

$$S_k = \frac{d_k^2 \pi}{4} \quad (4.4)$$

$$S_k = \frac{0,014^2 \pi}{4} = 0,000154 \text{ m}^2$$

Почетну масу покретних радних делова чине маса затварача са телом затварача и клипом:

$$M_0 = 1,01 \text{ kg}$$

Вредност коефицијента позајмице барутних гасова износи:

$$a = 0,01 \frac{0,000009621 \cdot 1,01}{0,000154^2} = 4,100679$$

Однос јединичног импулса и притиска рачуна се по формули:

$$b = \frac{i_0}{p_\Phi} \quad (4.5)$$

$$i_0 = \frac{p_\Phi + p_u}{2} \cdot t_{ku} + \frac{p_u}{A} \quad (4.6)$$

Где су:

i_0 – јединични импулс у каналу цеви,

p_u – притисак барутних гасова у каналу цеви у тренутку када се пројектил налази на устима цеви,

t_{ku} – време када се пројектил налази на устима цеви мерено од тренутка када пројектил прође место за позајмицу.

Коефицијент А се рачуна обрасцем:

$$A = 0,365 \frac{\beta^2}{\beta - 1} \frac{V_0}{L'} \quad (4.7)$$

Где су:

β - коефицијент деловања барутних гасова у периоду накнадног дејства,

L' - фиктивна дужина канала цеви.

Коефицијент β се рачуна по обрасцу:

$$\beta = \frac{v_g}{V_0} \quad (4.8)$$

Где су:

v_g – средња брзина истицања барутних гасова и

V_0 – почетна брзина пројектила на устима цеви.

$$v_g = 1275 \frac{m}{s}$$

Вредности V_0 , t_{ku} , p_ϕ и p_u се читавају са дијаграма на **Сликама 4.3** и **4.4**:

$$V_0 = 782,6 \frac{m}{s}$$

$$t_{ku} = 0,0002578 s$$

$$p_\phi = 94000000 Pa$$

$$p_u = 60200000 Pa$$

$$\beta = \frac{1275}{792,6} = 1,6292$$

Ако је дужина цеви 603 mm, растојање од дна пројектила до уста цеви тј. фиктивна дужина цеви L' је:

$$L' = 557,287 mm$$

Ова дужина се користи зато што је унутрашње балистички прорачун извршен тако да се пут пројектила мери од почетног положаја његовог дна.

Коефицијент A износи:

$$A = 0,365 \frac{1,6292^2}{1,6292 - 0,5} \frac{792,6}{0,557287} = 1204,847 \frac{1}{s}$$

Претходно добијене вредности се користе у обрасцу за јединични импулс:

$$i_0 = \frac{94000000 + 60200000}{2} \cdot 0,0002578 + \frac{60200000}{1204,847} = 97894,58 Pa \cdot s$$

Па је стога однос јединичног импулса и притиска барутних гасова у каналу цеви испод отвора за одвођење барутних гасова у тренутку када пројектил прође отвор:

$$b = \frac{97894,58}{94000000} = 0,001041 \frac{1}{s}$$

Са израчунатим вредностима може се одредити једначина промене притиска у цилиндру за позајмицу:

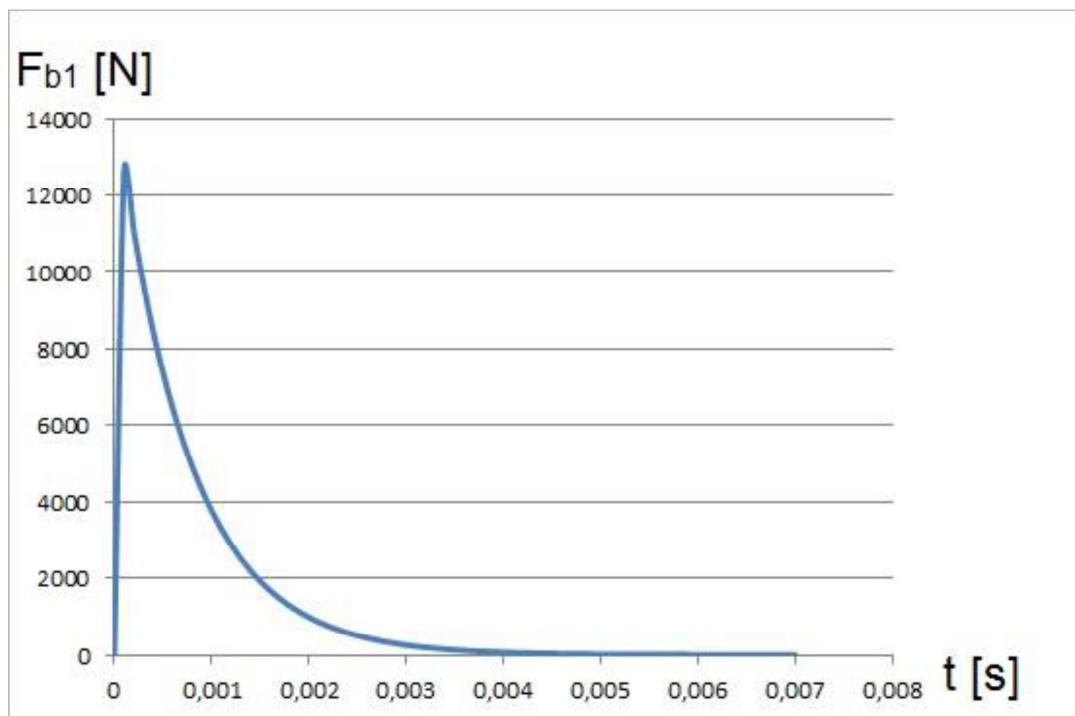
$$p_k = 94000000 \cdot e^{\frac{t}{0,001041}} \cdot (1 - e^{-4,100679 \frac{t}{0,001041}})$$

Множењем активне површине клипа са притиском који делује на тај клип у цилиндру добија се једначина за силу притиска барутних гасова у било ком тренутку:

$$F_{b1} = S_k p_k$$

$$F_{b1} = 0,000154 \cdot 94000000 \cdot e^{\frac{t}{0,001041}} \cdot (1 - e^{-4,100679 \frac{t}{0,001041}})$$

$$F_{b1} = 14476 \cdot e^{\frac{t}{0,001041}} \cdot (1 - e^{-4,100679 \frac{t}{0,001041}})$$



Слика 4.5. *Крива промене силе притиска барутних гасова у гасном повратнику*

4.5.4 Сила отпора повратне опруге

Ова сила делује на носач затварача тако што се супроставља његовом кретању уназад. Након његовог заустављања у задњем положају, опруга помоћу акумулиране енергије враћа носач затварача у предњи положај.

Основне геометријске величине и интензитети силе у карактеристичним тачкама дати су на слици 4.8.

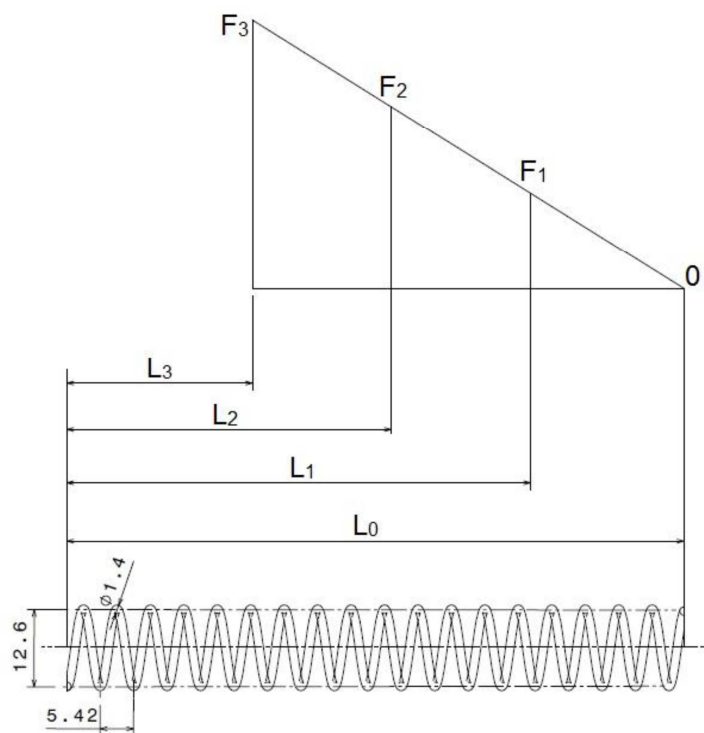
$$\begin{aligned}
L_0 &= 450 \text{ mm} \\
L_1 &= 280 \text{ mm} \\
L_2 &= 136 \text{ mm} \\
L_3 &= 120 \text{ mm} \\
F_1 &= F_0 = F_{\min} = 49,2 \text{ N} \\
F_2 &= 93,6 \div 124,3 \text{ N} \\
F_3 &= F_{\max} = 130 \text{ N}
\end{aligned}$$

Крутост опруге израчунава се на следећи начин:

$$c = \frac{F_{\max} - F_0}{x_{\max}}$$

Уз податак за максимални померај $x_{\max} = 136 \text{ mm}$ који остварује носач затварача овог оружја и силу отпора опруге у почетном положају и положају на крају трзања, добија се вредност крутости опруге:

$$c = \frac{130 \text{ N} - 49,2 \text{ N}}{0,136 \text{ m}} = 594.12 \text{ N/m}$$

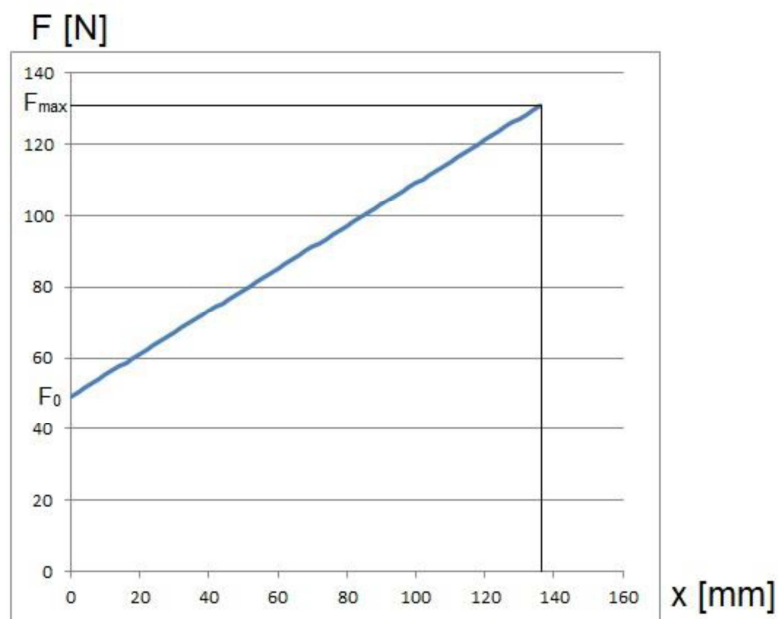


Слика 4.6. Карактеристичне величине повратне опруге митраљеза М84: L_0 – слободна дужина опруге, L_1 – дужина опруге када делује преднапон F_1 , L_3 – дужина максимално сабијене опруге (када делује максимална сила F_3)

Сила отпора повратне опруге се у зависности од пређеног пута, рачуна формулом:

$$F_{op} = F_0 + cX_s$$

$$F_{op} = 49,2 \text{ N} + 594,12 \text{ N/m} \cdot X$$



Слика 4.7. Дијаграм промене силе отпора повратне опруге

4.6 Анализа стабилности М84

Почетне претпоставке:

- Почетне претпоставке су наведене на почетку поглавља 3.4.1.

4.6.1 Уздужна стабилност

- Први период

У овом периоду делује сила притиска барутних гасова на дно цеви, при чему се за прорачун узима максимална вредност притиска очитана са криве промене силе притиска барутних гасова. Сила отпора је сила еластичног отпора постоља која се рачуна.

$$\begin{aligned}
 & - P_d e + R_{ek} h - Q_s D_0 + N_1 L = 0 \\
 & - h = H \cos \alpha - L_k \sin \alpha \\
 & - N_1 = \frac{Q_s D_0 + R_{ek} L_k \sin \alpha - R_{ek} H \cos \alpha - P_d e}{L} \\
 & - N_2 = \frac{Q_s (L - D_0) + R_{ek} (L - L_k) \sin \alpha + R_{ek} H \cos \alpha + P_d e}{L} \\
 & - \alpha_{gr} = \arcsin \frac{Q_s D_0}{R_{ek} \sqrt{H^2 + L_k^2}} - \arctg \frac{L_k}{H} \\
 & - R_{ekgr} = \frac{Q_s D_0 - P_{dsr} e}{H \cos \alpha_{gr} - L_k \sin \alpha_{gr}}
 \end{aligned}$$

P_d – максимална вредност силе притиска барутних гасова на дно чауре

- Други период

За прорачун се за силу која делује на цев узима вредност силе која делује у цеви испод отвора за позајмницу, пошто је у том тренутку максимална вредност силе. Сила притиска барутних гасова на клип у гасном цилиндру се узима са криве промене силе притиска. У овом периоду се јавља и сила отпора повратне опруге.

$$\begin{aligned}
 & P_d e_c + P_k e_k + R_p h + R_{ek} h - Q_s D' + N_1 L = 0 \\
 & - h = H \cos \alpha - L_k \sin \alpha \\
 & - \\
 & N_1 = \frac{Q_s D' + (R_p + R_{ek})(L_k \sin \alpha - H \cos \alpha) - P_d e_c - P_k e_k}{L} \\
 & N_2 = \frac{Q_s (L - D') + (R_p + R_{ek})((L - L_k) \sin \alpha + H \cos \alpha) + P_d e_c + P_k e_k}{L} \\
 & \alpha_{gr} = \arcsin \frac{Q_s D'}{R_{ek} \sqrt{H^2 + L_k^2}} - \arctg \frac{L_k}{H}
 \end{aligned}$$

$$R_{ekgr} = \frac{Q_s D' - Q_0 X_{sk} \cos \alpha_{gr}}{H \cos \alpha_{gr} - L_k \sin \alpha_{gr}}$$

$$R_{ekgr} = \frac{Q_s D' - P_{dsr} e_c - P_{ksr} e_k}{H \cos \alpha_{gr} - L_k \sin \alpha_{gr}}$$

$$Q_s D' = Q_s D_0$$

P_k – сила притиска барутних гасова на клип

R_p – сила отпора повратне опруге

- Трећи период

У овом периоду престаје дејство силе притиска барутних гасова. Покретни делови се крећу по инерцији до краја трзања.

$$Rh - Q_s D'' + N_1 L = 0$$

$$- h = H \cos \alpha - L_k \sin \alpha$$

$$N_1 = \frac{Q_s D'' + (R_p + R_{ek})(L_k \sin \alpha - H \cos \alpha)}{L}$$

$$N_2 = \frac{Q_s (L - D'') + (R_p + R_{ek})((L - L_k) \sin \alpha + H \cos \alpha)}{L}$$

$$\alpha_{gr} = \arcsin \frac{Q_s D''}{R_{ek} \sqrt{H^2 + L_k^2}} - \arctg \frac{L_k}{H}$$

$$R_{ekgr} = \frac{Q_s D'' - Q_0 X_{sk} \cos \alpha_{gr}}{H \cos \alpha_{gr} - L_k \sin \alpha_{gr}}$$

$$R_{ekgr} = \frac{Q_s D''}{H \cos \alpha_{gr} - L_k \sin \alpha_{gr}}$$

$$Q_s D' = Q_s D_0$$

- Период враћања

Кретање се у овом периоду одвија као последица акумулиране енергије у повратној опрузи.

$$Q_s (L - D_0) = (R_p + R_{ek}) [H \cos \alpha + (L - L_k) \sin \alpha]$$

$$R_{ekgr} = 0,9 \frac{Q_s (L - D_0)}{H \cos \alpha + (L - L_k) \sin \alpha}$$

4.6.2 Попречна стабилност

- Први период

$$\begin{aligned}
 R_{ekx} &= R_{ek} \cos \alpha \cos \psi \\
 R_{eky} &= R_{ek} \sin \alpha \\
 R_{ekz} &= R_{ek} \cos \alpha \sin \psi \\
 \sum X &= 0 \quad \sum Y = 0 \quad \sum Z = 0 \\
 \sum M_x &= 0 \quad \sum M_y = 0 \quad \sum M_z = 0 \\
 L_1 &= L_2; \quad T_1 = T_2; \\
 \frac{T_3}{T_1} &= \frac{T_3}{T_2} = C
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \sum X &= 0; & R_{ekx} - T_1 - T_2 - T_3 &= 0; \\
 \sum Y &= 0; & N_1 + N_2 + N_3 - Q_s - R_{eky} &= 0; \\
 \sum Z &= 0; & L_1 + L_2 + L_3 - R_{ekz} &= 0 \\
 \sum M_x &= 0; & R_{ekz}H + N_2b - N_1b &= 0 \\
 \sum M_y &= 0; & L_3a - L_1D_0 - L_2D_0 + T_1b - T_2b &= 0 \\
 \sum M_z &= 0; & R_{ekx}H + N_3a - (N_1 + N_2)D_0 &= 0
 \end{aligned}$$

$$T_1 = T_2 = \frac{R_{ekx}}{2 + c}$$

$$T_3 = cT_1 = \frac{cR_{ekx}}{2 + c}$$

$$L_1 = L_2 = \frac{R_{ekz}a}{2L}$$

$$L_3 = \frac{R_{ekz}D_0}{L}$$

$$N_1 = \frac{(Q_s + R_{eky})a + R_{ekx}H}{2L} + \frac{R_{ekz}H}{2b}$$

$$N_2 = \frac{(Q_s + R_{eky})a + R_{ekx}H}{2L} - \frac{R_{ekz}H}{2b}$$

$$N_3 = \frac{(Q_s + R_{eky})D_0 - R_{ekx}H}{L}$$

$$\frac{(Q_s + R_{eky})a + R_{ekx}H}{2L} = \frac{R_{ekz}H}{2b}$$

$$\alpha_{gr} = \arccos \frac{Q_s a}{R_{ek} \sqrt{H^2 (\frac{L}{b} \sin \psi - \cos \psi)^2 + a^2}} - \arctg \frac{a}{H (\frac{L}{b} \sin \psi - \cos \psi)}$$

- Други период

$$R_{ekx} = R_{ek} \cos \alpha \cos \psi$$

$$R_{eky} = R_{ek} \sin \alpha$$

$$R_{ekz} = R_{ek} \cos \alpha \sin \psi$$

$$\begin{array}{ccc} \sum X = 0 & \sum Y = 0 & \sum Z = 0 \\ \sum M_x = 0 & \sum M_y = 0 & \sum M_z = 0 \end{array}$$

$$- L_1 = L_2; T_1 = T_2;$$

$$\frac{T_3}{T_1} = \frac{T_3}{T_2} = C$$

$$\sum X = 0;$$

$$R_{ekx} - T_1 - T_2 - T_3 = 0;$$

$$\sum Y = 0;$$

$$N_1 + N_2 + N_3 - Q_s - R_{eky} = 0;$$

$$\sum Z = 0;$$

$$L_1 + L_2 + L_3 - R_{ekz} = 0$$

$$\sum M_x = 0;$$

$$R_{ekz}H + N_2b - N_1b = 0$$

$$\sum M_y = 0;$$

$$L_3a - L_1D_0 - L_2D_0 + T_1b - T_2b = 0$$

$$\sum M_z = 0;$$

$$R_{ekx}H + N_3a - (N_1 + N_2)D_0 = 0$$

$$T_1 = T_2 = \frac{R_{ekx}}{2 + c}$$

$$T_3 = cT_1 = \frac{cR_{ekx}}{2 + c}$$

$$L_1 = L_2 = \frac{R_{ekz}a}{2L}$$

$$L_3 = \frac{R_{ekz}D_0}{L}$$

$$N_1 = \frac{(Q_s + R_{eky})a + R_{ekx}H}{2L} + \frac{R_{ekz}H}{2b}$$

$$\begin{aligned}
N_2 &= \frac{(Q_s + R_{eky})a + R_{ekx}H}{2L} - \frac{R_{ekz}H}{2b} \\
N_3 &= \frac{(Q_s + R_{eky})D_0 - R_{ekx}H}{L} \\
\frac{(Q_s + R_{eky})a + R_{ekx}H}{2L} &= \frac{R_{ekz}H}{2b} \\
\alpha_{gr} &= \arccos \frac{Q_s a}{R_{ek} \sqrt{H^2 (\frac{L}{b} \sin \psi - \cos \psi)^2 + a^2}} - \arctg \frac{a}{H (\frac{L}{b} \sin \psi - \cos \psi)}
\end{aligned}$$

- Трећи период

$$R_{ekx} = R_{ek} \cos \alpha \cos \psi$$

$$R_{eky} = R_{ek} \sin \alpha$$

$$R_{ekz} = R_{ek} \cos \alpha \sin \psi$$

$$\sum X = 0 \quad \sum Y = 0 \quad \sum Z = 0$$

$$\sum M_x = 0 \quad \sum M_y = 0 \quad \sum M_z = 0$$

$$L_1 = L_2; \quad T_1 = T_2;$$

$$\frac{T_3}{T_1} = \frac{T_3}{T_2} = C$$

$$\sum X = 0;$$

$$R_{ekx} - T_1 - T_2 - T_3 = 0;$$

$$\sum Y = 0;$$

$$N_1 + N_2 + N_3 - Q_s - R_{eky} = 0;$$

$$\sum Z = 0;$$

$$L_1 + L_2 + L_3 - R_{ekz} = 0$$

$$\sum M_x = 0;$$

$$R_{ekz}H + N_2b - N_1b = 0$$

$$\sum M_y = 0;$$

$$L_3a - L_1D_0 - L_2D_0 + T_1b - T_2b = 0$$

$$\sum M_z = 0; \quad R_{ekx}H + N_3a - (N_1 + N_2)D_0 = 0$$

$$T_1 = T_2 = \frac{R_{ekx}}{2 + c}$$

$$T_3 = cT_1 = \frac{cR_{ekx}}{2 + c}$$

$$L_1 = L_2 = \frac{R_{ekz}a}{2L}$$

$$L_3 = \frac{R_{ekz}D_0}{L}$$

$$N_1 = \frac{(Q_s + R_{eky})a + R_{ekx}H}{2L} + \frac{R_{ekz}H}{2b}$$

$$N_2 = \frac{(Q_s + R_{eky})a + R_{ekx}H}{2L} - \frac{R_{ekz}H}{2b}$$

$$N_3 = \frac{(Q_s + R_{eky})D_0 - R_{ekx}H}{L}$$

$$\frac{(Q_s + R_{eky})a + R_{ekx}H}{2L} = \frac{R_{ekz}H}{2b}$$

$$\alpha_{gr} = \arccos \frac{Q_s a}{R_{ek} \sqrt{H^2 (\frac{L}{b} \sin \psi - \cos \psi)^2 + a^2}} - \arctg \frac{a}{H (\frac{L}{b} \sin \psi - \cos \psi)}$$

- Период враћања

$$N_1 = \frac{(Q_s - R_{py})a - R_{px}H}{2L} - \frac{R_{pz}H}{2b}$$

$$N_2 = \frac{(Q_s - R_{py})a - R_{px}H}{2L} + \frac{R_{pz}H}{2b}$$

$$N_3 = \frac{R_{px}H + (Q_s - R_{py})D_0}{L}$$

$$R_{px} = R_p \cos \alpha \cos \psi$$

$$R_{py} = R_p \sin \alpha$$

$$R_{pz} = R_p \cos \alpha \sin \psi$$

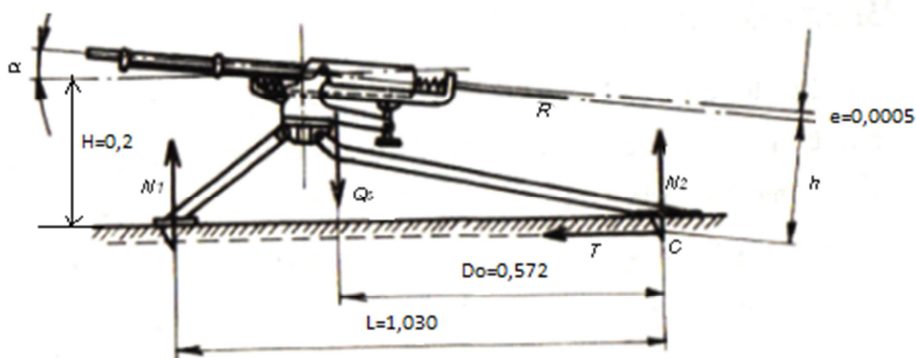
5 Анализа уздужне стабилности у критичним условима

Анализа, која за резултат има дијаграме добијене из програмских решења у MATLAB – у, биће извршена за три различита положаја постоља. При томе, у сваком положају ће се анализирати стабилност при три угла елевације: 0° , 20° и 40° .

Програмска решења су иста за сва три положаја, при чему се разликују геометријске величине које зависе од положаја постоља, па су то једини улазни подаци који се разликују.

У првом периоду нема кретања механизма у оружју, а при прорачуну се користе вредности које су константне, па ће резултати прорачуна овог периода бити приказани табеларно, док ће резултати других периода бити приказани кроз дијаграме промене сила у зависности од пређеног пута тежишта трзајуће масе.

5.1 Висина постоља 200 mm.



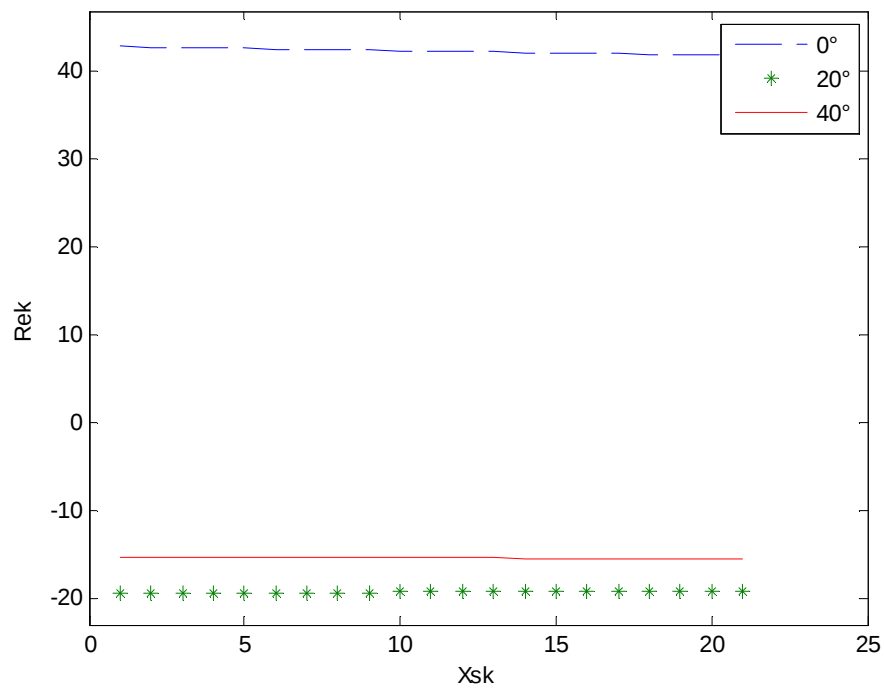
Слика 5.1. Први случај

А) Први период

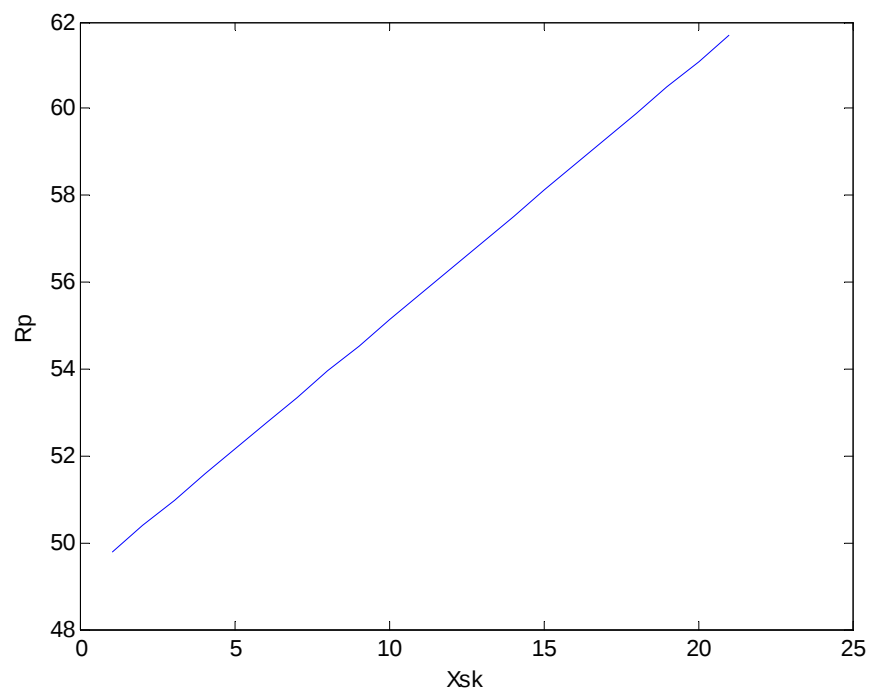
Табела 5.1. Вредности сила у првом периоду.

Угао $\alpha(^{\circ})$	$P_{dmax}(N)$	$P_{sr}(N)$	$R_{ek}(N)$	$N_1(N)$	$N_2(N)$
0,00	4355000,00	2860000,00	-14299957,10	2774584,95	-2774569,95
20,00	4355000,00	2860000,00	6491301,76	2774584,95	3151633,16
40,00	4355000,00	2860000,00	5110848,05	2774584,95	1033590,19

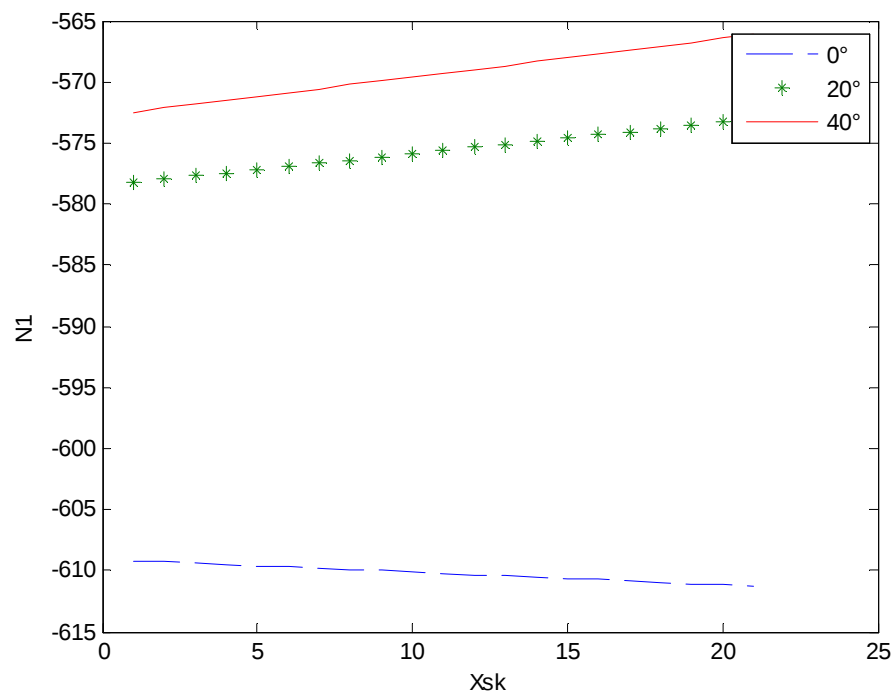
Б) Други период



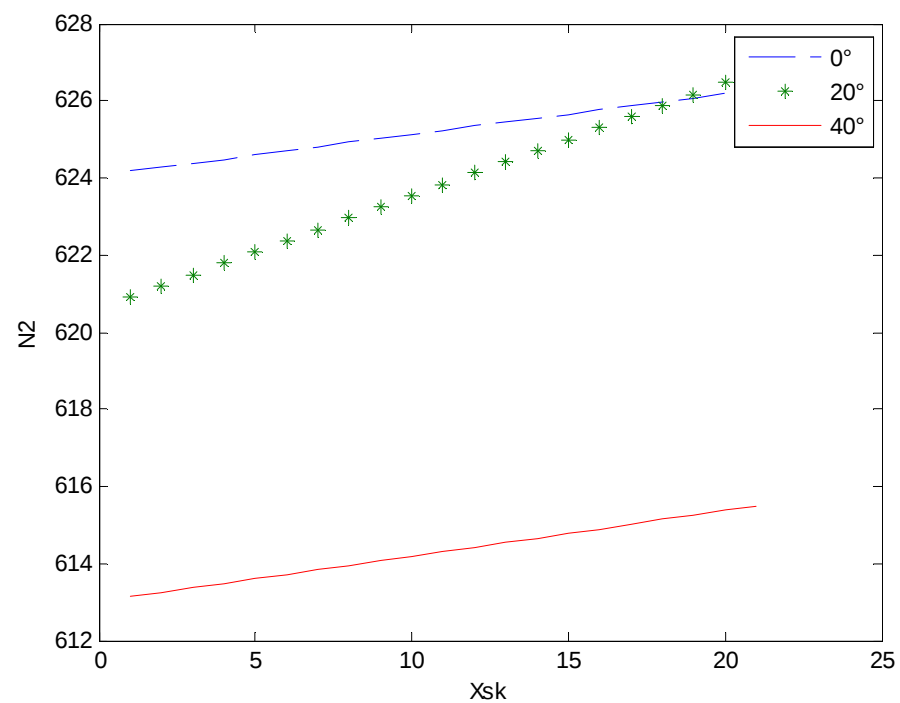
Слика 5.2. $Re_k(X_{sk})$



Слика 5.3. $R_p(X_{sk})$

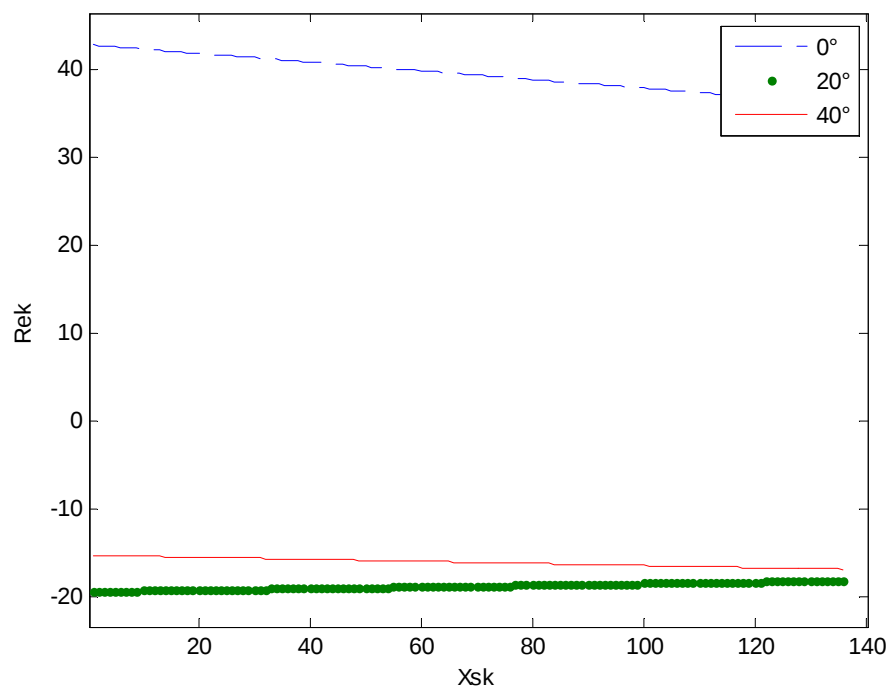


Слика 5.4. $N_1(X_{sk})$

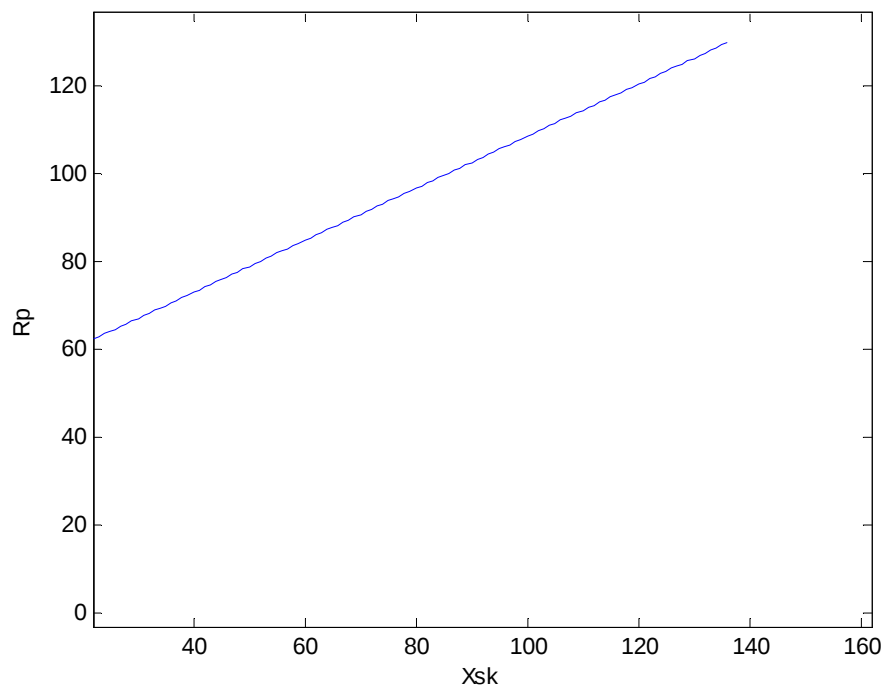


Слика 5.5. $N_2(X_{sk})$

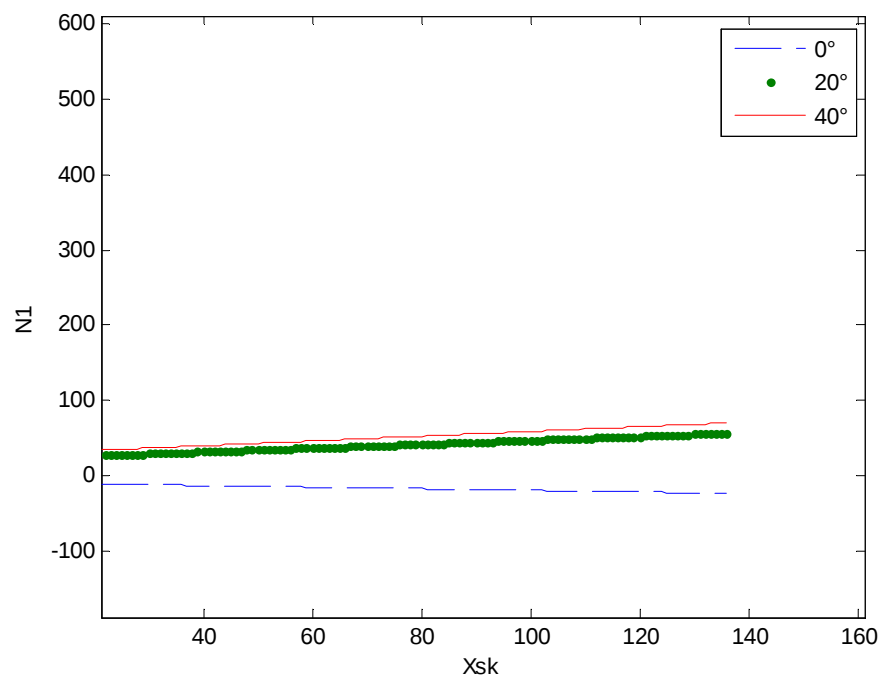
В) Трећи период



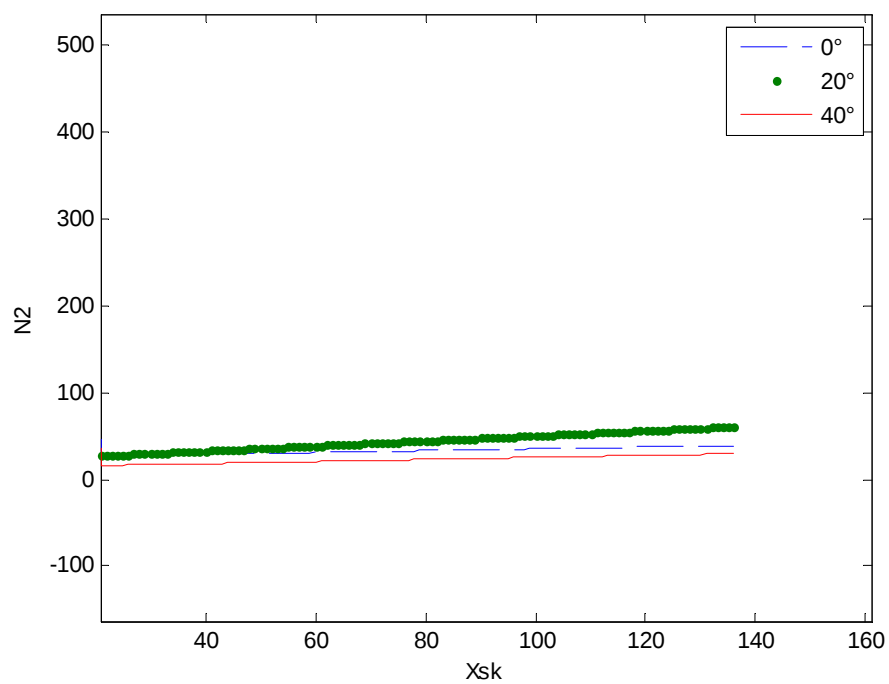
Слика 5.6. $Re_k(X_{sk})$



Слика 5.7. $R_p(X_{sk})$



Слика 5.8. $N_1(X_{sk})$

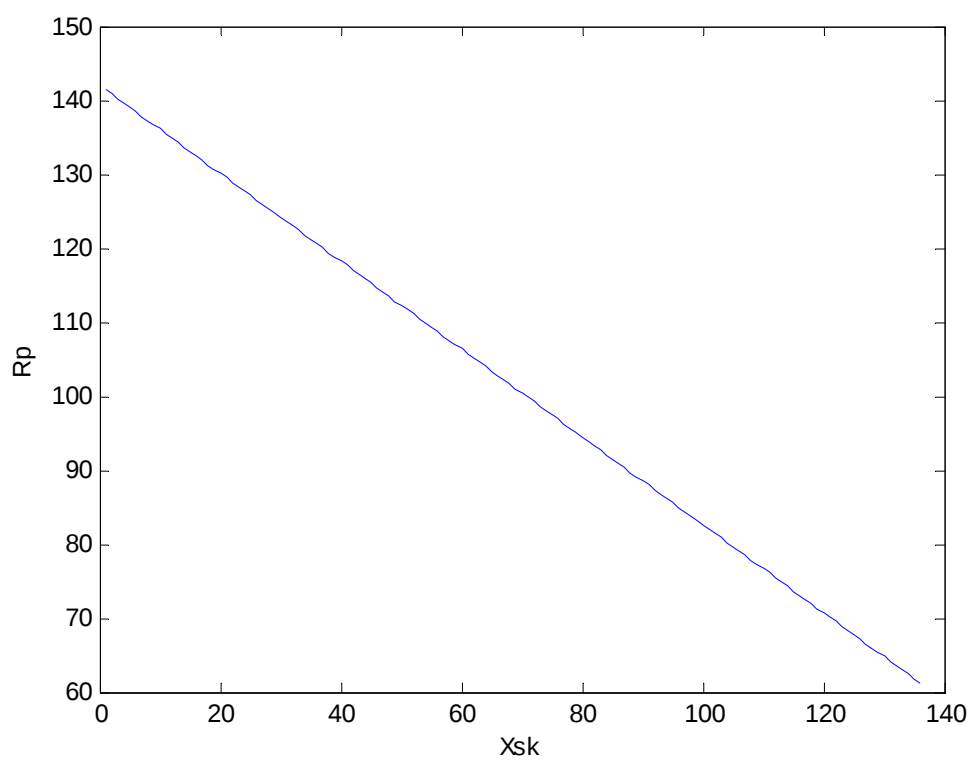


Слика 5.9. $N_2(X_{sk})$

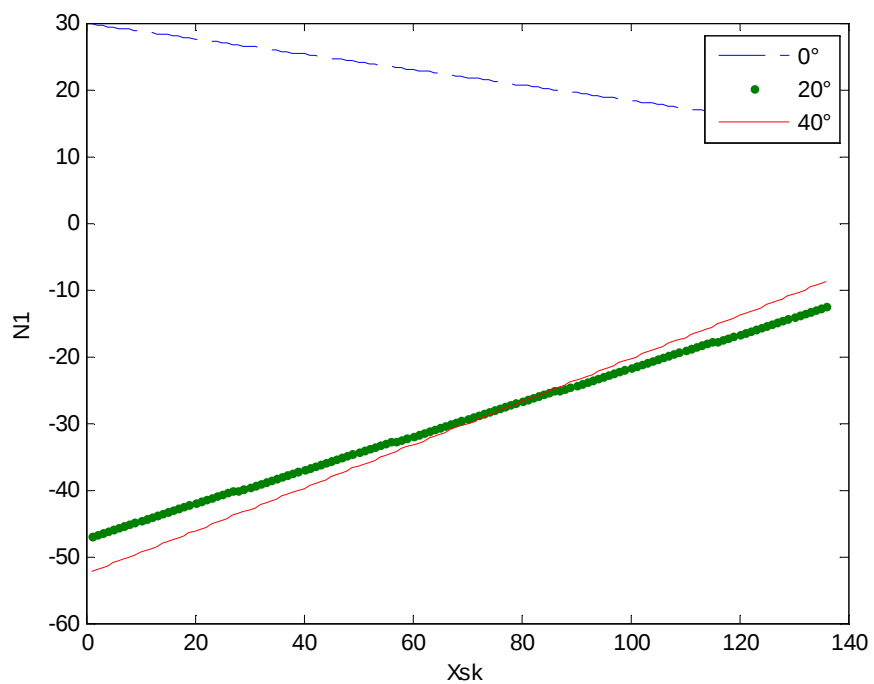
Г) Период враћања

Табела 5.2. Вредности силе еластичног отпора у периоду враћања

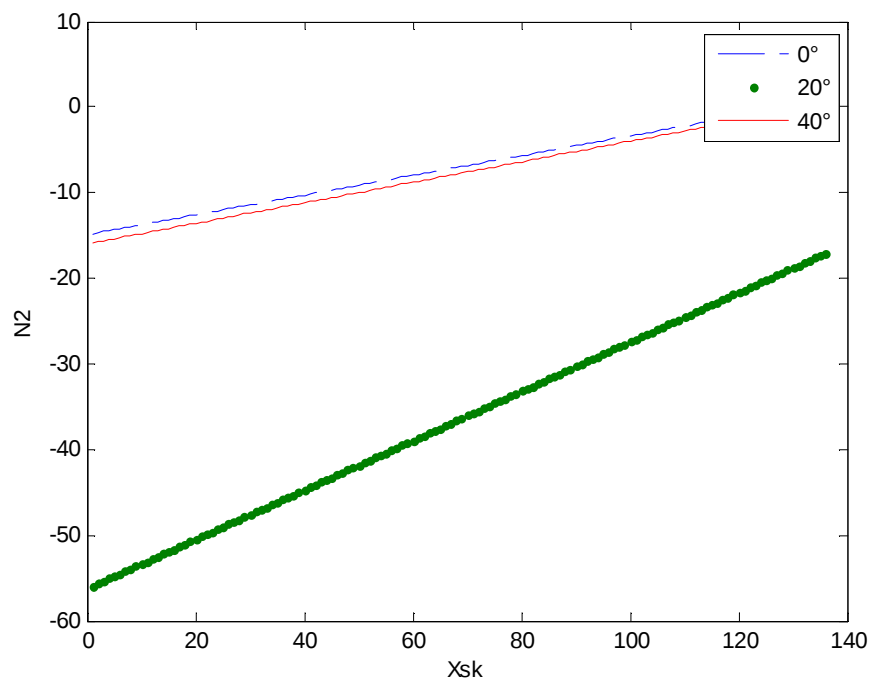
Угао $\alpha(^{\circ})$	$R_{ek}(N)$
0	30,915
20	12,3723
40	29,74395



Слика 5.10. $R_p(X_{sk})$

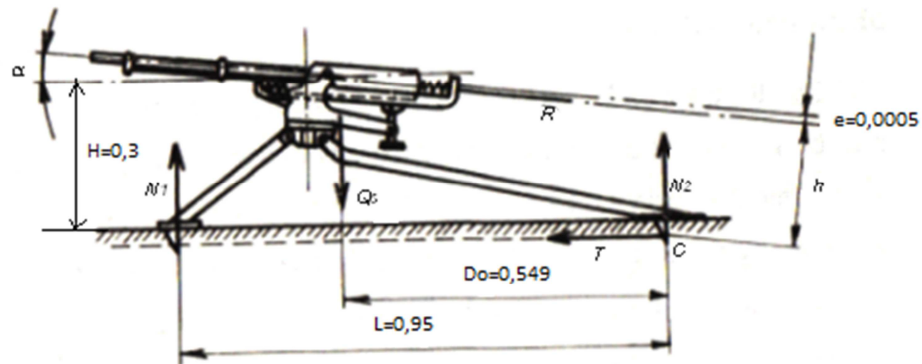


Слика 5.11. $N_1(X_{sk})$



Слика 5.12. $N_2(X_{sk})$

5.2 Висина постоља 300 mm.



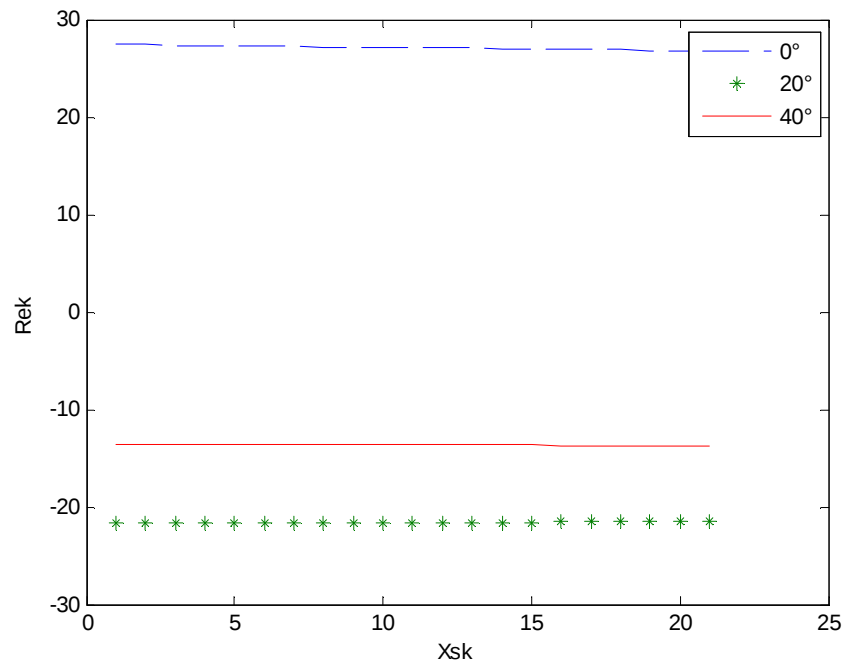
Слика 5.13. Други случај

А) Први период

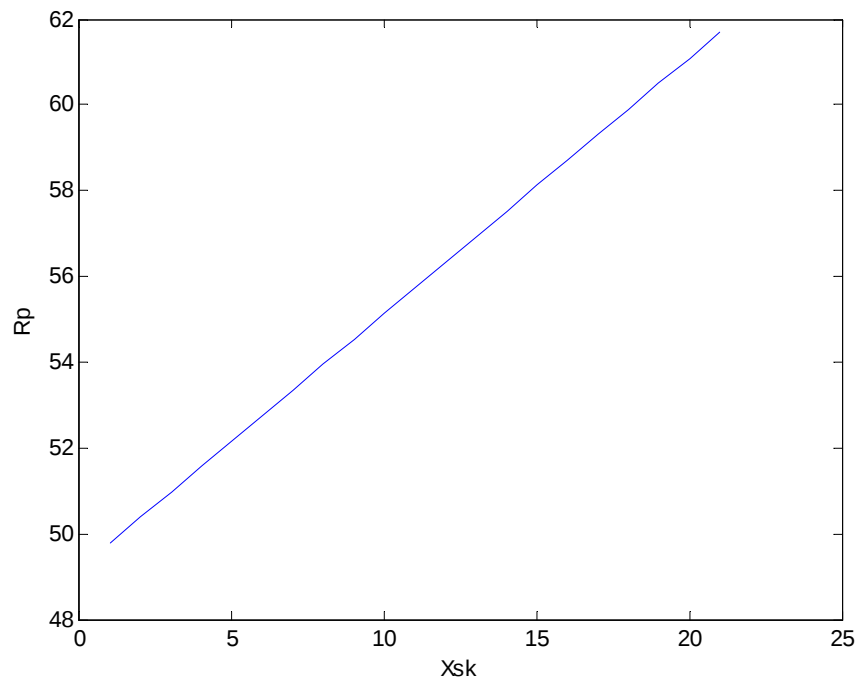
Табела 5.3. Вредности сила у првом периоду.

Υ_{GaO} $\alpha(^{\circ})$	$P_{\text{dmax}}(\text{N})$	$P_{\text{sr}}(\text{N})$	$R_{\text{ek}}(\text{N})$	$N_1(\text{N})$	$N_2(\text{N})$
0	4355000	2860000	9533306	3008234	3008219
20	4355000	2860000	7550489	3008234	3884964
40	4355000	2860000	4695065	3008234	490135,2

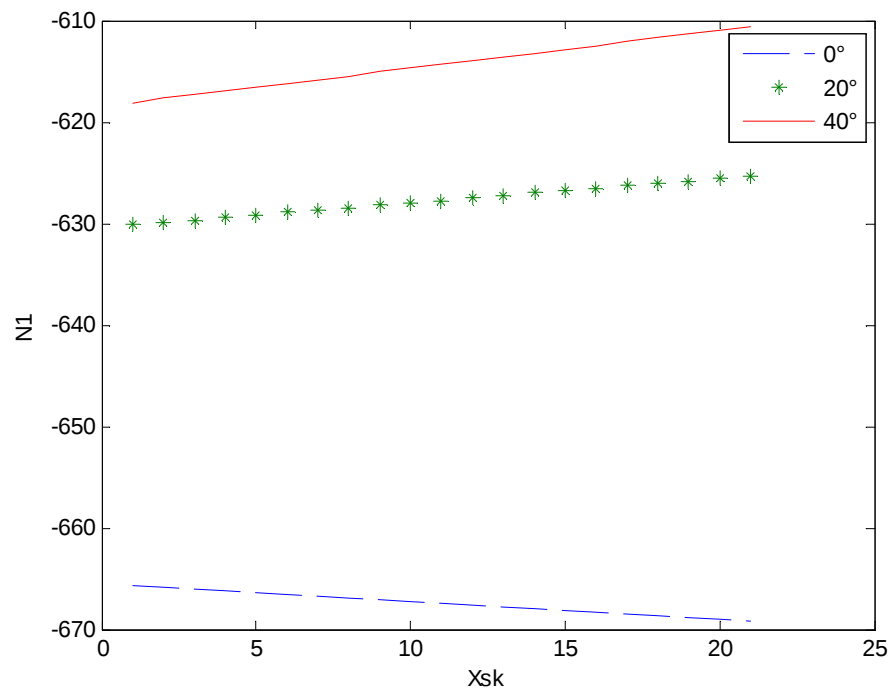
Б) Други период



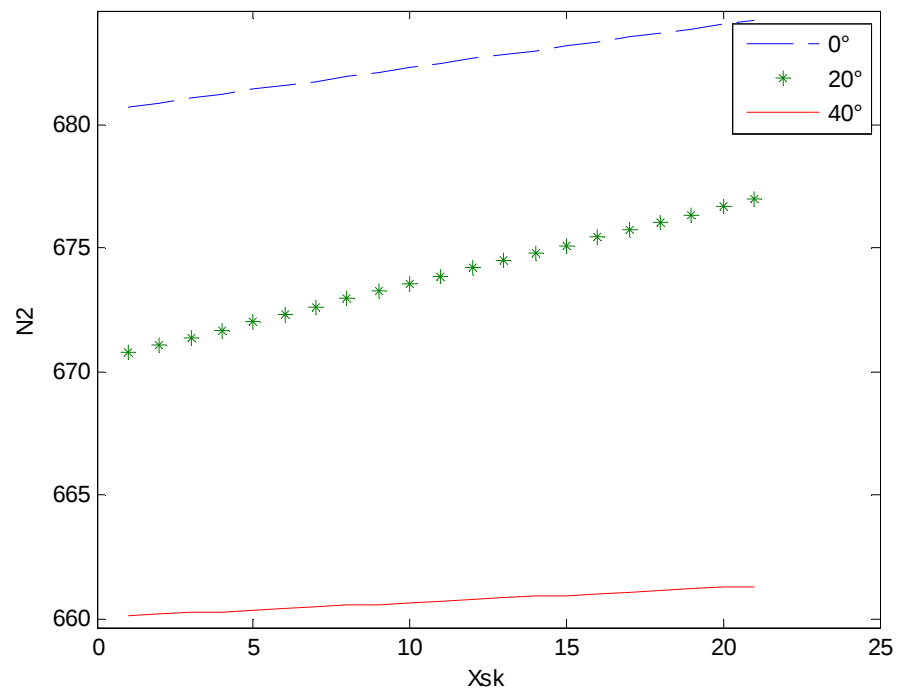
Слика 5.14. $Re k(X_{sk})$



Слика 5.15. $R_p(X_{sk})$

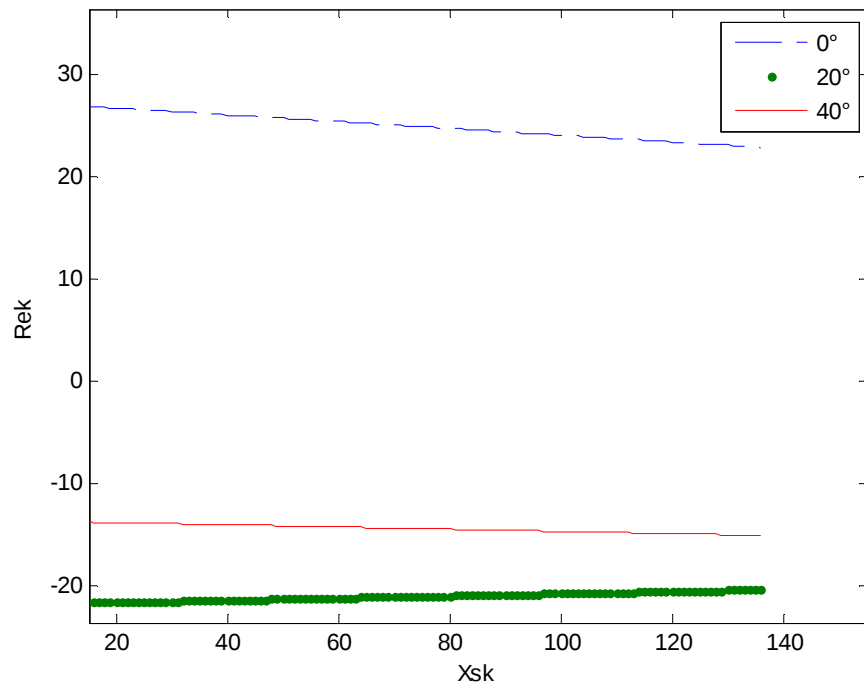


Слика 5.16. $N_1(X_{sk})$

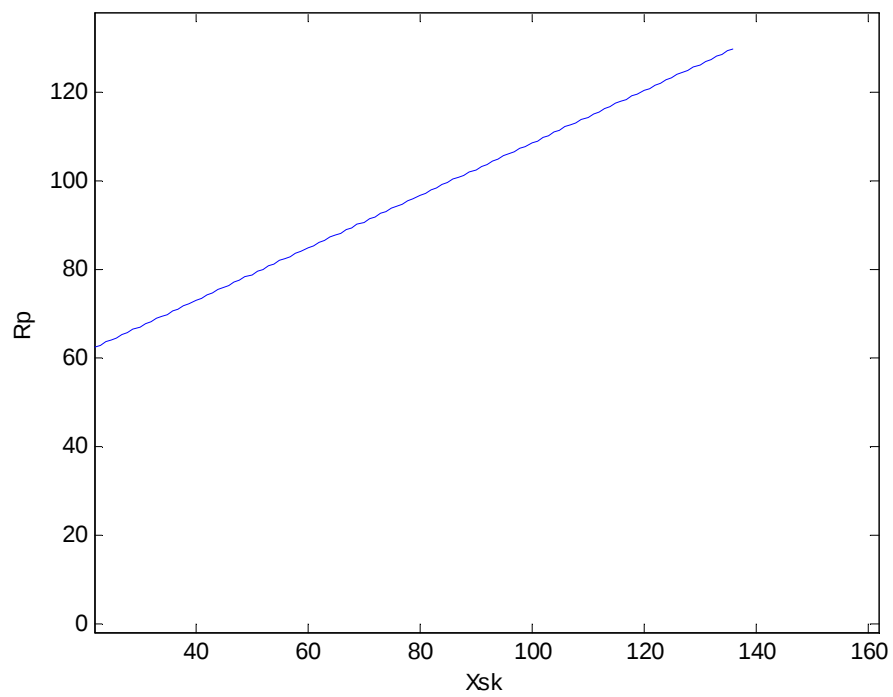


Слика 5.17. $N_2(X_{sk})$

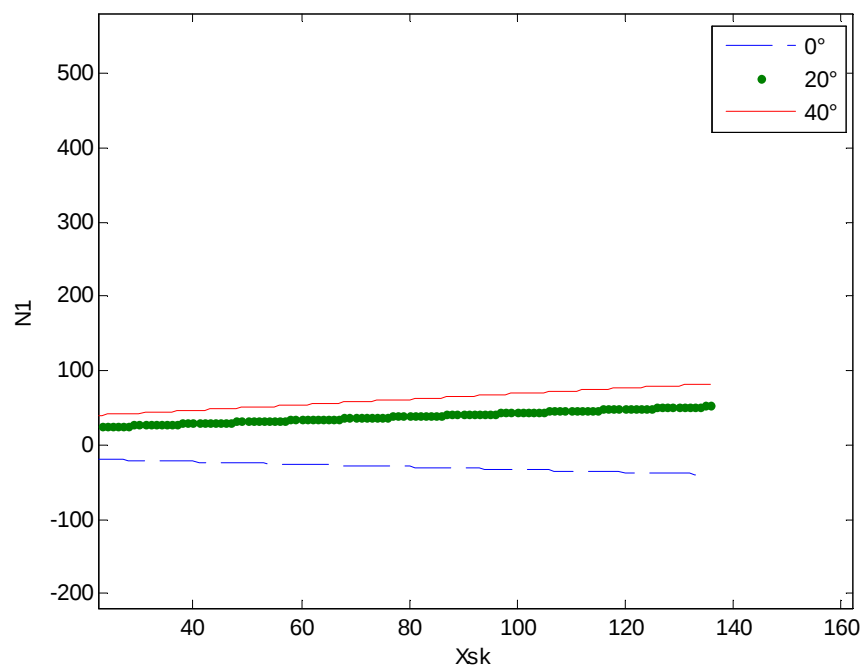
В) Трећи период



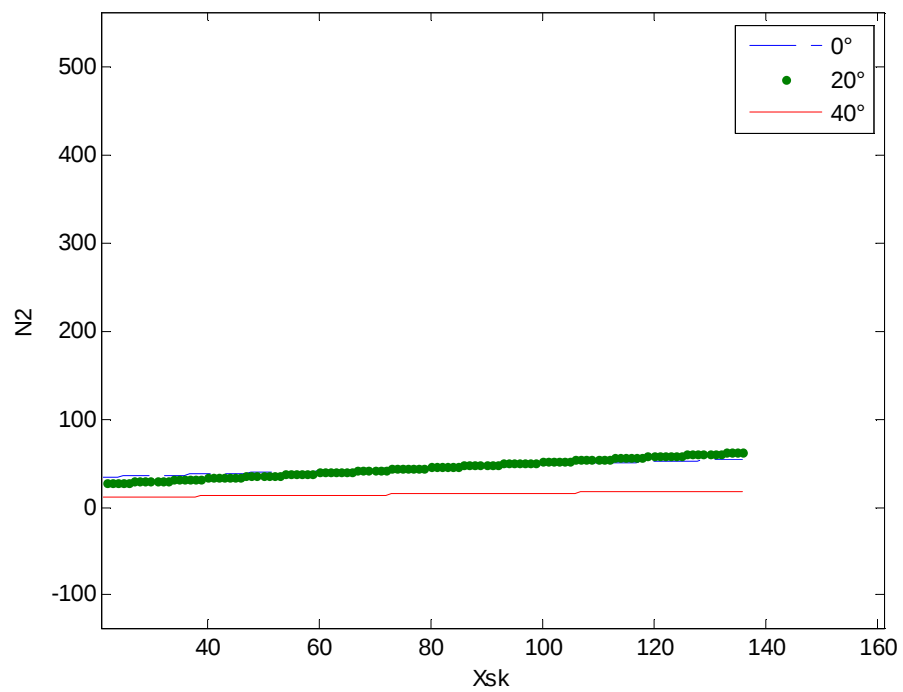
Слика 5.18. $Re_k(X_{sk})$



Слика 5.19. $R_p(X_{sk})$



Слика 5.20. $N_1(X_{sk})$

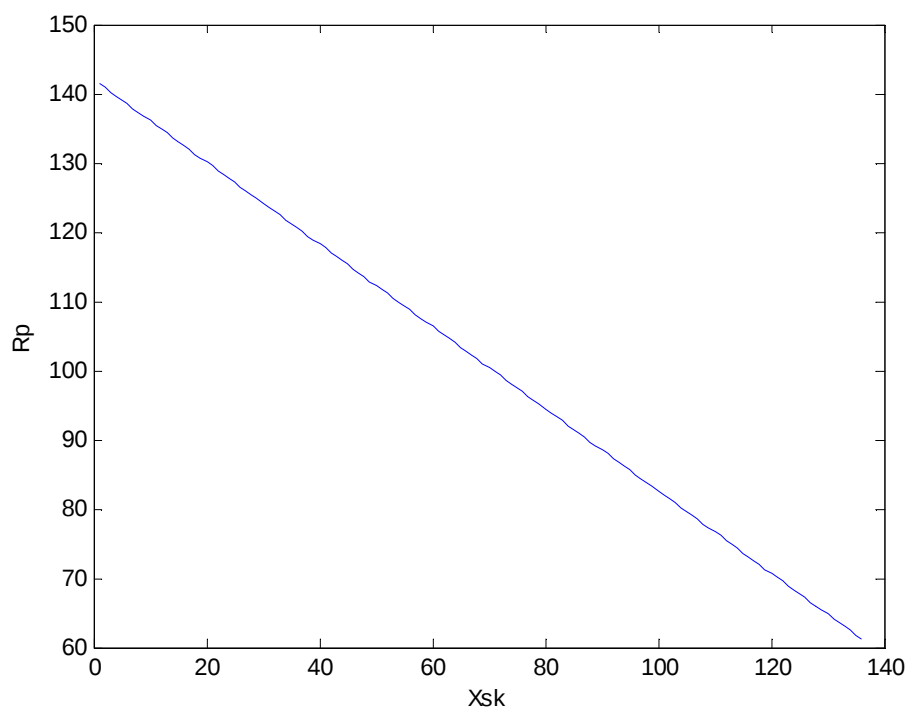


Слика 5.21. $N_2(X_{sk})$

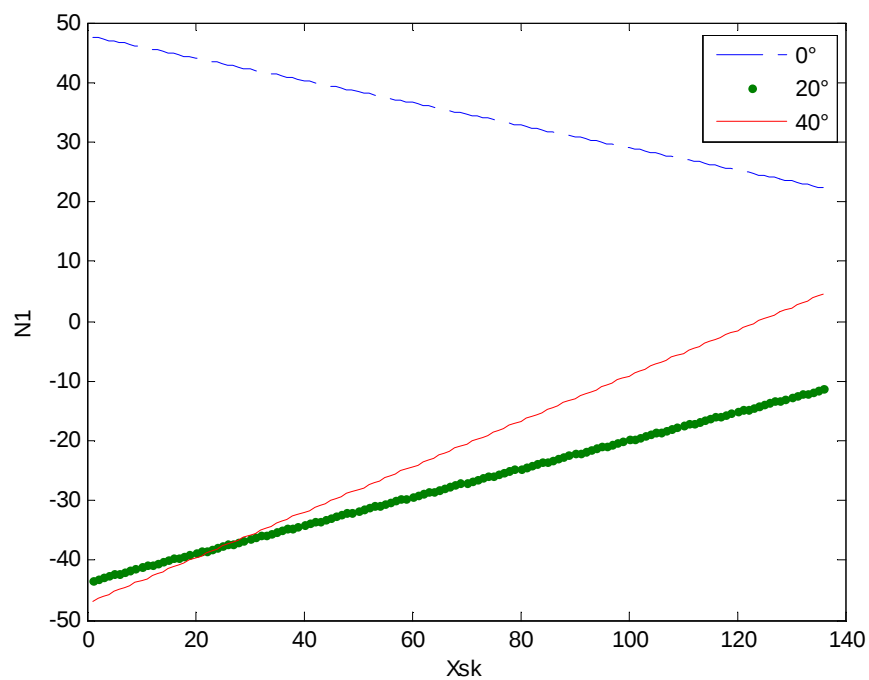
Г) Период враћања

Табела 5.4. *Вредности силе еластичног отпора у периоду враћања*

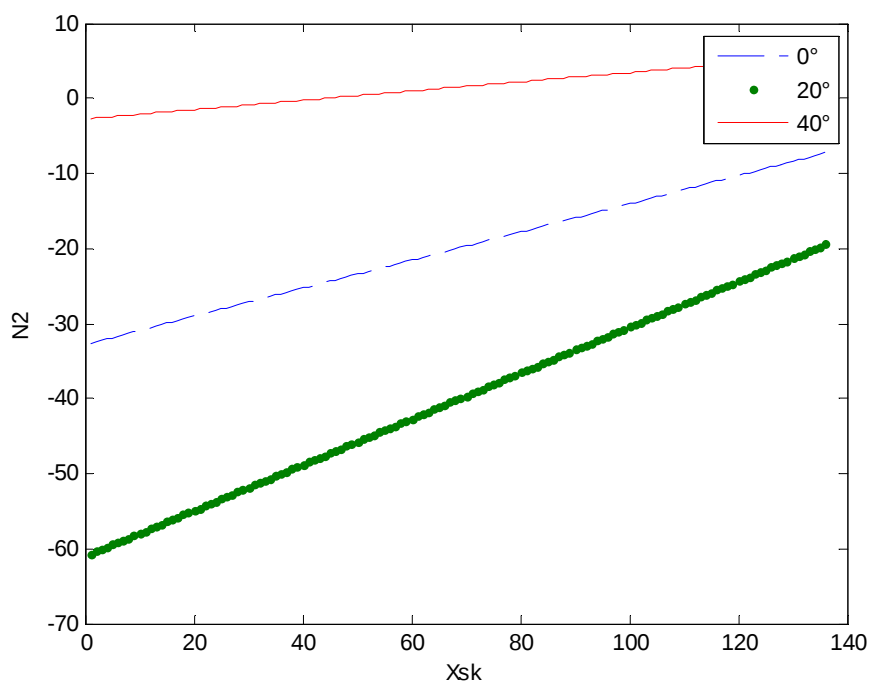
Угао $\alpha(^{\circ})$	$R_{ek}(N)$
0	18,045
20	11,08153
40	54,84305



Слика 5.22. $Rp(Xsk)$

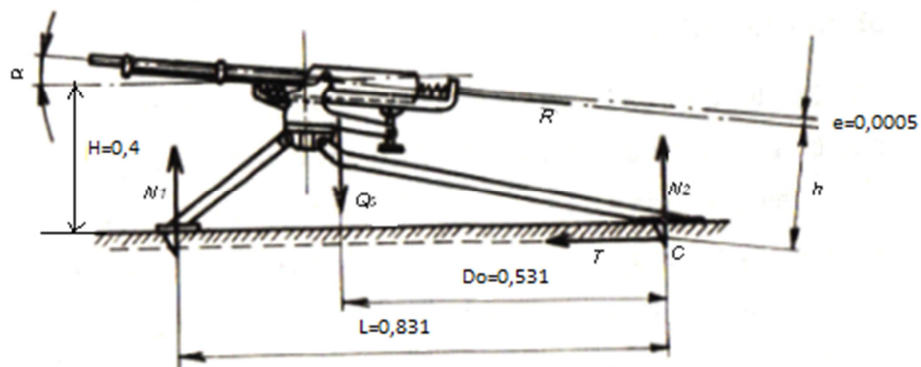


Слика 5.23. $N_1(X_{sk})$



Слика 5.24. $N_2(X_{sk})$

5.3 Висина постоља 400 mm.



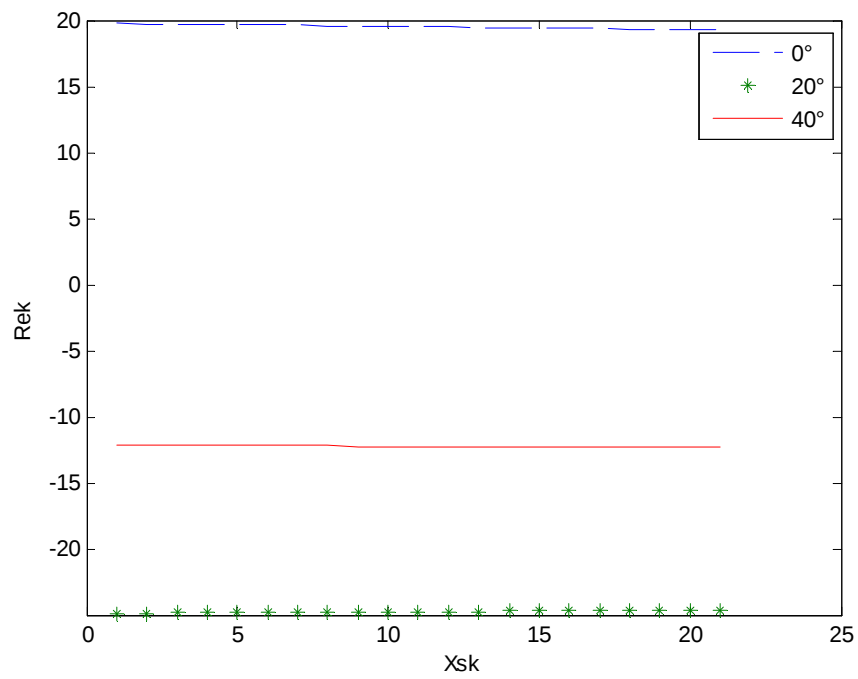
Слика 5.25. *Трећи случај*

А) Први период

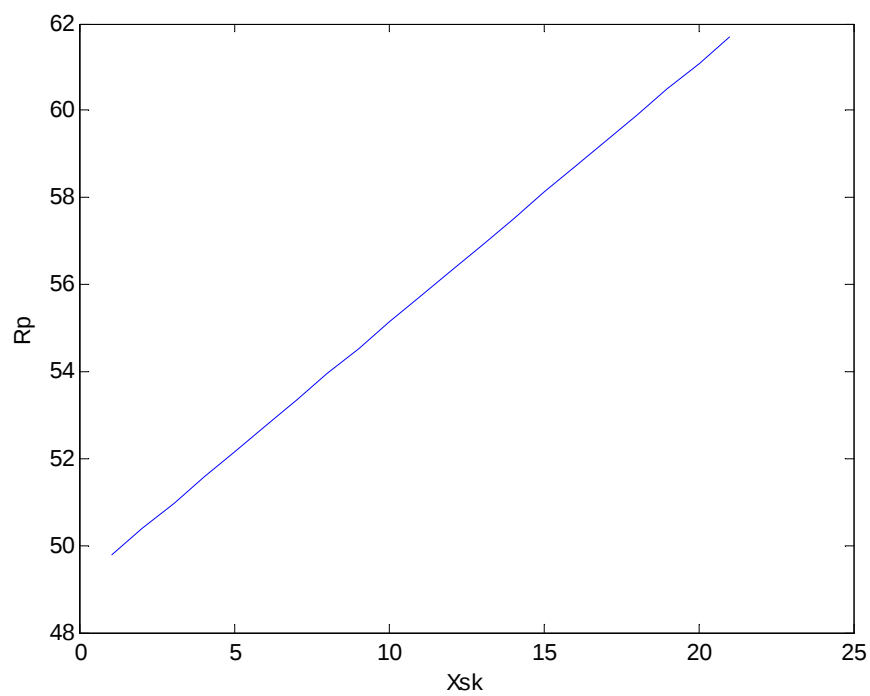
Табела 5.5. Вредности сила у првом периоду.

Υ_{GaO} $\alpha(^{\circ})$	$P_{\text{dmax}}(\text{N})$	$P_{\text{sr}}(\text{N})$	$R_{\text{ek}}(\text{N})$	$N_1(\text{N})$	$N_2(\text{N})$
0	4355000	2860000	7149980	3439016	3439001
20	4355000	2860000	8894639	3439016	4681317
40	4355000	2860000	4317423	3439016	-222032

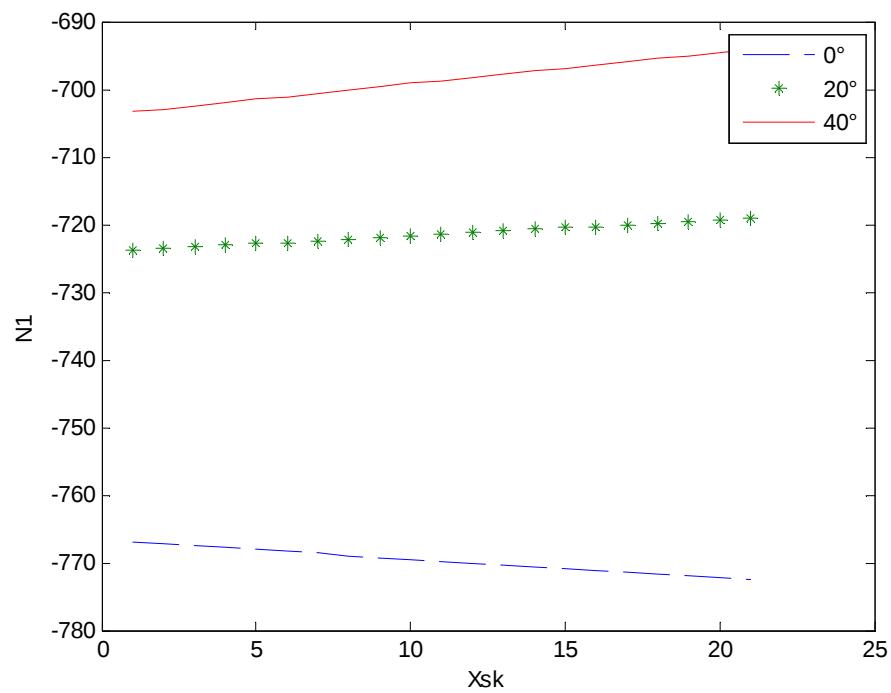
Б) Други период



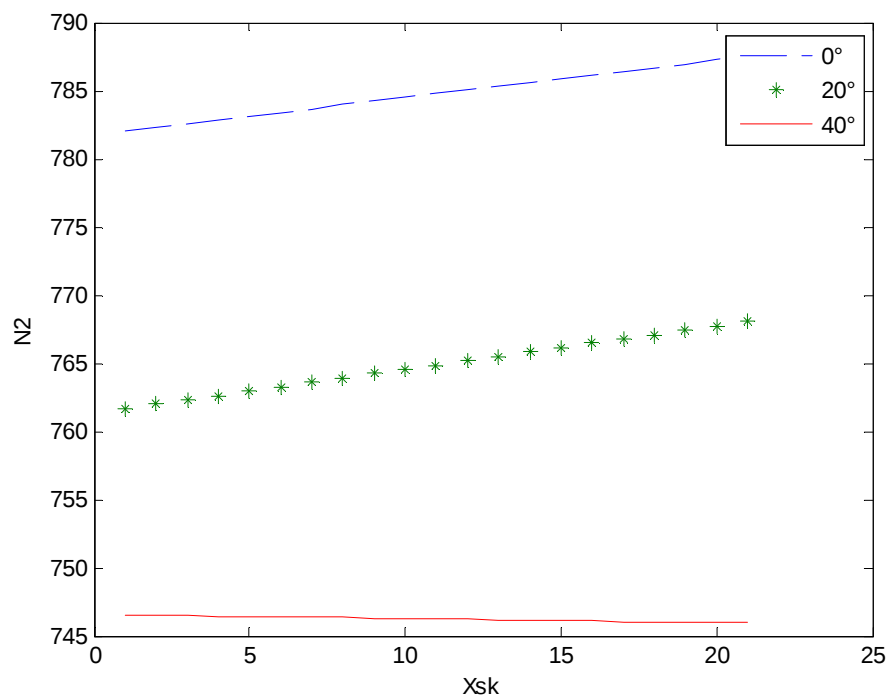
Слика 5.26. $Re_k(X_{sk})$



Слика 5.27. $R_p(X_{sk})$

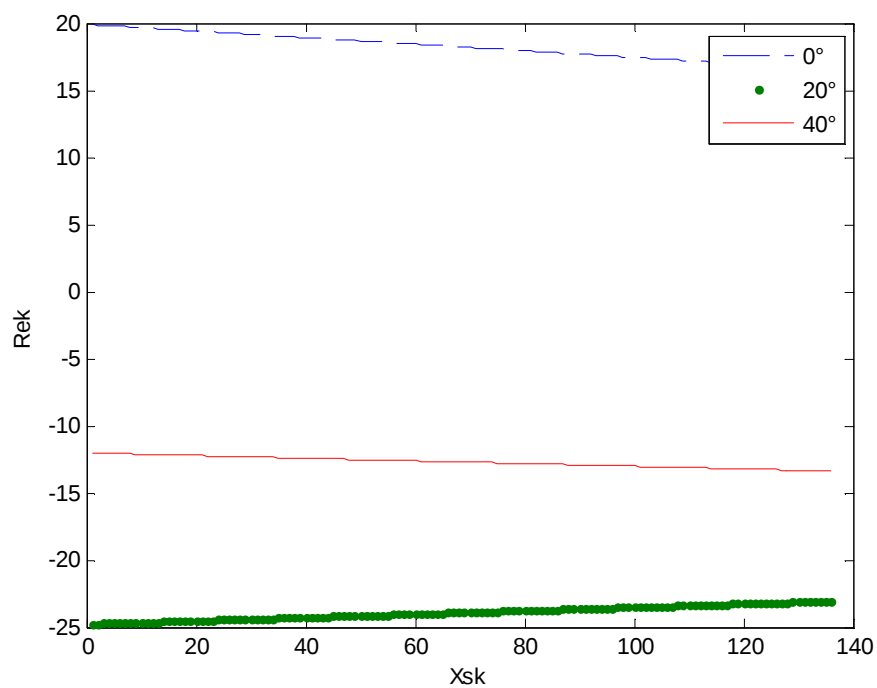


Слика 5.28. $N_1(X_{sk})$

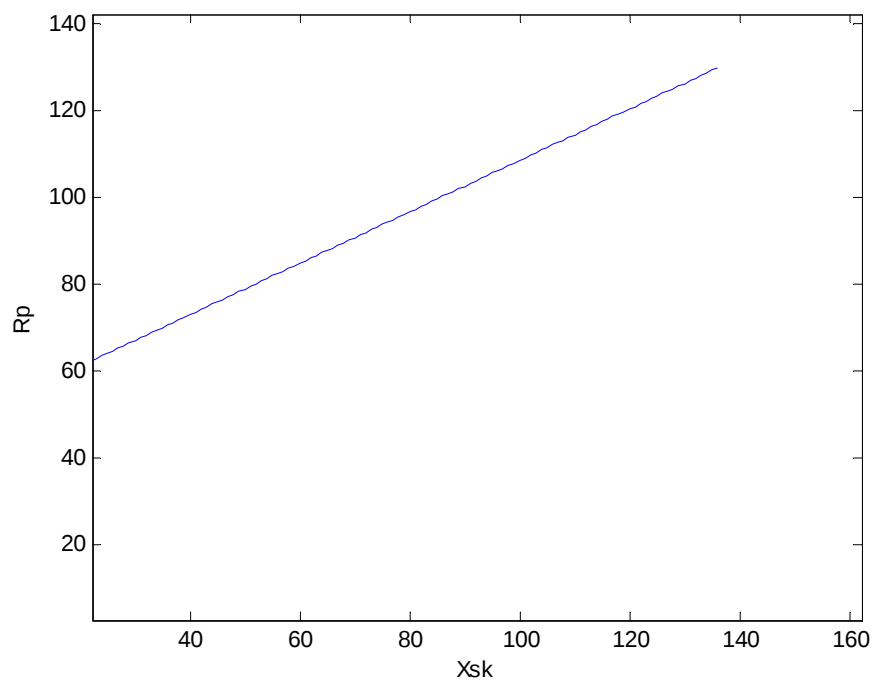


Слика 5.29. $N_2(X_{sk})$

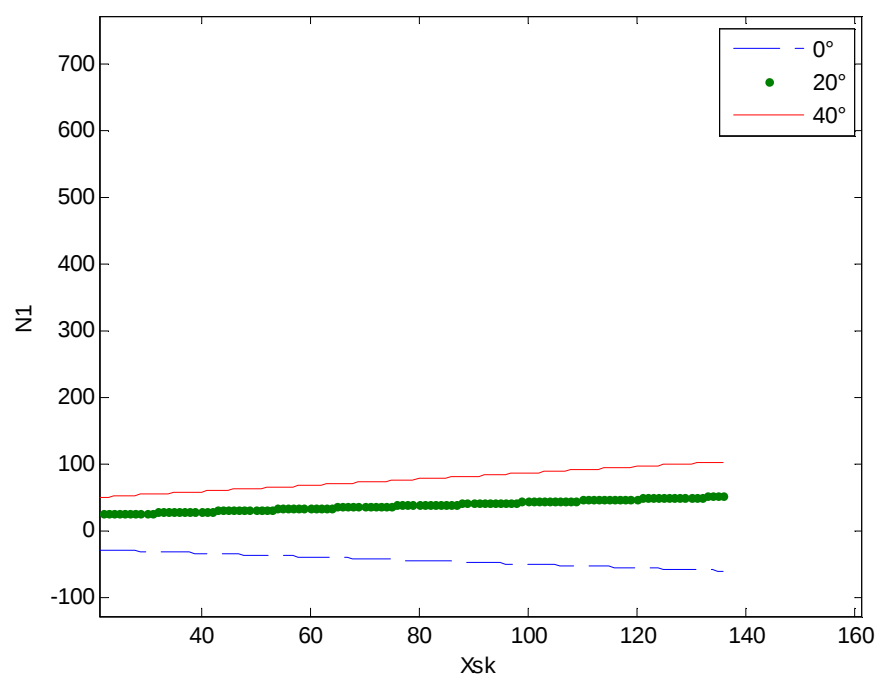
В) Трећи период



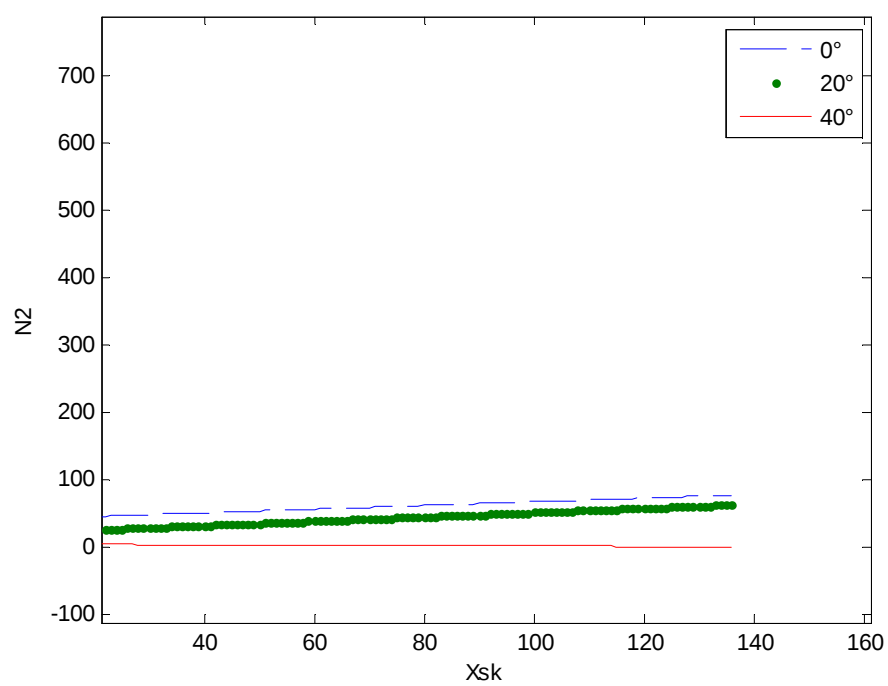
Слика 5.30. $Re k(X_{sk})$



Слика 5.31. $Re p(X_{sk})$



Слика 5.32. $N_1(X_{sk})$

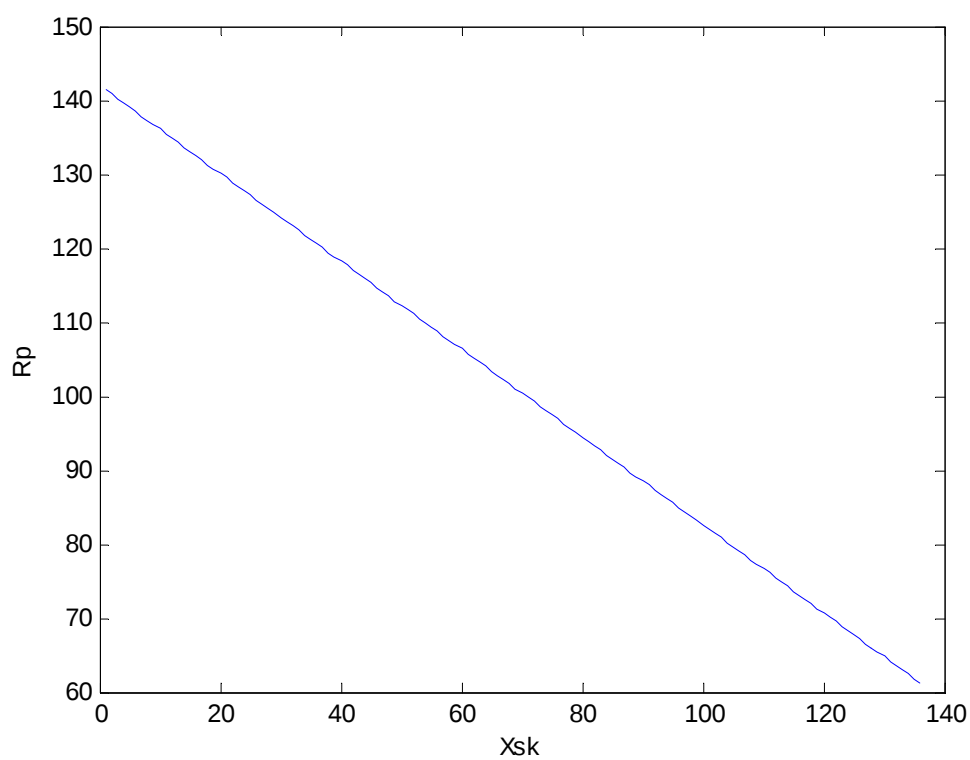


Слика 5.33. $N_2(X_{sk})$

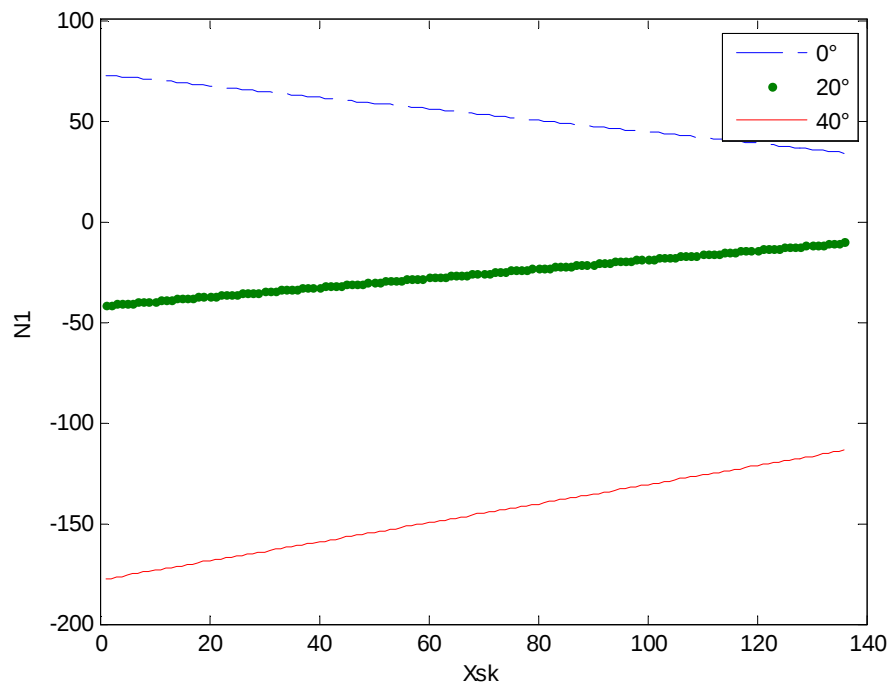
Г) Период враћања

Табела 5.6. Вредности силе еластичног отпора у периоду враћања

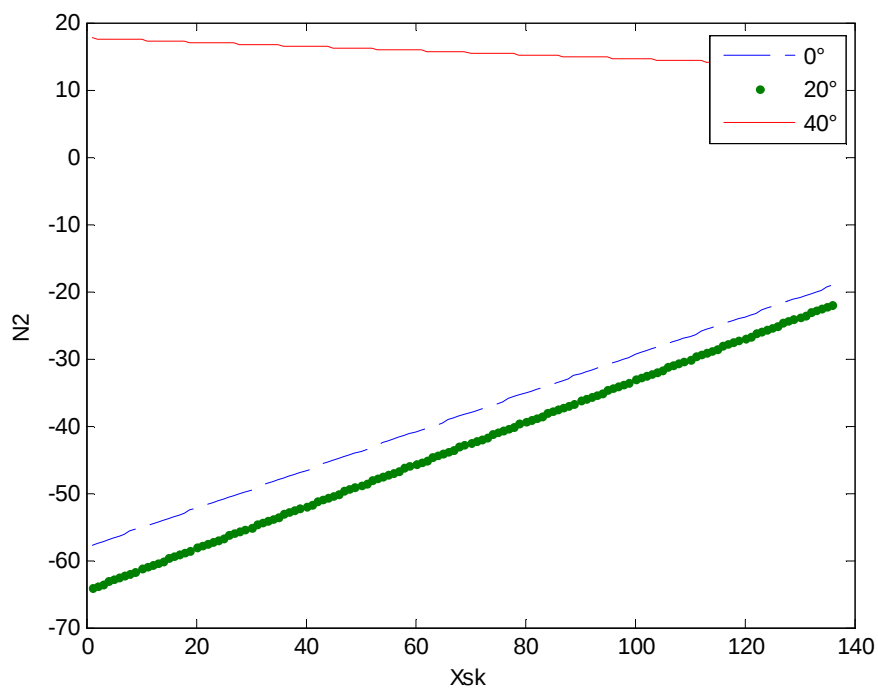
Угао $\alpha(^{\circ})$	$R_{ek}(N)$
0	10,125
20	9,265267
40	-93,6605



Слика 5.34. $Rp(Xsk)$



Слика 5.35. $N_1(X_{sk})$



Слика 5.36. $N_2(X_{sk})$

5.4 Анализа добијених резултата

На основу добијених дијаграма и резултата приказаних табеларно, може се уочити промена сила по периодима, као и зависност тих сила од висине постоља и угла елевације. Може се приметити веће оптерећење задњих ногица при трзању, док је сила која делује на предњу ногу треножног постоља већа у периоду враћања.

Посматрајући најнеповољнији случај, при гађању под углом од 0° и постољем подигнутим на 400 mm, може се приметити да је интензитет нормалне силе ножице, задњих при трзању, предње при враћању, мањи него у осталим случајевима, па је момент који тежи да спречи превртање мањи.

Поређењем резултата, може се уочити зависност стабилности и висине постоља, и стабилности и угла елевације оружја. Добија се закључак да се смањењем угла елевације погоршава стабилност, док се смањењем висине постоља побољшава стабилност.

6 Закључак

У раду је приказан поступак анализе уздужне и попречне стабилности митраљеза 7,62 мм М84 при гађању са постоља. Посебно је обрађена анализа уздужне стабилности, за коју је написано и програмско решење у програмском пакету MATLAB, које за резултат има дијаграме промене сила у зависности од пређеног пута трзајуће масе.

Силе које су поменуте у овом раду су релевантне за прорачун стабилности и имају највећи утицај на њу. Постоје силе које су занемарене зато што је њихов утицај на прорачун веома мали.

Стабилност се одређује на основу разлике стабилишућег момента, који је сила тежине система, оружја са постољем, и дестабилишућег, односно момента који одређује сила притиска барутних гасова и сила отпора кретању, која је у овом случају сила отпора повратне опруге и еластични отпор постоља. У раду је анализирана стабилност за три различита положаја постоља, односно три различите висине, и три различита угла гађања. На основу добијених резултата и дијаграма, може се видети да је оружје са повећањем висине постоља нестабилније, као и смањивање угла елевације оружја. На основу тога, може се доћи до закључка да се стабилност може повећати на следеће начине: повећањем стабилишућег момента, гађањем са мањом висином постоља, углом елевације већим од 0° . Стабилишући момент се може повећати већом масом оружја, што није најбоља опција, али и бољим начином, прилагођавањем конструкције и померањем тежишта масе.

Литература

- [1] James H. Willbanks, Machine Guns – An Illustrated History of Their Impact, Santa Barbara, California 2006.
- [2] George M Chinn, The Machine Gun, Washington 1955.
- [3] М. Петровић, Механика аутоматског оружја, ВА, Београд 2007. година
- [4] Дипл. инж. Милан Васиљевић, Аутоматско оружје, II део, Технички школски центар КоВ ЈНА, Загреб, 1971. године
- [5] Проф. др Милоје Цветковић, Унутрашња балистика, Војнотехничка академија Војске Југославије, Београд 1998. Године
- [6] Zastava arms, Military gun catalogue, May 2015
- [7] Правило – Пушкомитраљез 7,62 mm М84

Прилог 1:

Програмско решење у MATLAB – у:

'Uzduzna stabilnost - Prvi period - 0 stepeni'

```
alfa=0
Xsk=0
P1=335000000*0.013
P1sr=220000000*0.013
Rek=(Qs*Do-P1sr)/(H*cos(alfa)-Lk*sin(alfa))
n1=(Qs*Do+Rek*(Lk*sin(alfa)-H*cos(alfa))-(P1)*e)/L
n2=(Qs*(L-Do)+Rek*((L-Lk)*sin(alfa)+H*cos(alfa))+(P1)*e)/L
```

Niz1=[0;P1;P1sr;Rek;n1;n2]

'Uzduzna stabilnost - Prvi period - 20 stepeni'

```
alfa=20
Xsk=0
P1=335000000*0.013
P1sr=220000000*0.013
Rek=(Qs*Do-P1sr)/(H*cos(alfa)-Lk*sin(alfa))
n1=(Qs*Do+Rek*(Lk*sin(alfa)-H*cos(alfa))-(P1)*e)/L
n2=(Qs*(L-Do)+Rek*((L-Lk)*sin(alfa)+H*cos(alfa))+(P1)*e)/L
Niz2=[20;P1;P1sr;Rek;n1;n2]
```

'Uzduzna stabilnost - Prvi period - 40 stepeni'

```
alfa=40
Xsk=0
P1=335000000*0.013
P1sr=220000000*0.013
Rek=(Qs*Do-P1sr)/(H*cos(alfa)-Lk*sin(alfa))
n1=(Qs*Do+Rek*(Lk*sin(alfa)-H*cos(alfa))-(P1)*e)/L
n2=(Qs*(L-Do)+Rek*((L-Lk)*sin(alfa)+H*cos(alfa))+(P1)*e)/L
Niz3=[40;P1;P1sr;Rek;n1;n2]
T=[Niz1 Niz2 Niz3]
xlswrite('Prvi period.xls',T)
```

'Uzduzna stabilnost - Drugi period - 0 stepeni'

```
Xsk=0.021
P1=94000000*0.013
Pk=13000
c=594.12
for j=1:21
    x(j)=j
    Fop0(j)=49.2+c*x(j)/1000
    Rek0(j)=(Qs*Do-Qo*(x(j)/1000)*cos(0))/(H*cos(0)-Lk*sin(0))
end
for j=1:21
    x(j)=j
    n10(j)=(Qs*Do+(49.2+c*x(j)/1000+(Qs*Do-Qo*(x(j)/1000)*cos(0))/(H*cos(0)-Lk*sin(0)))*(Lk*sin(0)-
H*cos(0))-(Pk+P1)*e)/L
    n20(j)=(Qs*(L-Do)+(49.2+c*x(j)/1000+(Qs*Do-Qo*(x(j)/1000)*cos(0))/(H*cos(0)-Lk*sin(0)))*((L-
Lk)*sin(0)+H*cos(0))+(Pk+P1)*e)/L
```

```

end

'Uzduzna stabilnost - Drugi period - 20 stepeni'
Xsk=0.021
P1=94000000*0.013
Pk=13000
c=594.12

for j=1:21
    x(j)=j
    Fop20(j)=49.2+c*x(j)/1000
    Rek20(j)=(Qs*Do-Qo*(x(j)/1000)*cos(20))/(H*cos(20)-Lk*sin(20))
end

for j=1:21
    x(j)=j
    n120(j)=(Qs*Do+(49.2+c*x(j)/1000+(Qs*Do-Qo*(x(j)/1000)*cos(20))/(H*cos(20)-Lk*sin(20)))*(Lk*sin(20)-
H*cos(20))-(Pk+P1)*e)/L
    n220(j)=(Qs*(L-Do)+(49.2+c*x(j)/1000+(Qs*Do-Qo*(x(j)/1000)*cos(20))/(H*cos(20)-Lk*sin(20)))*((L-
Lk)*sin(20)+H*cos(20))+(Pk+P1)*e)/L
end

'Uzduzna stabilnost - Drugi period - 40 stepeni'
Xsk=0.021
P1=94000000*0.013
Pk=13000
c=594.12
for j=1:21
    x(j)=j
    Fop40(j)=49.2+c*x(j)/1000
    Rek40(j)=(Qs*Do-Qo*(x(j)/1000)*cos(40))/(H*cos(40)-Lk*sin(40))
end
for j=1:21
    x(j)=j
    n140(j)=(Qs*Do+(49.2+c*x(j)/1000+(Qs*Do-Qo*(x(j)/1000)*cos(40))/(H*cos(40)-Lk*sin(40)))*(Lk*sin(40)-
H*cos(40))-(Pk+P1)*e)/L
    n240(j)=(Qs*(L-Do)+(49.2+c*x(j)/1000+(Qs*Do-Qo*(x(j)/1000)*cos(40))/(H*cos(40)-Lk*sin(40)))*((L-
Lk)*sin(40)+H*cos(40))+(Pk+P1)*e)/L
end
figure
plot(x,Rek0,x,Rek20,x,Rek40,'-')
legend('0°','20°','40°')
xlabel('Xsk')
ylabel('Rek')
figure
plot(x,Fop0,'-')
xlabel('Xsk')
ylabel('Rp')

figure
plot(x,n10,x,n120,x,n140,'-')
legend('0°','20°','40°')
xlabel('Xsk')
ylabel('N1')
figure
plot(x,n20,x,n220,x,n240,'-')

```

```

legend('0°','20°','40°')
xlabel('Xsk')
ylabel('N2')

'Uzduzna stabilnost - Treci period - 0 stepeni'
c=594.12
for j=21:136
    x(j)=j
    Fop(j)=49.2+c*x(j)/1000
    Rek0(j)=(Qs*Do-Qo*(x(j)/1000)*cos(0))/(H*cos(0)-Lk*sin(0))
end
for j=21:136
    x(j)=j
    n10(j)=(Qs*Do+(49.2+c*x(j)/1000+(Qs*Do-Qo*(x(j)/1000)*cos(0))/(H*cos(0)-Lk*sin(0)))*(Lk*sin(0)-H*cos(0)))/L
    n20(j)=(Qs*(L-Do)+(49.2+c*x(j)/1000+(Qs*Do-Qo*(x(j)/1000)*cos(0))/(H*cos(0)-Lk*sin(0)))*((L-Lk)*sin(0)+H*cos(0)))/L
end
'Uzduzna stabilnost - Treci period - 20 stepeni'
c=594.12
for j=21:136
    x(j)=j
    Fop(j)=49.2+c*x(j)/1000
    Rek20(j)=(Qs*Do-Qo*(x(j)/1000)*cos(20))/(H*cos(20)-Lk*sin(20))
end
for j=21:136
    x(j)=j
    n120(j)=(Qs*Do+(49.2+c*x(j)/1000+(Qs*Do-Qo*(x(j)/1000)*cos(20))/(H*cos(20)-Lk*sin(20)))*(Lk*sin(20)-H*cos(20)))/L
    n220(j)=(Qs*(L-Do)+(49.2+c*x(j)/1000+(Qs*Do-Qo*(x(j)/1000)*cos(20))/(H*cos(20)-Lk*sin(20)))*((L-Lk)*sin(20)+H*cos(20)))/L
end
'Uzduzna stabilnost - Treci period - 40 stepeni'
c=594.12
for j=21:136
    x(j)=j
    Fop(j)=49.2+c*x(j)/1000
    Rek40(j)=(Qs*Do-Qo*(x(j)/1000)*cos(40))/(H*cos(40)-Lk*sin(40))
end
for j=21:136
    x(j)=j
    n140(j)=(Qs*Do+(49.2+c*x(j)/1000+(Qs*Do-Qo*(x(j)/1000)*cos(40))/(H*cos(40)-Lk*sin(40)))*(Lk*sin(40)-H*cos(40)))/L
    n240(j)=(Qs*(L-Do)+(49.2+c*x(j)/1000+(Qs*Do-Qo*(x(j)/1000)*cos(40))/(H*cos(40)-Lk*sin(40)))*((L-Lk)*sin(40)+H*cos(40)))/L
end
figure
plot(x,Rek0,x,Rek20,x,Rek40,'-')
legend('0°','20°','40°')
xlabel('Xsk')
ylabel('Rek')
figure
plot(x,Fop,'-')
xlabel('Xsk')
ylabel('Rp')

```

```

figure
plot(x,n10,x,n120,x,n140,'-')
legend('0°','20°','40°')
xlabel('Xsk')
ylabel('N1')
figure
plot(x,n20,x,n220,x,n240,'-')
legend('0°','20°','40°')
xlabel('Xsk')
ylabel('N2')

Rek0=0.9*(Qs*(L-Do))/(H*cos(0)+(L-Lk)*sin(0))
Rek20=0.9*(Qs*(L-Do))/(H*cos(20)+(L-Lk)*sin(20))
Rek40=0.9*(Qs*(L-Do))/(H*cos(40)+(L-Lk)*sin(40))

'Uzduzna stabilnost - Vracanje - 0 stepeni'
c=594.12
for j=1:136
    x(j)=j
    Fop(j)=142-c*x(j)/1000
end
for j=1:136
    x(j)=j
    n10(j)=(Qs*Do+(-142+c*x(j)/1000+Rek0)*(Lk*sin(0)-H*cos(0)))/L
    n20(j)=(Qs*(L-Do)+(-142+c*x(j)/1000+Rek0)*((L-Lk)*sin(0)+H*cos(0)))/L
end

'Uzduzna stabilnost - Vracanje - 20 stepeni'
c=594.12
for j=1:136
    x(j)=j
    Fop(j)=142-c*x(j)/1000
end
for j=1:136
    x(j)=j
    n120(j)=(Qs*Do+(-142+c*x(j)/1000+Rek20)*(Lk*sin(20)-H*cos(20)))/L
    n220(j)=(Qs*(L-Do)+(-142+c*x(j)/1000+Rek20)*((L-Lk)*sin(20)+H*cos(20)))/L
end

'Uzduzna stabilnost - Vracanje - 40 stepeni'
c=594.12
for j=1:136
    x(j)=j
    Fop(j)=142-c*x(j)/1000
end
for j=1:136
    x(j)=j
    n140(j)=(Qs*Do+(-142+c*x(j)/1000+Rek40)*(Lk*sin(40)-H*cos(40)))/L
    n240(j)=(Qs*(L-Do)+(-142+c*x(j)/1000+Rek40)*((L-Lk)*sin(40)+H*cos(40)))/L
end
T1=[0;20;40]
T2=[Rek0;Rek20;Rek40]
T=[T1 T2]
xlswrite('Rekvr.xls',T)
figure
plot(x,Fop,'-')

```

```

xlabel('Xsk')
ylabel('Rp')
figure
plot(x,n10,x,n120,x,n140,'-')
legend('0°','20°','40°')
xlabel('Xsk')
ylabel('N1')
figure
plot(x,n20,x,n220,x,n240,'-')
legend('0°','20°','40°')
xlabel('Xsk')
ylabel('N2')

```

Прилог 2:

Унутрашње балистички прорачун за одговарајући тип муниције:

Cartridge : 7.62 x 54 R Russ.Nagant
 Bullet : .311 , 174 ,PrviPartizan FMJ BT B-143
 Useable Case Capaci: 57.926 grain H2O = 3.761 cm3
 Cartridge O.A.L. L6: 3.040 inch = 77.22 mm
 Barrel Length : 23.7 inch = 603.0 mm
 Powder : Vihtavuori N140
 Charge : 47.8 grains = 3.10 grams

Estimates of the progress of combustion:

NR.: x(mm) Z(%) v(m/s) p(MPa) t (ms)

0 0,000	1,73	0,0	25,0	0,0000	13 0,551	3,96	13,6	56,1	0,0905
1 0,000	1,80	0,4	26,0	0,0008	14 0,720	4,37	16,1	61,7	0,1019
2 0,002	1,84	0,7	26,6	0,0032	15 0,925	4,84	18,9	67,9	0,1136
3 0,005	1,89	1,0	27,3	0,0071	16 1,170	5,37	22,1	74,8	0,1255
4 0,011	1,98	1,5	28,6	0,0120	17 1,462	5,97	25,7	82,4	0,1377
5 0,022	2,08	2,2	30,1	0,0178	18 1,805	6,63	29,7	90,7	0,1501
6 0,039	2,21	2,9	31,9	0,0245	19 2,205	7,38	34,2	99,7	0,1626
7 0,065	2,36	3,9	34,1	0,0321	20 2,668	8,20	39,2	109,4	0,1752
8 0,101	2,54	5,0	36,6	0,0403	21 3,200	9,12	44,6	119,8	0,1879
9 0,151	2,75	6,2	39,6	0,0492	22 3,809	10,13	50,6	130,9	0,2007
10 0,218	2,99	7,7	42,9	0,0588	23 4,500	11,24	57,2	142,6	0,2135
11 0,304	3,27	9,4	46,8	0,0689	24 5,281	12,45	64,4	154,7	0,2264
12 0,414	3,59	11,4	51,2	0,0795					
25 6,160	13,77	72,2	167,3	0,2392	37 27,454	38,78	214,2	303,3	0,3954
26 7,144	15,20	80,6	180,2	0,2521	38 30,420	41,61	229,6	309,7	0,4087
27 8,242	16,75	89,7	193,2	0,2650	39 33,620	44,53	245,5	315,0	0,4222
28 9,461	18,42	99,4	206,3	0,2779	40 34,146	44,99	248,0	315,8	0,4243
29 10,811	20,20	109,7	219,3	0,2908	41 37,493	47,71	262,9	318,4	0,4374
30 12,301	22,11	120,7	232,1	0,3038	42 39,227	49,04	270,3	319,2	0,4439
31 13,939	24,14	132,3	244,4	0,3167	43 41,002	50,36	277,7	319,5	0,4504
32 15,736	26,29	144,5	256,3	0,3297	44 41,453	50,68	279,6	319,6	0,4520
33 17,701	28,56	157,4	267,4	0,3427	45 41,679	50,85	280,5	319,6	0,4528
34 19,845	30,95	170,8	277,8	0,3558	46 41,906	51,01	281,4	319,6	0,4537
35 22,178	33,45	184,7	287,3	0,3689	47 41,963	51,05	281,6	319,6	0,4539
36 24,710	36,06	199,2	295,8	0,3821	48 42,020	51,09	281,9	319,6	0,4541

49 42,049 51,11 282,0 319,6 0,4542
50 42,077 51,13 282,1 319,6 0,4543
51 45,818 53,69 296,9 318,9 0,4672
52 49,756 56,18 311,8 317,0 0,4801
53 53,909 58,60 326,6 314,0 0,4931
54 58,295 60,95 341,5 309,9 0,5063
55 62,935 63,23 356,3 304,9 0,5196
56 67,850 65,45 371,2 299,1 0,5331
57 73,063 67,59 386,0 292,6 0,5468
58 78,602 69,67 400,8 285,4 0,5609
59 84,494 71,67 415,7 277,6 0,5753
60 90,772 73,61 430,5 269,4 0,5902
61 97,469 75,48 445,4 260,7 0,6055
62 104,624 77,29 460,2 251,7 0,6213
63 112,281 79,02 475,1 242,3 0,6377
64 120,486 80,68 489,9 232,8 0,6547
65 129,294 82,28 504,7 223,1 0,6724
66 138,762 83,80 519,6 213,2 0,6909
67 148,958 85,26 534,4 203,3 0,7102
68 159,956 86,65 549,3 193,4 0,7305
69 171,841 87,97 564,1 183,5 0,7518
70 184,708 89,22 579,0 173,7 0,7744
71 198,666 90,40 593,8 163,9 0,7982
72 213,837 91,52 608,6 154,3 0,8234
73 230,362 92,56 623,5 144,9 0,8502
74 248,401 93,54 638,3 135,6 0,8788
75 268,139 94,45 653,2 126,6 0,9094
76 289,789 95,29 668,0 117,8 0,9422
77 313,597 96,06 682,9 109,3 0,9774
78 339,849 96,76 697,7 101,1 1,0154
79 368,879 97,39 712,5 93,1 1,0566
80 401,080 97,96 727,4 85,5 1,1013
81 436,912 98,45 742,2 78,2 1,1501
82 476,922 98,88 757,1 71,3 1,2035
83 521,761 99,23 771,9 64,7 1,2621
84 546,228 99,39 779,3 61,5 1,2937
85 552,577 99,42 781,2 60,8 1,3018
86 555,787 99,44 782,1 60,4 1,3059
87 556,593 99,44 782,4 60,3 1,3069
88 556,997 99,45 782,5 60,2 1,3074
89 557,199 99,45 782,5 60,2 1,3077
90 557,250 99,45 782,5 60,2 1,3078
91 557,275 99,45 782,5 60,2 1,3078
92 557,287 99,45 782,6 60,2 1,3078